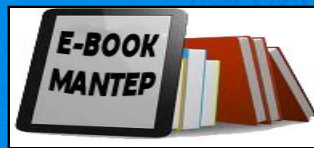


STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI)
SNI 03-2847-2002 & S-2002



TATA CARA PERHITUNGAN
STRUKTUR BETON
UNTUK BANGUNAN GEDUNG
(SNI 03-2847-2002)
DILENGKAPI PENJELASAN (S-2002)

Tim Penyusun Penjelasan :

Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc.
Ir. Tavio, MS., Ph.D
Ir. Iswandi Imran, MAsC., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

**TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK
BANGUNAN GEDUNG (SNI 03-2847-2002)
DILENGKAPI PENJELASAN (S-2002)**

TIM PENYUSUN

PROF. IR. RACHMAT PURWONO, MSc.

IR. TAVIO, MS., Ph.D

IR. ISWANDI IMRAN, MASC., Ph.D

PROF. DR. IR. I GUSTI PUTU RAKA



Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Purwono, R.; Tavo; Imran, I.; dan Raka, I G. P.

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002) /
Rachmat Purwono, Tavo, Iswandi Imran, dan I Gusti Putu Raka.
xiii + 408 halaman. 21 x 29,7 cm

Termasuk referensi, lampiran, dan indeks.
ISBN 978-979-8897-20-7

1. Beton bertulang. 2. Tata Cara. 3. Standar I. Judul

693.5

Editor eksekutif: Tavo
Pendesain sampul: Sayatman, S.Sn
Pendesain isi: Tavo



© 2009 oleh ITS Press
ITS Press
Kampus ITS, Keputih-Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

All rights reserved. Hak cipta (ada pada tim penyusun) dilindungi oleh Undang-Undang. Tidak ada bagian dari buku ini yang dapat dicetak ulang dalam bentuk apapun atau dengan cara apapun, tanpa ijin secara tertulis dari penerbit dan tim penyusun.

Tim penyusun dan penerbit buku ini telah melakukan usaha yang terbaik di dalam mempersiapkan buku ini. Tim penyusun dan penerbit tidak menjamin segala macam, baik yang dinyatakan maupun diterapkan, yang berkaitan baik dengan semua kerusakan yang penting maupun yang tidak disengaja yang berhubungan dengan kekuatan, kinerja, keawetan serta penyelesaian, atau yang ditimbulkan oleh pemakaian buku ini.

ITS Press® adalah sebuah penerbit dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

Dicetak di Surabaya – Indonesia

10 9 8 7 6 5 4 3 2

ISBN 978-979-8897-20-7

Cetakan Pertama, Maret 2007

Cetakan Kedua, Mei 2009

Copyright © 2009

Sanksi Pelanggaran Pasal 44 Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1987 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 6 Tahun 1982 tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi ijin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah).

TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG (SNI 03-2847-2002) DILENGKAPI PENJELASAN (S-2002)

KATA PENGANTAR PENJELASAN (S-2002)

Puji syukur patut kita haturkan kepada Tuhan penguasa alam semesta atas selesainya penyusunan buku "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)." Sejak beredarnya SNI 03-2847-2002 pada tahun 2002, banyak masukan yang disampaikan kepada tim penyusun SNI beton terkait dengan perlunya pembuatan buku penjelasan untuk melengkapi SNI beton yang sudah ada. Melalui buku ini, pemahaman akan suatu tata cara biasanya lebih mudah dicapai.

Pada kuartal kedua tahun 2006, perhatian terhadap permasalahan tersebut diatas mulai direalisasi dalam bentuk penyusunan buku "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)" ini. Sebagaimana halnya dengan dokumen "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung" yang telah dibukukan sebagai SNI 03-2847-2002, isi buku ini pun disusun dengan tetap mengacu pada ACI 318M-99. Walaupun buku ini disusun dengan mengacu secara dominan pada ACI 318M-99, namun pekerjaan yang dilakukan, yang meliputi penerjemahan, penyeragaman istilah, penyusunan, dan penyuntingan, bukanlah pekerjaan yang ringan dan membutuhkan waktu yang panjang untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu adalah hal yang wajar bilamana masih dapat dijumpai kesalahan-kesalahan dasar pada dokumen yang telah disusun ini. Dalam kesempatan ini, kami mengharapkan tanggapan, saran dan ide untuk penyempurnaan buku "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)" ini.

Semoga buku "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)" ini dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan Teknik Sipil di Indonesia dan dunia Industri Konstruksi Nasional.

Tim penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)-Surabaya atas dukungan penuhnya sehingga memungkinkan penerbitan dan publikasi buku ini.

Surabaya, Maret 2007

Tim Penyusun

TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG (SNI 03-2847-2002)

PRAKATA TATA CARA (SNI 03-2847-2002)

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung diangkat dari Peraturan Beton Indonesia (PBI) yang diterbitkan pada tahun 1971 dan merupakan revisi dari SNI 03-2847-1992, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan dan Gedung*. Standar ini disusun kembali dan disempurnakan sejalan dengan perkembangan pembangunan gedung-gedung dewasa ini, serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terjadi akhir-akhir ini, dengan mengacu pada ACI 318M-99 dan ACI 318-02.

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dapat digunakan sebagai acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam melakukan pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan struktur beton bertulang agar dapat mewujudkan suatu pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan struktur beton bertulang yang memenuhi ketentuan minimum serta mendapatkan hasil pekerjaan struktur beton bertulang yang aman, nyaman, dan ekonomis.

Standar ini disusun oleh sub panitia teknik dan dibantu oleh tim kerja dan nara sumber yang terdiri dari pakar-pakar yang sesuai dengan keahliannya. Para pakar tersebut adalah sebagai berikut:

No.	Nama	Jabatan	Institusi
1	Prof. Dr. Ir. Ridwan Suhud	Koordinator	Institut Teknologi Bandung
2	Dr. Ir. Iswandi Imran, MSc.	Sekretaris	Institut Teknologi Bandung
3	Dr. Ir. Adang Surahman, MSc.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
4	Dr. Ir. Bambang Budiono, ME.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
5	Dradjat Hoedajato, ST., Si., MEng., Ph.D, IPM.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
6	Dr. Ir. Jodi Firmansyah, MSc.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
7	Dr. Ir. Made Suarjana	Anggota	Institut Teknologi Bandung
8	Dr. Ir. Muslinang Moestopo, MSEM.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
9	Dr. Ir. Sindur Mangkoesobroto, MSEM.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
10	Dr. Ir. Bambang Suhendro, MSc.	Anggota	Universitas Gajah Mada
11	Dr. Ir. Bambang Suryoatmono, MSc.	Anggota	Universitas Katolik Parahyangan
12	Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc.	Anggota	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
13	Ir. Gideon Hadi Kusuma, MSc.	Anggota	Universitas Petra
14	Ir. H. R. Sidjabat	Anggota	Widyaiswara
15	Prof. Dr. Ir. Wiratman Wangsadinata	Anggota	PT. Wiratman & Associate
16	Ir. Djangga Lubis	Anggota	Dinas PU DKI Jakarta
17	Ir. Imam S. Ernawi, MCM., MSc.	Anggota	Ditjen. Perkim
18	Ir. Sumihar Simamora, CES.	Anggota	Ditjen. Kotdes
19	Ir. Sentot Harsono	Anggota	Ditjen. Kotdes

20	Ir. Lanny Hidayat	Anggota	Puslitbang Prasarana Transportasi
21	Ir. Syafei Amri, Dipl.E.Eng.	Anggota	Puslitbang Pemukiman
22	Lasino, ST.	Anggota	Puslitbang Pemukiman
23	Ir. Sunarto, MSc.	Anggota	Puslitbang Sumber Daya Air
24	Ir. Sri Heti Susanti, MSc.	Anggota	Puslitbang Sumber Daya Air
25	Suwandojo Siddiq, Dipl.E.Eng.	Anggota	Puslitbang Pemukiman
26	Ir. Murdiati Munandar, Dipl.E.Eng.	Anggota	Puslitbang Pemukiman
27	Ir. Silvia Fransisca, MT.	Anggota	Puslitbang Pemukiman
28	Ir. Lutfi Faisal	Anggota	Puslitbang Pemukiman
29	Dr. Ir. Hedy Rahadian, MSc.	Nara Sumber	Puslitbang Prasarana Transportasi
30	Ir. Rd. Sadikin Rasyad, Dipl.E.Eng.	Nara Sumber	Puslitbang Pemukiman
31	Ir. Lanneke Tristanto	Nara Sumber	Puslitbang Prasarana Transportasi

Dalam pemakaian standar ini tidak terlepas dari standar-standar lain, baik yang serupa SNI maupun standar asing yang belum diadopsi oleh standar Indonesia seperti ASTM dan AWS.

Kami dari panitia mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas tersusunnya standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung kepada tim kerja dan nara sumber yang telah sekian lama bekerja serta menyumbangkan pikirannya dalam menyempurnakan peraturan beton di Indonesia. Selain itu, standar ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat luas.

Bandung, November 2002

*Panitia Teknik Standarisasi
Bidang Konstruksi dan Bangunan*

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002) disajikan dalam sebuah format kolom yang berdampingan, dimana Tata Cara (SNI 03-2847-2002) ditempatkan dalam kolom sebelah kiri dan Penjelasan (S-2002) yang terkait dijabarkan dalam kolom sebelah kanan. Untuk membedakan lebih lanjut Tata Cara dari Penjelasannya, Tata Cara dicetak dalam huruf Swis721, sama seperti jenis huruf dalam paragraf ini.

Paragraf ini diketik dalam huruf Times New Roman, dan Penjelasan dicetak dengan jenis huruf ini. Nomor pasal Penjelasan diawali dengan huruf "S" untuk lebih membedakan Penjelasan dari nomor pasal Tata Cara. Huruf "S" disini diambil dari salah satu huruf dalam kata "PenjelaSan."

Halaman dalam Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002) merujuk sekaligus pada halaman Tata Cara maupun Penjelasan, seperti misalnya halaman "2847/S-10". "2847" merujuk pada Tata Cara dan "S" merujuk pada Penjelasan, sedangkan angka "10" dibelakang tanda "-" merujuk pada nomor halaman 10 baik untuk Tata Cara maupun Penjelasan.

PENDAHULUAN

Penjelasan ini membahas mengenai beberapa pertimbangan didalam penggunaan ketentuan yang termuat didalam "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)," yang selanjutnya disebut Tata Cara atau Tata Cara SNI. Penjelasan untuk ketentuan-ketentuan yang baru atau ketentuan-ketentuan yang mengalami perubahan yang kemungkinan belum dikenal oleh pengguna Tata Cara ditutamakan dalam buku ini, misalkan tata cara mengenai bahan beton dan ketahanan terhadap gempa. Penjelasan mengenai suatu ketentuan tata cara dilakukan dengan mengacu pada pasal-pasal tata cara yang sesuai.

Sebagaimana dijelaskan dalam ACI 318RM-99, penjelasan tidak dimaksudkan untuk menyediakan latar belakang sejarah secara lengkap yang terkait dengan perkembangan Tata Cara SNI. Penjelasan juga tidak ditujukan untuk memberikan ringkasan studi secara detail dan data riset didalam merumuskan Tata Cara seperti halnya yang dipakai oleh *ACI Committee* didalam merumuskan ketentuan *ACI Code*. Akan tetapi, referensi untuk beberapa data riset disediakan bagi pengguna yang ingin melakukan studi lebih lanjut mengenai materi latar belakang yang digunakan.

Seperti halnya Tata Cara SNI, penjelasan juga mengacu seluruhnya pada ACI 318M-99 dan ACI 318M-02. Oleh karena itu, validitasnya bisa diakui dan diterima sebagai penjelasan bagi Tata Cara SNI. Selain itu, penjelasan juga mengacu pada dokumen-dokumen lainnya, seperti SNI lainnya, ASTM, ANSI/AWS serta AASHTO, yang memberikan persyaratan tambahan untuk Tata Cara. Akan tetapi, dokumen-dokumen tersebut serta penjelasan bukan merupakan bagian dari Tata Cara.

DAFTAR ISI

PENDAHULUAN.....	2847/S-i
DAFTAR ISI	2847/S-ii
DAFTAR TABEL TATA CARA	2847/S-viii
DAFTAR GAMBAR TATA CARA	2847/S-ix
DAFTAR GAMBAR PENJELASAN	2847/S-xii
PASAL 1—RUANG LINGKUP.....	2847/S-1
PASAL 2—ACUAN NORMATIF	2847/S-3
PASAL 3—ISTILAH DAN DEFINISI	2847/S-8
PASAL 4—PERSYARATAN-PERSYARATAN	2847/S-16
4.1 — Perencanaan struktur	
4.2 — Penanggung jawab perhitungan	
PASAL 5—BAHAN	2847/S-19
5.1 — Pengujian bahan	
5.2 — Semen	
5.3 — Agregat	
5.4 — Air	
5.5 — Baja tulangan	
5.6 — Bahan tambahan	
5.7 — Penyimpanan bahan-bahan	
PASAL 6—PERSYARATAN KEAWETAN BETON.....	2847/S-29
6.1 — Rasio air-semen	
6.2 — Pengaruh lingkungan	
6.3 — Pengaruh lingkungan yang mengandung sulfat	
6.4 — Perlindungan tulangan terhadap korosi	
PASAL 7—KUALITAS, PENCAMPURAN, DAN PENGECORAN	2847/S-34
7.1 — Umum	
7.2 — Pemilihan proporsi campuran beton	
7.3 — Perancangan proporsi campuran berdasarkan pengalaman lapangan dan/atau hasil campuran uji	
7.4 — Perancangan campuran tanpa berdasarkan data lapangan atau campuran percobaan	
7.5 — Reduksi kuat rata-rata	
7.6 — Evaluasi dan penerimaan beton	
7.7 — Persiapan peralatan dan tempat pengecoran	
7.8 — Pencampuran	
7.9 — Pengantaran	

- 7.10 — Pengecoran
- 7.11 — Perawatan beton
- 7.12 — Persyaratan cuaca panas

PASAL 8—CETAKAN, PIPA TERTANAM, DAN SIAR PELAKSANAAN 2847/S-52

- 8.1 — Perencanaan cetakan
- 8.2 — Pembongkaran cetakan dan penopang, serta penopangan kembali
- 8.3 — Saluran dan pipa yang ditanam dalam beton
- 8.4 — Siar pelaksanaan

PASAL 9—DETAIL PENULANGAN 2847/S-59

- 9.1 — Kait standar
- 9.2 — Diameter bengkokan minimum
- 9.3 — Cara pembengkokan
- 9.4 — Kondisi permukaan baja tulangan
- 9.5 — Penempatan tulangan
- 9.6 — Batasan spasi tulangan
- 9.7 — Pelindung beton untuk tulangan
- 9.8 — Detail tulangan khusus untuk kolom
- 9.9 — Sambungan
- 9.10 — Tulangan lateral pada komponen struktur tekan
- 9.11 — Penulangan lateral untuk komponen struktur lentur
- 9.12 — Tulangan susut dan suhu
- 9.13 — Tulangan khusus untuk integritas struktur

PASAL 10—ANALISIS DAN PERENCANAAN 2847/S-76

- 10.1 — Perencanaan
- 10.2 — Pembebanan
- 10.3 — Metode analisis
- 10.4 — Redistribusi momen negatif pada balok lentur non-prategang menerus
- 10.5 — Modulus elastisitas
- 10.6 — Kekakuan
- 10.7 — Panjang bentang
- 10.8 — Kolom
- 10.9 — Pengaturan beban hidup
- 10.10 — Konstruksi balok-T
- 10.11 — Konstruksi pelat rusuk
- 10.12 — Penutup lantai yang terpisah

PASAL 11—KETENTUAN MENGENAI KEKUATAN DAN KEMAMPUAN LAYAN 2847/S-87

- 11.1 — Umum
- 11.2 — Kuat perlu
- 11.3 — Kuat rencana
- 11.4 — Kuat rencana tulangan
- 11.5 — Kontrol terhadap lendutan

PASAL 12—BEBAN LENTUR DAN AKSIAL 2847/S-102

- 12.1 — Umum
- 12.2 — Asumsi dalam perencanaan
- 12.3 — Prinsip perencanaan
- 12.4 — Jarak antara pendukung lateral untuk komponen struktur lentur

- 12.5 — Tulangan minimum pada komponen struktur lentur
- 12.6 — Distribusi tulangan lentur pada balok dan pelat satu arah
- 12.7 — Komponen struktur lentur tinggi
- 12.8 — Dimensi rencana untuk komponen struktur tekan
- 12.9 — Pembatasan untuk tulangan komponen struktur tekan
- 12.10 — Pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan
- 12.11 — Perbesaran momen – Umum
- 12.12 — Perbesaran momen – Rangka portal tak bergoyang
- 12.13 — Perbesaran momen – Rangka portal bergoyang
- 12.14 — Komponen struktur dengan beban aksial yang mendukung sistem pelat
- 12.15 — Penyaluran beban kolom melalui sistem pelat lantai
- 12.16 — Komponen struktur tekan komposit
- 12.17 — Kuat tumpu

PASAL 13—GESER DAN PUNTIR..... 2847/S-131

- 13.1 — Kuat geser
- 13.2 — Beton ringan
- 13.3 — Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang
- 13.4 — Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur prategang
- 13.5 — Kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser
- 13.6 — Perencanaan untuk puntir
- 13.7 — Geser-friksi
- 13.8 — Ketentuan khusus untuk komponen struktur lentur tinggi
- 13.9 — Ketentuan khusus untuk konsol pendek
- 13.10 — Ketentuan khusus untuk dinding
- 13.11 — Penyaluran momen ke kolom
- 13.12 — Ketentuan khusus untuk pelat dan fondasi telapak

PASAL 14—PENYALURAN DAN PENYAMBUNGAN TULANGAN 2847/S-178

- 14.1 — Penyaluran tulangan – Umum
- 14.2 — Penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik
- 14.3 — Penyaluran batang ulir yang berada dalam kondisi tekan
- 14.4 — Penyaluran bundel tulangan
- 14.5 — Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik
- 14.6 — Angkur mekanis
- 14.7 — Penyaluran jaring kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik
- 14.8 — Penyaluran jaring kawat polos yang berada dalam kondisi tarik
- 14.9 — Penyaluran *strand* prategang
- 14.10 — Penyaluran tulangan lentur – Umum
- 14.11 — Penyaluran tulangan momen positif
- 14.12 — Penyaluran tulangan momen negatif
- 14.13 — Penyaluran tulangan badan
- 14.14 — Sambungan tulangan – Umum
- 14.15 — Sambungan batang dan kawat ulir dalam kondisi tarik
- 14.16 — Sambungan batang ulir dalam kondisi tekan
- 14.17 — Ketentuan khusus untuk sambungan pada kolom
- 14.18 — Sambungan lewatan jaring kawat ulir dalam kondisi tarik
- 14.19 — Sambungan lewatan jaring kawat polos dalam kondisi tarik

PASAL 15—SISTEM PELAT DUA ARAH 2847/S-209

- 15.1 — Umum
- 15.2 — Beberapa definisi
- 15.3 — Penulangan pelat

DAFTAR ISI

2847/S-v

- 15.4 — Bukaan pada sistem pelat
- 15.5 — Cara perencanaan
- 15.6 — Cara perencanaan langsung
- 15.7 — Cara rangka ekuivalen

PASAL 16—DINDING2847/S-230

- 16.1 — Lingkup
- 16.2 — Umum
- 16.3 — Tulangan minimum
- 16.4 — Dinding yang direncanakan sebagai komponen struktur tekan
- 16.5 — Metode perencanaan empiris
- 16.6 — Dinding non-pendukung
- 16.7 — Fungsi dinding sebagai balok
- 16.8 — Perencanaan alternatif untuk dinding langsing

PASAL 17—FONDASI TELAPAK2847/S-237

- 17.1 — Lingkup
- 17.2 — Beban dan reaksi
- 17.3 — Fondasi telapak yang mendukung kolom atau *pedestal* yang berbentuk lingkaran atau segi banyak beraturan
- 17.4 — Momen pada fondasi telapak
- 17.5 — Geser pada fondasi telapak
- 17.6 — Penyaluran tulangan dalam fondasi telapak
- 17.7 — Tebal minimum fondasi telapak
- 17.8 — Penyaluran gaya-gaya pada dasar kolom, dinding, atau *pedestal* bertulang
- 17.9 — Fondasi telapak miring atau berundak
- 17.10 — Kombinasi fondasi telapak dan fondasi pelat penuh

PASAL 18—BETON PRACETAK2847/S-246

- 18.1 — Lingkup
- 18.2 — Umum
- 18.3 — Distribusi gaya-gaya pada komponen-komponen struktur
- 18.4 — Perencanaan komponen struktur
- 18.5 — Integritas struktural
- 18.6 — Perencanaan sambungan dan tumpuan
- 18.7 — Benda-benda yang ditanam sesudah pengecoran beton
- 18.8 — Penandaan dan identifikasi
- 18.9 — Penanganan
- 18.10 — Evaluasi kekuatan konstruksi pracetak

PASAL 19—KOMPONEN STRUKTUR LENTUR BETON KOMPOSIT2847/S-255

- 19.1 — Lingkup
- 19.2 — Umum
- 19.3 — Penopangan
- 19.4 — Kuat geser vertikal
- 19.5 — Kuat geser horizontal
- 19.6 — Senggang pengikat untuk geser horizontal

PASAL 20—BETON PRATEGANG2847/S-260

- 20.1 — Lingkup
- 20.2 — Umum
- 20.3 — Asumsi perencanaan

- 20.4 — Tegangan ijin beton untuk komponen struktur lentur
- 20.5 — Tegangan ijin tendon prategang
- 20.6 — Kehilangan prategang
- 20.7 — Kuat lentur
- 20.8 — Batasan tulangan pada komponen struktur lentur
- 20.9 — Tulangan non-prategang minimum
- 20.10 — Struktur statis tak-tentu
- 20.11 — Komponen struktur tekan – Kombinasi gaya lentur dan aksial
- 20.12 — Sistem pelat
- 20.13 — Daerah pengankuran tendon pasca tarik
- 20.14 — Perencanaan daerah pengankuran untuk *strand* tunggal atau batang tunggal diameter 16 mm
- 20.15 — Perencanaan daerah pengankuran untuk tendon *strand* majemuk
- 20.16 — Perlindungan terhadap karat untuk tendon prategang tanpa lekatan
- 20.17 — Selongsong untuk sistem pasca-tarik
- 20.18 — *Grout* untuk tendon prategang dengan lekatan
- 20.19 — Perlindungan untuk tendon prategang
- 20.20 — Pemberian dan pengukuran gaya prategang
- 20.21 — Angkur dan penyambung (*coupler*) pada sistem pasca-tarik
- 20.22 — Sistem pasca tarik luar

PASAL 21—KOMPONEN STRUKTUR CANGKANG DAN PELAT LIPAT 2847/S-291

- 21.1 — Lingkup dan definisi
- 21.2 — Analisis dan perencanaan
- 21.3 — Kuat rencana bahan
- 21.4 — Tulangan cangkang
- 21.5 — Pelaksanaan konstruksi

PASAL 22—EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR YANG TELAH BERDIRI 2847/S-300

- 22.1 — Evaluasi kekuatan – Umum
- 22.2 — Penentuan dimensi struktur dan sifat bahan yang diperlukan
- 22.3 — Prosedur uji beban
- 22.4 — Kriteria pembebanan
- 22.5 — Syarat penerimaan
- 22.6 — Ketentuan untuk tingkat pembebanan yang lebih rendah
- 22.7 — Keamanan

PASAL 23—KETENTUAN KHUSUS UNTUK PERENCANAAN GEMPA 2847/S-307

- 23.1 — Definisi
- 23.2 — Ketentuan umum
- 23.3 — Komponen struktur lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- 23.4 — Komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial pada SRPMK
- 23.5 — Hubungan balok-kolom pada SRPMK
- 23.6 — Dinding struktural beton khusus dan balok perangkai khusus
- 23.7 — Diafragma dan rangka batang struktural
- 23.8 — Fondasi
- 23.9 — Komponen struktur yang tidak direncanakan untuk memikul beban gempa
- 23.10 — Ketentuan-ketentuan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

PASAL 24—BETON POLOS STRUKTURAL 2847/S-344

- 24.1 — Ruang lingkup
- 24.2 — Batasan
- 24.3 — Sambungan

- 24.4 — Metode perencanaan
- 24.5 — Kuat rencana
- 24.6 — Dinding
- 24.7 — Fondasi telapak
- 24.8 — *Pedestal*
- 24.9 — Komponen struktur pracetak
- 24.10 — Beton polos pada struktur tahan gempa

PASAL 25—METODE DESAIN ALTERNATIF2847/S-354

- 25.1 — Ruang lingkup
- 25.2 — Umum
- 25.3 — Tegangan ijin untuk beban kerja
- 25.4 — Panjang penyaluran dan sambungan lewatan untuk tulangan
- 25.5 — Lentur
- 25.6 — Komponen tekan dengan atau tanpa lentur
- 25.7 — Geser dan puntir

DAFTAR REFERENSI PENJELASAN2847/S-365

LAMPIRAN A—DAFTAR NOTASI2847/S-385

LAMPIRAN B—INFORMASI TULANGAN BAJA.....2847/S-401

INDEKS2847/S-403

DAFTAR TABEL TATA CARA

Tabel 1	— Persyaratan untuk pengaruh lingkungan khusus	2847/S-29
Tabel 2	— Persyaratan untuk beton yang dipengaruhi oleh lingkungan yang mengandung sulfat	2847/S-30
Tabel 3	— Kandungan ion klorida maksimum untuk perlindungan baja tulangan terhadap korosi	2847/S-31
Tabel 4	— Faktor modifikasi untuk deviasi standar jika jumlah pengujian kurang dari 30 contoh	2847/S-38
Tabel 5	— Kuat tekan rata-rata perlu jika data tidak tersedia untuk menetapkan deviasi standar	2847/S-39
Tabel 6	— Diameter bengkokan minimum	2847/S-60
Tabel 7	— Toleransi untuk tinggi selimut beton	2847/S-62
Tabel 8	— Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung	2847/S-94
Tabel 9	— Lendutan ijin maksimum	2847/S-96
Tabel 10	— Tebal minimum pelat tanpa balok interior	2847/S-97
Tabel 11	— Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir	2847/S-178
Tabel 12	— Panjang lewatan tarik	2847/S-200
Tabel 13	— Distribusi momen total terfaktor	2847/S-220
Tabel 14	— Koefisien friksi tendon pasca tarik untuk digunakan pada Persamaan 107 atau 108	2847/S-268

DAFTAR GAMBAR TATA CARA

Gambar 1 — Diagram alir untuk perancangan proporsi campuran	2847/S-37
Gambar 2 — Spasi antara tulangan-tulangan longitudinal kolom.....	2847/S-70
Gambar 3 — Terminologi balok/pelat satu arah di atas banyak tumpuan.....	2847/S-79
Gambar 4 — Luas tarik efektif beton.....	2847/S-109
Gambar 5 — Faktor panjang efektif, k	2847/S-118
Gambar 6 — Penentuan A_2 pada permukaan penumpu miring atau berundak	2847/S-129
Gambar 7 — Lokasi geser maksimum untuk perencanaan	2847/S-132
Gambar 8 — Jenis momen puntir	2847/S-147
Gambar 9 — Definisi A_{oh}	2847/S-149
Gambar 10 — Geser-friksi.....	2847/S-156
Gambar 11 — Parameter geometri konsol pendek	2847/S-161
Gambar 12 — Nilai β_c untuk daerah pembebanan yang bukan persegi.....	2847/S-167
Gambar 13 — Pengaturan tulangan geser pelat pada kolom interior	2847/S-168
Gambar 14 — Pengaturan tulangan geser pelat pada kolom tepi	2847/S-169
Gambar 15 — Pengaruh bukaan dan tepi bebas.....	2847/S-173
Gambar 16 — Distribusi tegangan geser.....	2847/S-174
Gambar 17 — Detail kaitan untuk penyaluran kait standar	2847/S-184
Gambar 18 — Penyaluran jaring kawat ulir	2847/S-186
Gambar 19 — Penyaluran jaring kawat polos.....	2847/S-187
Gambar 20 — Elemen struktur yang sangat bergantung pada angkur ujung	2847/S-192
Gambar 21 — Penyaluran tulangan momen negatif.....	2847/S-195
Gambar 22 — Angkur pada daerah serat tekan untuk tulangan sengkang-U yang menggunakan jaring kawat	2847/S-197

Gambar 23 — Angkur untuk sengkang jaring kawat berkaki tunggal	2847/S-197
Gambar 24 — Spasi bersih antara batang-batang yang disambung	2847/S-200
Gambar 25 — Sambungan lewatan jaring kawat ulir	2847/S-205
Gambar 26 — Sambungan lewatan jaring kawat polos	2847/S-206
Gambar 27 — Bagian pelat yang diperhitungkan sesuai 15.2.4	2847/S-210
Gambar 28 — Detail tulangan pada pelat tanpa balok	2847/S-212
Gambar 29 — Contoh penampang persegi ekuivalen untuk komponen-komponen pendukung	2847/S-219
Gambar 30 — Luas tributari pembebanan untuk perhitungan geser pada balok dalam	2847/S-223
Gambar 31 — Definisi rangka ekuivalen	2847/S-224
Gambar 32 — Kolom ekuivalen	2847/S-225
Gambar 33 — Pengaturan tulangan pengikat tarik pada struktur panel	2847/S-250
Gambar 34 — Panjang landasan	2847/S-251
Gambar 35 — Skema penampang	2847/S-263
Gambar 36 — Skema penampang dalam keadaan lentur batas	2847/S-270
Gambar 37 — Daerah angkur	2847/S-278
Gambar 38 — Pengaruh dari perubahan potongan penampang	2847/S-280
Gambar 39 — Contoh model penunjang dan pengikat	2847/S-281
Gambar 40 — Contoh sengkang tertutup yang dipasang bertumpuk	2847/S-316
Gambar 41 — Perencanaan geser untuk balok-kolom	2847/S-317
Gambar 42 — Contoh tulangan transversal pada kolom	2847/S-320
Gambar 43 — Luas efektif hubungan balok-kolom	2847/S-323
Gambar 44 — Dinding dengan bukaan	2847/S-326
Gambar 45 — Perhitungan rasio tulangan utama pada tepi dinding tipikal	2847/S-329

DAFTAR GAMBAR TATA CARA

2847/S-xi

Gambar 46 — Balok perangkai dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal	2847/S-330
Gambar 47 — Gaya lintang rencana untuk SRPMM	2847/S-339
Gambar 48 — Lokasi tulangan pada konstruksi pelat dua arah	2847/S-341
Gambar 49 — Pengaturan tulangan pada pelat	2847/S-341

DAFTAR GAMBAR PENJELASAN

Gambar S9.12.3	— Prategang yang digunakan untuk susut dan suhu	2847/S-73
Gambar S10.4	— Redistribusi momen yang diijinkan untuk kapasitas rotasi minimum	2847/S-80
Gambar S11.5.2.5	— Pengali untuk lendutan jangka panjang	2847/S-95
Gambar S13.1.3.1(a)	— Diagram badan-bebas (<i>free-body</i>) ujung balok	2847/S-133
Gambar S13.1.3.1(b)	— Lokasi penampang kritis untuk geser pada komponen struktur yang dibebani dekat bagian terbawah	2847/S-133
Gambar S13.3.2.2	— Perbandingan persamaan kuat geser untuk komponen struktur yang dikenai beban aksial	2847/S-136
Gambar S13.4.1	— Penerapan Pers. (52) untuk komponen struktur prategang yang dibebani secara seragam	2847/S-137
Gambar S13.4.2	— Tipe retak pada balok beton	2847/S-139
Gambar S13.6	— (a) Tabung dinding-tipis; (b) luasan dilingkupi oleh alur alir geser	2847/S-145
Gambar 13.6.3.1	— Penambahan tegangan puntir dan geser	2847/S-149
Gambar S13.6.3.6	— Analogi rangka batang (<i>truss</i>) ruang	2847/S-151
Gambar S13.6.3.7	— Resolusi gaya geser V , kedalam gaya tekan diagonal D , dan gaya tarik aksial N , dalam satu dinding <i>tube</i>	2847/S-151
Gambar S13.6.4.2	— Pengelupasan (<i>spalling</i>) sudut balok dibebani dalam torsi	2847/S-154
Gambar S13.9.1	— Aksi struktur konsol pendek	2847/S-161
Gambar S13.9.6	— Detail las digunakan dalam uji dari Referensi 13.41	2847/S-163
Gambar S13.12.3(a)	— Senggang pelat	2847/S-171
Gambar S13.12.4.5	— Geser teridealisasi bekerja pada kepala-geser	2847/S-171
Gambar S13.12.4.7	— Lokasi penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.4.7	2847/S-172
Gambar S14.5.4	— Penutup beton sesuai 14.5.4	2847/S-185
Gambar S14.9	— Variasi tegangan baja dengan jarak dari ujung bebas <i>strand</i>	2847/S-188
Gambar S14.10.2	— Penyaluran tulangan lentur pada balok menerus tipikal	2847/S-190

DAFTAR GAMBAR PENJELASAN**2847/S-xiii**

Gambar S14.11.3	— Konsep untuk menentukan ukuran batang maksimum menurut 14.11.3	2847/S-193
Gambar S14.17	— Persyaratan sambungan khusus untuk kolom.....	2847/S-203
Gambar S14.17.2	— Kaki pengikat yang melintasi sumbu lentur digunakan untuk menghitung luasan efektif. Dalam kasus yang ditunjukkan, empat kaki adalah efektif	2847/S-203
Gambar S15.7.5	— Distribusi momen puntir unit sepanjang garis-pusat kolom AA ditunjukkan dalam Gambar 32	2847/S-226
Gambar S16.5	— Desain empiris dinding, Pers. (95) versus 16.4.....	2847/S-233
Gambar S17.5	— Keliling kritis dimodifikasi untuk geser dengan keliling kritis tumpang-tindih	2847/S-239

PASAL 1 — RUANG LINGKUP

TATA CARA

Tata cara ini meliputi persyaratan-persyaratan umum serta ketentuan teknis perencanaan dan pelaksanaan struktur beton untuk bangunan gedung atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur bangunan gedung.

PENJELASAN

“Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002),” yang selanjutnya disebut sebagai tata cara, menyediakan persyaratan minimum untuk perencanaan atau pelaksanaan konstruksi beton struktural.

Edisi 2002 tata cara ini merevisi standar terdahulu “Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-1992).”^{1,1} Standar ini mencakup aturan-aturan untuk semua beton yang digunakan untuk tujuan struktural termasuk beton polos dan beton bertulang. Istilah “beton struktural” mengacu pada semua beton polos atau bertulang yang digunakan untuk tujuan struktural. Hal ini meliputi berbagai aplikasi struktur beton dari struktur beton polos hingga struktur beton bertulang, struktur beton prategang, serta struktur beton komposit. Persyaratan untuk beton polos struktur dapat ditemukan pada Pasal 24.

Beton prategang termasuk dalam definisi beton bertulang. Ketentuan tata cara ini berlaku untuk beton prategang kecuali yang dinyatakan berlaku secara khusus untuk beton nonprategang.

Pasal 23 tata cara ini berisi ketentuan khusus untuk desain dan pendetailan struktur beton tahanan gempa.

Pasal 25 tata cara ini berisi ketentuan mengenai metoda desain alternatif untuk komponen struktur beton bertulang nonprategang menggunakan metoda beban layan/kerja (tanpa faktor beban) dan tegangan kerja ijin. Metoda Desain Alternatif dimaksudkan untuk memberikan hasil yang sedikit lebih konservatif daripada desain dengan Metoda Desain kekuatan berdasarkan tata cara ini.

PASAL 2 — ACUAN NORMATIF

TATA CARA

SK SNI S-05-1989-F	Standar Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian B (Bahan Bangunan dari Besi/Baja)
SNI 03-2492-1991	Metode Pengambilan Benda Uji Beton Inti
SNI 03-1726-1989	Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung
SNI 03-1727-1989-F	Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung
SNI 03-1974-1990	Metode Pengujian Kuat Tekan Beton
SNI 03-2458-1991	Metode Pengujian Pengambilan Contoh untuk Campuran Beton Segar
SNI 03-2461-1991	Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Struktur
SNI 03-2492-1991	Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium
SNI 03-2496-1991	Spesifikasi Bahan Tambahan Pembentuk Gelembung untuk Beton
SNI 03-2834-1992	Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal
SNI 03-3403-1991-03	Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran
SNI 03-3403-1994	Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti
SNI 03-4433-1997	Spesifikasi Beton Siap Pakai
SNI 03-4810-1998	Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Lapangan
SNI 07-0052-1987	Baja Canai Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji
SNI 07-0068-1987	Pipa Baja Karbon untuk Konstruksi Umum, Mutu dan Cara Uji
SNI 07-0722-1989	Baja Canai Panas untuk Konstruksi Umum
SNI 07-3014-1992	Baja untuk Keperluan Rekayasa Umum
SNI 07-3015-1992	Baja Canai Panas untuk Konstruksi

PENJELASAN

Spesifikasi standar SNI dan ASTM yang terdaftar dalam pasal ini merupakan edisi yang terakhir pada saat ketentuan tata cara ini disusun. Karena spesifikasi-spesifikasi tersebut seringkali direvisi, yang umumnya hanya pada detail-detail yang minor saja, pengguna tata cara ini harus mengecek langsung dengan organisasi sponsornya bila ingin mengacu pada edisi yang terakhir. Akan tetapi, prosedur seperti itu mewajibkan pengguna spesifikasi untuk melakukan evaluasi bilamana terdapat perubahan yang mendasar didalam penggunaan spesifikasinya di edisi yang terakhir.

Agar spesifikasi standar atau material yang lain dapat diadopsi secara legal sebagai referensi ke dalam tata cara bangunan, maka spesifikasi tersebut harus merujuk pada dokumen-dokumen yang tertentu. Hal ini dapat dilakukan secara mudah dengan menggunakan penamaan serial yang lengkap karena bagian pertama menunjukkan subyek dan bagian kedua tahun adopsinya pada ASTM. Untuk SNI, bagian pertama, kedua dan ketiga berturut-turut menunjukkan klasifikasi subyek, subyek dan tahun adopsinya. Semua dokumen-dokumen standar yang dirujuk dalam tata cara ini terdaftar dalam Pasal 2, dengan judul dan penamaan serial yang lengkap. Dalam pasal lainnya tata cara ini, penamaan serial tidak menyertakan tahun supaya semuanya bisa dijaga pembaharuannya dengan merevisi secara sederhana Pasal 2.

Standar-standar SNI tersedia di Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pemukiman, Bandung, sedangkan standar-standar ASTM tersedia di ASTM, 100 *Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, 19428, Amerika Serikat.*

TATA CARA**PENJELASAN**

dengan Pengelasan

SNI 15-2049-1994	Semen Portland	
ANSI/AWS D1.4	Tata Cara Pengelasan – Baja Tulangan	
ASTM A 184M	Standar Spesifikasi untuk Anyaman Batang Baja Ulir yang Difabrikasi untuk Tulangan Beton Bertulang	
ASTM A 185	Standar Spesifikasi untuk Serat Baja Polos untuk Beton Bertulang	
ASTM A 242M	Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Campuran Rendah Mutu Tinggi	
ASTM A 36M-94	Standar Spesifikasi untuk Baja Karbon Struktural	
ASTM A 416M	Standar Spesifikasi untuk <i>Strand</i> Baja, Tujuh Kawat Tanpa Lapisan untuk Beton Prategang	
ASTM A 421	Standar Spesifikasi untuk Kawat Baja Tulangan – Tegangan Tanpa Pelapis untuk Beton Prategang	
ASTM A 496-94	Standar Spesifikasi untuk Kawat Baja untuk Beton Bertulang	
ASTM A 497-94a	Standar Spesifikasi untuk Jaring Kawat Las Ulir untuk Beton Bertulang	
ASTM A 500	Standar Spesifikasi untuk Las Bentukan Dingin dan Konstruksi Pipa Baja Karbon Tanpa Sambungan	
ASTM A 501-93	Standar Spesifikasi untuk Las Canai-Panas dan Pipa Baja Karbon Struktural Tanpa Sambungan	
ASTM A 53	Standar Spesifikasi untuk Pipa, Baja Hitam dan Pencelupan Panas, Zinc Pelapis Las dan Tanpa Sambungan	
ASTM A 572M	Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Mutu Tinggi Campuran Columbium-Vanadium	
ASTM A 588M	Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Campuran Rendah Mutu Tinggi dengan Kuat Leleh Minimum 345 MPa pada Ketebalan 100 mm	
ASTM A 615M	Standar Spesifikasi untuk Tulangan Baja	Keperluan Tambahan (<i>Supplementary Requirement</i>) S1

TATA CARA**PENJELASAN**

	Ulir dan Polos Gilas untuk Beton Bertulang
ASTM A 616M-96a	Standar Spesifikasi untuk Rel Baja Ulir dan Polos untuk, Bertulang termasuk Keperluan Tambahan S1
ASTM A 617M	Standar Spesifikasi untuk Serat Baja Ulir dan Polos untuk Beton Bertulang
ASTM A 645M-96a	Standar Spesifikasi untuk Baja Gilas Ulir and Polos – Tulangan Baja untuk Beton Bertulang
ASTM A 706M	Standar Spesifikasi untuk Baja Ulir dan Polos Paduan Rendah Mutu Tinggi untuk Beton Prategang
ASTM A 722	Standar Spesifikasi untuk Baja Tulangan Mutu Tinggi Tanpa Lapisan untuk Beton Prategang
ASTM A 767M-90	Standar Spesifikasi untuk Baja dengan Pelapis Seng (Galvanis) untuk Beton Bertulang
ASTM A 775M-94d	Standar Spesifikasi untuk Tulangan Baja Berlapis Epoksi
ASTM A 82	Standar Spesifikasi untuk Kawat Tulangan Polos untuk Penulangan Beton
ASTM A 82-94	Standar Spesifikasi untuk Jaringan Kawat Baja untuk Beton Bertulang
ASTM A 884M	Standar Spesifikasi untuk Kawat Baja dan Jaring Kawat Las Berlapis Epoksi untuk Tulangan
ASTM A 934M	Standar Spesifikasi untuk Lapisan Epoksi pada Baja Tulangan yang Diprefabrikasi
ASTM C 1017	Standar Spesifikasi untuk Bahan Tambahan Kimiawi untuk Menghasilkan Beton dengan Keleccakan yang Tinggi
ASTM C 109	Metode Uji Kuat Tekan untuk Mortar Semen Hidrolis
ASTM C 109-93	Standar Metode Uji Kuat Tekan Mortar Semen Hidrolis (Menggunakan Benda Uji Kubus 50 mm)
ASTM C 1240	Standar Spesifikasi untuk Silica Fume

ASTM A 616M dianggap persyaratan wajib apabila ASTM A 616M dirujuk dalam tata cara ini.

TATA CARA**PENJELASAN**

untuk Digunakan pada Beton dan Mortar Semen Hidrolis

ASTM C 31-91	Standar Praktis untuk Pembuatan dan Pemeliharaan Benda Uji Beton di Lapangan
ASTM C 33	Standar Spesifikasi Agregat untuk Beton
ASTM C 33-93	Standar Spesifikasi untuk Agregat Beton
ASTM C 39-93a	Standar Metode Uji untuk Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton
ASTM C 42-90	Standar Metode Pengambilan dan Uji Beton Inti dan Pemotongan Balok Beton
ASTM C 494	Standar Spesifikasi Bahan Tambahan Kimiawi untuk Beton
ASTM C 595	Standar Spesifikasi Semen Blended Hidrolis
ASTM C 618	Standar Spesifikasi untuk Abu Terbang dan Pozzolan Alami Murni atau Terkalsinasi untuk Digunakan sebagai Bahan Tambahan Mineral pada Beton Semen Portland
ASTM C 685	Standar Spesifikasi untuk Beton yang Dibuat Melalui Penakaran Volume dan Pencampuran Menerus
ASTM C 845	Standar Spesifikasi Semen Hidrolis Ekspansif
ASTM C 94-94	Standar Spesifikasi untuk Beton Jadi
ASTM C 989	Standar Spesifikasi untuk Kerak Tungku Pijar yang Diperhalus untuk Digunakan pada Beton dan Mortar

PASAL 3 — ISTILAH DAN DEFINISI

TATA CARA

- 3.1—Adukan:** Campuran antara agregat halus dan semen portland atau jenis semen hidrolik yang lain dan air.
- 3.2—Agregat:** Material berbutir, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik.
- 3.3—Agregat halus:** Pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.
- 3.4—Agregat kasar:** Kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm.
- 3.5—Agregat ringan:** Agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi sebesar 1100 kg/m³ atau kurang.
- 3.6—Angkur:** Suatu alat yang digunakan untuk menjangkarkan tendon kepada komponen struktur beton dalam sistem pasca tarik atau suatu alat yang digunakan untuk menjangkarkan tendon selama proses pengerasan beton dalam sistem pratarik.
- 3.7—Bahan tambahan:** Suatu bahan berupa bubukan atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.
- 3.8—Beban hidup:** Semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap.
- 3.9—Beban kerja:** Beban rencana yang digunakan untuk merencanakan komponen struktur.
- 3.10—Beban mati:** Berat semua bagian dari suatu gedung

PENJELASAN

Untuk penerapan tata cara yang konsisten, istilah-istilahnya perlu didefinisikan bilamana mempunyai arti-arti khusus didalam tata cara ini. Definisi-definisi yang diberikan adalah untuk kegunaan didalam penerapan tata cara ini saja dan tidak selalu berkaitan dengan pemakaian umum. Sebuah glosari istilah yang paling sering digunakan berkaitan dengan pembuatan semen, perencanaan dan pelaksanaan konstruksi beton, dan penelitian pada beton dimuat dalam "*Cement and Concrete Terminology*" yang dilaporkan oleh *ACI Committee 116*.^{3.1}

S3.8-11—Beban-beban: Sejumlah definisi untuk beban diberikan karena tata cara ini mengandung persyaratan yang harus dipenuhi pada berbagai tingkatan beban. Istilah beban mati dan beban hidup mengacu pada beban tak terfaktor (beban layan/kerja) yang ditetapkan atau didefinisikan oleh tata cara bangunan umum. Beban layan (beban tanpa faktor beban) harus digunakan jika dispesifikasikan dalam tata cara ini untuk memproporsikan atau memeriksa komponen struktur agar mempunyai kemampuan layan (*serviceability*) yang cukup, seperti

TATA CARA

yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

3.11—Beban terfaktor: Beban kerja yang telah dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

3.12—Beton: Campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

3.13—Beton bertulang: Beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

3.14—Beton normal: Beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m³ sampai 2500 kg/m³ dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3.15—Beton polos: Beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tetapi kurang dari ketentuan minimum.

3.16—Beton pracetak: Elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

3.17—Beton prategang: Beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.

3.18—Beton ringan: Beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m³.

PENJELASAN

dalam 11.5, Kontrol terhadap Lendutan. Beban yang digunakan untuk memproporsikan komponen struktur agar mempunyai kuat yang cukup didefinisikan sebagai beban terfaktor. Beban terfaktor adalah beban layan yang dikalikan dengan faktor beban sesuai yang ditetapkan dalam 11.2 untuk memperoleh kuat perlu. Istilah beban desain, seperti yang digunakan dalam edisi *ACI Code* 1971 mengacu pada beban yang dikalikan dengan faktor beban yang sesuai, telah dihentikan dalam *ACI Code* 1977 untuk menghindari kerancuan dengan istilah beban rencana yang digunakan dalam tata cara bangunan umum yang menunjukkan beban layan, atau beban yang ditempatkan dalam bangunan. Istilah beban terfaktor, yang pertama kali diadopsi dalam *ACI Code* 1977, menjelaskan bilamana faktor beban diterapkan pada nilai beban, momen, atau geser tertentu seperti yang digunakan dalam ketentuan tata cara ini.

S3.17 —Beton prategang: Beton bertulang didefinisikan mencakup beton prategang. Meskipun perilaku komponen struktur prategang dengan tendon tanpa-lekatan dapat bervariasi mulai yang dari komponen struktur dengan tendon dengan lekatan menerus, beton prategang dengan dan tanpa lekatan yang dikombinasikan dengan beton bertulang konvensional dengan istilah umum "beton bertulang." Ketentuan umum baik untuk beton prategang maupun bertulang konvensional diintegrasikan untuk menghindari ketentuan yang tumpang-tindih dan bertentangan.

S3.18 —Beton ringan: Berdasarkan definisi tata cara ini, beton ringan pasir adalah beton ringan struktural dengan semua agregat halus diganti dengan pasir. Definisi ini bisa tidak sesuai dengan penggunaannya oleh beberapa penyedia material atau kontraktor bilamana sebagian besar,

TATA CARA

3.19—Beton ringan-pasir: Beton ringan yang semua agregat halusya merupakan pasir berat normal.

3.20—Beton ringan-total: Beton ringan yang agregat halusya bukan merupakan pasir alami.

3.21—Dinding geser: Komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral.

3.22—Friksi kelengkungan: Friksi yang diakibatkan oleh bengkokan atau lengkungan di dalam profil tendon prategang yang disyaratkan.

3.23—Friksi wobble: Friksi yang disebabkan oleh adanya penyimpangan yang tidak disengaja pada penempatan selongsong prategang dari kedudukan yang seharusnya.

3.24—Gaya jacking: Gaya sementara yang ditimbulkan oleh alat yang mengakibatkan terjadinya tarik pada tendon dalam beton prategang.

3.25—Kolom: Komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi 3 yang digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan.

PENJELASAN

meskipun tidak semua butiran halus ringannya diganti dengan pasir. Untuk penerapan yang tepat dari ketentuan tata cara ini, batasan penggantian harus dinyatakan dengan interpolasi bilamana digunakan penggantian pasir sebagian.

S3.25 —Kolom: Istilah komponen struktur tekan digunakan dalam tata cara ini untuk mendefinisikan komponen-komponen struktur dimana tegangan primernya adalah tekan longitudinal. Komponen struktur seperti itu tidak perlu vertikal tetapi bisa mempunyai sembarang orientasi dalam ruang. Dinding penumpu, kolom, dan pedestal dianggap layak sebagai komponen struktur tekan berdasarkan definisi ini.

Perbedaan antara kolom dan dinding dalam tata cara ini lebih didasarkan pada penggunaan utamanya daripada hubungan ketinggian dan dimensi penampang yang bebas. Akan tetapi, tata cara ini mengizinkan dinding untuk didesain dengan menggunakan prinsip yang disebutkan untuk desain kolom (lihat 16.4), juga dengan metoda empirik (lihat 16.5).

Sementara dinding selalu melingkupi atau memisahkan ruangan, bisa juga digunakan untuk menahan gaya horisontal atau vertikal ataupun lentur. Sebagai contoh, dinding penahan atau dinding besmen (*basement*) juga mendukung berbagai kombinasi beban.

Kolom pada umumnya digunakan sebagai komponen struktur vertikal utama yang memikul beban aksial terkombinasi dengan lentur dan geser. Akan tetapi, kolom juga bisa membentuk bagian kecil yang terpisah atau terisolasi.

TATA CARA

PENJELASAN

3.26—Kolom pedestal: Komponen struktur tekan tegak yang mempunyai rasio tinggi bebas terhadap dimensi lateral terkecil rata-rata kurang dari 3.

3.27—Komponen struktur lentur beton komposit: Komponen struktur lentur beton yang dibuat secara pracetak dan/atau yang dicor di tempat, yang masing-masing bagian komponennya dibuat secara terpisah, tetapi saling dihubungkan sedemikian hingga semua bagian komponen bereaksi terhadap beban kerja sebagai suatu kesatuan.

3.28—Kuat nominal: Kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai.

S3.28 —Kuat nominal: Kuat komponen struktur atau penampang yang dihitung dengan menggunakan asumsi standar dan persamaan kuat, dan harga nominal (ditetapkan) dari kuat material dan dimensi diacu sebagai "kuat nominal." Subskrip n digunakan untuk menunjukkan kuat nominal; kuat beban aksial nominal P_n , kuat momen nominal M_n , dan kuat geser nominal V_n . "Kuat rencana" atau kuat komponen struktur atau penampang yang digunakan adalah kuat nominal yang direduksi dengan faktor reduksi kuat ϕ .

Beban aksial, momen, dan geser perlu yang digunakan untuk memproporsikan komponen struktur diacu baik sebagai beban aksial terfaktor, momen terfaktor, dan geser terfaktor, ataupun beban aksial, momen, dan geser perlu. Efek beban terfaktor dihitung dari beban dan gaya terfaktor terapan dalam kombinasi beban yang seperti itu seperti ditetapkan dalam tata cara ini (lihat 11.2).

Subskrip u digunakan hanya untuk menunjukkan kuat perlu; kuat beban aksial perlu P_u , kuat momen perlu M_u , dan kuat geser perlu V_u , yang dihitung dari beban dan gaya terfaktor terapan.

Persyaratan dasar untuk desain kekuatan dapat dirumuskan sebagai berikut:

Kuat desain \geq Kuat perlu

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

Sebagai diskusi tambahan mengenai konsep dan nomenklatur untuk desain kekuatan lihat penjelasan Pasal 11.

3.29—Kuat perlu: Kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti yang ditetapkan dalam tata cara ini.

TATA CARA

PENJELASAN

3.30—Kuat rencana: Kuat nominal dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ .

3.31—Kuat tarik belah f_{ci} : Kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan-belah silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya.

3.32—Kuat tarik leleh: Kuat tarik leleh minimum yang disyaratkan atau titik leleh dari tulangan dalam MPa.

3.33—Kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c : Kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dalam satuan MPa. Bila nilai f'_c di dalam tanda akar, maka hanya nilai numerik dalam tanda akar saja yang dipakai, dan hasilnya tetap mempunyai satuan MPa.

3.34—Modulus elastisitas: Rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Nilai rasio ini berlaku untuk tegangan di bawah batas proporsional material. Lihat 10.5.

3.35—Panjang penanaman: Panjang tulangan tertanam yang tersedia dari suatu tulangan diukur dari suatu penampang kritis.

3.36—Panjang penyaluran: Panjang tulangan tertanam yang diperlukan untuk mengembangkan kuat rencana tulangan pada suatu penampang kritis.

3.37—Pasca tarik: Cara pemberian tarikan, dalam sistem prategang dimana tendon ditarik sesudah beton mengeras.

3.38—Perangkat angkur: Perangkat yang digunakan pada sistem prategang pasca tarik untuk menyalurkan gaya pasca tarik dari tendon ke beton.

3.39—Perangkat angkur strand tunggal: Perangkat angkur yang digunakan untuk *strand* tunggal atau batang tunggal berdiameter 16 mm atau kurang yang memenuhi 20.21(1) dan ketentuan-ketentuan lain yang berlaku.

3.40—Perangkat angkur strand majemuk: Perangkat angkur yang digunakan untuk *strand*, batang atau kawat majemuk,

S3.38 — Perangkat angkur: Kebanyakan perangkat angkur untuk pasca-tarik merupakan perangkat buatan standar yang tersedia dari sumber komersial. Dalam beberapa kasus, perencana atau kontraktor mengembangkan detail “khusus” atau gabungan yang mengkombinasi berbagai baji dan pelat baji untuk pengankuran baja prategang dengan pelat ujung atau diafragma khusus. Penetapan informal sebagai perangkat angkur standar atau perangkat angkur khusus tersebut tidak mempunyai hubungan langsung dengan Tata Cara Bangunan SNI dan klasifikasi perangkat angkur AASHTO “*Standard Specifications for Highway Bridges*” sebagai Perangkat Angkur Dasar atau Perangkat Angkur Khusus.

S3.39-40 — Perangkat angkur dasar: adalah perangkat yang diproporsikan sedemikian sehingga dapat diperiksa secara analitis untuk memenuhi tegangan tumpuan dan persyaratan kekakuan tanpa harus menjalani program pengujian penerimaan yang disyaratkan terhadap perangkat angkur khusus.

TATA CARA**PENJELASAN**

atau batang tunggal berdiameter lebih besar daripada 16 mm, yang memenuhi 20.21(1) dan ketentuan-ketentuan lain yang berlaku.

3.41—Pratarik: Pemberian gaya prategang dengan menarik tendon sebelum beton dicor.

3.42—Prategang efektif: Tegangan yang masih bekerja pada tendon setelah semua kehilangan tegangan terjadi, di luar pengaruh beban mati dan beban tambahan.

3.43—Sengkang: Tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur, terbuat dari batang tulangan, kawat baja atau jaring kawat baja las polos atau ulir, berbentuk kaki tunggal atau dibengkokkan dalam bentuk L, U atau persegi dan dipasang tegak lurus atau membentuk sudut, terhadap tulangan longitudinal, dipakai pada komponen struktur lentur balok.

3.44—Sengkang pengikat: Sengkang tertutup penuh yang dipakai pada komponen struktur tekan, kolom.

3.45—Tegangan: Intensitas gaya per satuan luas.

3.46—Tendon: Elemen baja misalnya kawat baja, kabel batang, kawat untai atau suatu bundel dari elemen-elemen tersebut, yang digunakan untuk memberi gaya prategang pada beton.

3.47—Tendon dengan lekatan: Tendon prategang yang direkatkan pada beton baik secara langsung ataupun dengan cara grouting.

3.48—Tinggi efektif penampang d: Jarak yang diukur dari serat tekan terluar hingga titik berat tulangan tarik.

3.49—Transfer: Proses penyaluran tegangan dalam tendon prategang dari jack atau perangkat angkur pasca tarik kepada komponen struktur beton.

3.50—Tulangan: Batang baja berbentuk polos atau berbentuk ulir atau berbentuk pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur beton, tidak termasuk tendon prategang, kecuali bila secara khusus diikuti sertakan.

3.51—Tulangan polos: Batang baja yang permukaan sisi luarnya rata, tidak bersipir dan tidak berukir.

3.52—Tulangan ulir: Batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersipir atau berukir.

S3.52 —Tulangan ulir: Tulangan ulir didefinisikan supaya memenuhi spesifikasi batang ulir dari 5.5.3.1, atau spesifikasi dari 5.5.3.3, 5.5.3.4, 5.5.3.5, atau 5.5.3.6. Tidak ada batang atau jaring lainnya yang memenuhi syarat. Definisi ini mengizinkan pernyataan yang akurat untuk panjang pengankuran. Batang tulangan atau kawat yang tidak memenuhi persyaratan deformasi atau jaring yang

TATA CARA

3.53—*Tulangan spiral*: Tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris.

3.54—*Zona angkur*: Bagian komponen struktur prategang pasca tarik dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarkan secara lebih merata ke seluruh bagian penampang. Panjang daerah zona angkur ini adalah sama dengan dimensi terbesar penampang. Untuk perangkat angkur tengah, zona angkur mencakup daerah terganggu di depan dan di belakang perangkat angkur tersebut.

PENJELASAN

tidak memenuhi persyaratan spasi adalah “tulangan polos,” untuk tujuan tata cara ini, hanya dapat digunakan untuk spiral.

S3.54 —*Zona angkur*: Istilah “di depan” dan “di belakang” perangkat angkur digambarkan dalam Gambar 37(b).

PASAL 4 — PERSYARATAN-PERSYARATAN

TATA CARA

4.1 — Perencanaan struktur

Dalam perencanaan struktur beton bertulang harus dipenuhi syarat-syarat berikut:

4.1.1— Analisis struktur harus dilakukan dengan cara-cara mekanika teknik yang baku.

4.1.2— Analisis dengan komputer, harus disertai dengan penjelasan mengenai prinsip cara kerja program, data masukan serta penjelasan mengenai data keluaran.

4.1.3— Percobaan model diperbolehkan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis.

4.1.4— Analisis struktur harus dilakukan dengan model-model matematis yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekakuan unsur-unsurnya.

4.1.5— Bila cara perhitungan menyimpang dari tata cara ini, maka harus mengikuti persyaratan sebagai berikut:

PENJELASAN

S4.1 — Perencanaan struktur

S4.1.1 — Tata cara ini memperbolehkan analisis struktur dipakai dalam perhitungan desain. Dokumentasi analisis struktur dengan perhitungan yang lengkap harus disediakan. Analisis struktur tersebut harus dilakukan oleh insinyur atau arsitek yang mempunyai pengalaman menggunakan teknik yang bersangkutan.

S4.1.2 — Output komputer yang terdokumentasi dapat diterima sebagai pengganti dari perhitungan manual. Tingkat informasi input dan output yang diperlukan akan bervariasi, menurut persyaratan spesifik dari masing-masing petugas bangunan. Akan tetapi, bilamana program komputer tersebut telah digunakan oleh perencana, hanya data rangka pada umumnya yang diperlukan. Hal ini harus terdiri dari data input dan output yang cukup serta informasi lain yang memungkinkan petugas bangunan untuk melakukan pemeriksaan detail dan membuat perbandingan menggunakan program lain atau perhitungan manual. Data input harus diidentifikasi sesuai dengan penamaan komponen struktur, beban yang bekerja, dan panjang bentang. Data output terkait harus menyertakan penamaan komponen struktur serta geser, momen, dan reaksi di titik-titik penting didalam bentang. Untuk desain kolom, diinginkan untuk menyertakan faktor pembesaran momen didalam inputnya bilamana sesuai.

S4.1.3 — Tata cara ini mengizinkan analisis model digunakan untuk melengkapi analisis struktur dan perhitungan desain. Dokumentasi analisis model harus disediakan dengan perhitungan yang terkait. Analisis model harus dilakukan oleh insinyur atau arsitek yang mempunyai pengalaman dalam teknik ini.

S4.1.4 — Hasil analisis yang akurat atau mendekati kondisi yang sesungguhnya dapat dicapai dengan mensimulasikan keadaan struktur seperti yang akan dilaksanakan pada konstruksi atau apabila dilakukan penaksiran atau evaluasi terhadap bangunan yang telah berdiri, prediksi atau desain-ulang yang diperoleh lebih mendekati kondisi struktur bangunan yang ada.

S4.1.5 — Hasil perhitungan analisis yang diperoleh dari cara yang menyimpang dari tata cara ini harus dapat dibuktikan memenuhi persyaratan-persyaratan yang ditetapkan dalam tata cara ini untuk memastikan bahwa hasil perhitungan tersebut tidaklah jauh menyimpang dari kondisi yang sesungguhnya atau masih didalam batas toleransi.

TATA CARA

4.1.5.1— Struktur yang dihasilkan harus dapat dibuktikan cukup aman dengan bantuan perhitungan dan/atau percobaan.

4.1.5.2— Tanggung jawab atas penyimpangan yang terjadi dipikul oleh perencana dan pelaksana yang bersangkutan.

4.1.5.3— Perhitungan dan/atau percobaan tersebut diajukan kepada panitia yang ditunjuk oleh pengawas bangunan yang berwenang, yang terdiri dari ahli-ahli yang diberi wewenang menentukan segala keterangan dan cara-cara tersebut. Bila perlu, panitia dapat meminta diadakan percobaan ulang, lanjutan atau tambahan. Laporan panitia yang berisi syarat-syarat dan ketentuan-ketentuan penggunaan cara tersebut mempunyai kekuatan yang sama dengan tata cara ini.

4.2 — Penanggung jawab perhitungan

Nama penanggung jawab hasil perhitungan harus ditulis dan dibubuhi tanda tangan serta tanggal yang jelas.

PENJELASAN

S4.1.5.1— Hasil perhitungan yang didapat harus dipastikan sama atau bahkan lebih besar dari hasil analisis yang disyaratkan tata cara ini atau apabila tidak dengan percobaan atau uji eksperimen.

S4.1.5.2— Penyimpangan yang terjadi harus diperiksa untuk menentukan pihak yang bertanggung jawab atas penyimpangan tersebut. Penyimpangan pada desain harus dapat dipertanggungjawabkan oleh pihak perencana, sedangkan pihak pelaksana wajib bertanggung jawab apabila pelaksanaan konstruksi tidak sesuai dengan perhitungan, gambar desain, detail, dan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh pihak perencana.

S4.1.5.3— Panitia dari ahli-ahli yang ditunjuk oleh pengawas bangunan yang berwenang berhak meminta keterangan lengkap serta prosedur penggunaan cara yang menyimpang tersebut disertai dengan bukti-bukti verifikasi bahwa cara tersebut telah digunakan sebelumnya atau diakui masyarakat teknik sipil maupun dianggap layak untuk digunakan dalam desain berdasarkan pengalaman yang ada.

Uji eksperimen bisa ditetapkan sebagai syarat verifikasi cara tersebut apabila diminta oleh panitia. Panitia berhak meminta uji ulang, tambahan atau bahkan lanjutan bila dirasa perlu untuk meyakinkan keakuratan hasilnya.

Pembuktian-pembuktian kelayakan cara yang dipilih tersebut haruslah dituangkan dalam bentuk laporan panitia yang lengkap disertai dengan prosedur, syarat-syarat dan ketentuan-ketentuan lengkap untuk penggunaannya. Dengan demikian, laporan panitia tersebut bisa diakui sebagai alternatif untuk tata cara ini.

S4.2 — Penanggung jawab perhitungan

Tata cara ini tidak memberikan daftar lengkap dan detail informasi tambahan lainnya yang mungkin disyaratkan oleh petugas bangunan dan harus disertakan didalam dokumen perhitungan desain selain nama dan tanda tangan penanggung jawab hasil perhitungan serta tanggalnya.

PASAL 5 — BAHAN

TATA CARA

5.1 — Pengujian bahan

5.1.1 — Pengawas lapangan berhak memerintahkan diadakan pengujian pada setiap bahan yang digunakan pada pelaksanaan konstruksi beton untuk menentukan apakah bahan tersebut mempunyai mutu sesuai dengan mutu yang telah ditetapkan.

5.1.2 — Pengujian bahan dan pengujian beton harus dibuat sesuai dengan tata cara-tata cara yang terdapat pada Pasal 2.

5.1.3 — Laporan lengkap pengujian bahan dan pengujian beton harus tersedia untuk pemeriksaan selama pekerjaan berlangsung dan pada masa 2 tahun setelah selesainya pembangunan.

5.2 — Semen

5.2.1 — Semen harus memenuhi salah satu dari ketentuan berikut:

5.2.1.1 — SNI 15-2049-1994, *Semen portland*.

5.2.1.2 — “*Spesifikasi semen blended hidrolis*” (ASTM C 595), kecuali tipe S dan SA yang tidak diperuntukkan sebagai unsur pengikat utama struktur beton.

5.2.1.3 — “*Spesifikasi semen hidrolis ekspansif*” (ASTM C 845).

5.2.2 — Semen yang digunakan pada pekerjaan konstruksi harus sesuai dengan semen yang digunakan pada perancangan proporsi campuran. Lihat 7.2.

5.3 — Agregat

5.3.1 — Agregat untuk beton harus memenuhi salah satu dari ketentuan berikut:

5.3.1.1 — “*Spesifikasi agregat untuk beton*” (ASTM C 33).

5.3.1.2 — SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi agregat ringan*”

PENJELASAN

S5.1 — Pengujian bahan

S5.1.3 — Catatan pengujian bahan dan beton harus tersedia paling sedikit 2 tahun setelah penyelesaian proyek. Penyelesaian proyek adalah tanggal saat pemilik menerima proyek atau ketika sertifikat hunian diterbitkan, digunakan tanggal yang terakhir. Persyaratan hukum lokal dapat mensyaratkan penyimpanan yang lebih lama terhadap catatan tersebut.

S5.2 — Semen

S5.2.2 — Tergantung pada keadaan, ketentuan 5.2.2 dapat mensyaratkan hanya tipe semen yang sama atau dapat mensyaratkan semen dari sumber yang identik. Yang terakhir adalah kasus bilamana deviasi standar^{5.1} uji kuat yang digunakan dalam menghasilkan marjin kuat yang disyaratkan didasarkan pada semen dari sumber tertentu. Jika deviasi standar didasarkan pada pengujian yang melibatkan tipe semen tertentu yang didapat dari beberapa sumber, interpretasi sebelumnya akan berlaku.

S5.3 — Agregat

S5.3.1 — Agregat yang memenuhi spesifikasi ASTM tidak selalu tersedia secara ekonomis dan, dalam beberapa contoh, material yang tidak memenuhi spesifikasi mempunyai sejarah kinerja memuaskan yang panjang. Material yang tidak memenuhi seperti itu diijinkan dengan persetujuan khusus bilamana diberikan bukti kinerja memuaskan yang dapat diterima. Akan tetapi, kinerja

TATA CARA

untuk beton struktur".

5.3.2— Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:

5.3.2.1— 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun

5.3.2.2— 1/3 ketebalan pelat lantai, ataupun

5.3.2.3— 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel tulangan, atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

5.4 — Air

5.4.1— Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

5.4.2— Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan. Lihat 6.4.1.

5.4.3— Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:

5.4.3.1— Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

5.4.3.2— Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai

PENJELASAN

memuaskan pada masa lampau, tidak menjamin kinerja yang baik dibawah kondisi lain dan di daerah yang lain. Sedapat mungkin, harus dipakai agregat yang memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

S5.3.2 — Batas ukuran agregat diberikan untuk memastikan pelingkupan tulangan terjadi sebagaimana mestinya dan untuk meminimumkan sarang-lebah (*honeycombing*). Catat bahwa batasan terhadap ukuran maksimum agregat dapat diabaikan jika, dalam keputusan perencana, kelecakan (*workability*) dan metoda pemadatan beton adalah sedemikian sehingga beton dapat dicor tanpa terjadi sarang-lebah ataupun rongga.

S5.4 — Air

S5.4.1 — Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak mempunyai rasa atau bau yang mencolok memenuhi syarat sebagai air campuran untuk pembuatan beton. Apabila ketidakmurnian dalam air campuran berlebihan, dapat mempengaruhi tidak hanya waktu pengikatan (*setting time*), kuat beton, dan stabilitas volume (perubahan panjang), tetapi dapat juga mengakibatkan penge-flor-an (*efflorescence*) atau korosi tulangan. Bilamana, mungkin, harus dihindari air dengan konsentrasi tinggi bahan solid yang dapat larut.

Garam atau substansi berbahaya lainnya yang dibawa agregat atau bahan campuran merupakan tambahan pada jumlah yang mungkin sudah terkandung dalam air campuran. Jumlah tambahan ini harus diperhitungkan dalam mengevaluasi penerimaan ketidakmurnian total yang bisa berbahaya terhadap beton atau baja.

TATA CARA

dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C 109).

5.5 — Baja tulangan

5.5.1— Baja tulangan yang digunakan harus tulangan ulir, kecuali baja polos diperkenankan untuk tulangan spiral atau tendon. Tulangan yang terdiri dari profil baja struktural, pipa baja, atau tabung baja dapat digunakan sesuai dengan persyaratan pada tata cara ini.

5.5.2— Pengelasan baja tulangan harus memenuhi “Persyaratan pengelasan struktural baja tulangan” ANSI/AWS D1.4 dari *American Welding Society*. Jenis dan lokasi sambungan las tumpuk dan persyaratan pengelasan lainnya harus ditunjukkan pada gambar rencana atau spesifikasi.

PENJELASAN

S5.5 — Baja tulangan

S5.5.1— Material yang diijinkan untuk pemakaian sebagai tulangan perlu dispesifikasikan. Elemen metal lainnya, seperti penyelip, baut angkur, atau batang polos untuk pasak pada isolasi atau join kontraksi (*contraction joints*), normalnya tidak diperhitungkan sebagai tulangan menurut ketentuan dari tata cara ini.

S5.5.2— Bila pengelasan batang tulangan diperlukan, kemudahan pengelasan (*weldability*) baja dan prosedur pengelasan yang kompatibel perlu diperhitungkan. Ketentuan dalam ANSI/AWS D1.4 *Welding Code* meliputi aspek-aspek pengelasan batang tulangan, termasuk kriteria prosedur pengelasan yang memenuhi syarat.

Kemudahan pengelasan baja didasarkan pada komposisi kimia atau ekuivalen karbonnya (*CE*). *Welding Code* tersebut memberikan temperatur pra-pemanasan dan rambatannya untuk rentang ekuivalen karbon dan ukuran batang tulangan. Ekuivalen karbon dihitung dari komposisi kimia batang tulangan. *Welding Code* tersebut mempunyai dua perumusan untuk perhitungan ekuivalen karbon. Sebuah perumusan relatif pendek, yang memperhitungkan hanya elemen karbon dan mangan, dipakai untuk batang selain dari material ASTM A 706M. Sebuah perumusan yang lebih lengkap diberikan untuk batang ASTM A 706M. Formula *CE* dalam *Welding Code* tersebut untuk batang A 706M adalah identik dengan formula *CE* dalam spesifikasi ASTM A 706M.

Perencana harus menyadari bahwa analisis kimia, untuk batang selain dari A 706M, yang diperlukan untuk menghitung ekuivalen karbon tidaklah secara rutin disediakan oleh produsen batang tulangan. Untuk pengelasan batang tulangan selain dari A 706M, gambar desain atau spesifikasi proyek harus secara spesifik mensyaratkan untuk melengkapi hasil analisis kimia.

Spesifikasi ASTM A 706M meliputi batang tulangan baja campuran-rendah (*low-alloy*) yang dimaksudkan untuk pemakaian yang mensyaratkan properti/sifat tarik atau pengelasan yang terkontrol. Kemudahan pengelasan dicapai dalam spesifikasi A 706M dengan batasan atau kontrol terhadap komposisi kimia dan terhadap ekuivalen karbon.^{5.2} Produsen disyaratkan oleh spesifikasi A 706M untuk melaporkan komposisi kimia dan ekuivalen karbon.

ANSI/AWS D1.4 *Welding Code* mensyaratkan kontraktor untuk menyediakan spesifikasi prosedur pengelasan secara tertulis yang memenuhi persyaratan *Welding Code* tersebut. Lampiran A *Welding Code* itu mengandung sebuah formulir saran yang menunjukkan informasi yang

TATA CARA

PENJELASAN

diperlukan oleh spesifikasi semacam itu untuk setiap prosedur pengelasan titik kumpul (*joint*).

Seringkali perlu untuk mengelas batang tulangan yang ada dalam struktur bila laporan uji giling (*mill test*) tulangan tidak tersedia. Keadaan ini khususnya biasa terjadi dalam pekerjaan perubahan atau ekspansi bangunan. ANSI/AWS D1.4 menyatakan untuk tulangan semacam itu analisis kimia dapat dilakukan pada batang representatif. Jika komposisi kimia tidak diketahui atau diperoleh, *Welding Code* tersebut mensyaratkan pra-pemanasan minimum. Untuk batang selain dari material A 706M, pra-pemanasan minimum yang disyaratkan adalah 150°C untuk batang D-19 atau lebih kecil, dan 200°C untuk batang D-22 atau lebih besar. Pra-pemanasan yang disyaratkan untuk semua ukuran dari A 706M adalah berupa temperatur yang diberikan dalam tabel *Welding Code* tersebut untuk pra-pemanasan minimum yang berkaitan dengan rentang *CE* "lebih dari 45 persen sampai 55 persen." Pengelasan batang tertentu harus dilakukan sesuai dengan ANSI/AWS D 1.4. Hal tersebut juga harus ditetapkan bilamana perhatian tambahan diperlukan, berdasarkan pada "pertimbangan lainnya seperti tingkat tegangan dalam tulangan, konsekuensi kegagalan, dan kerusakan oleh pemanasan pada beton disekitarnya akibat pengelasan.

Pengelasan kawat pada kawat dan kawat atau jaring kawat las pada batang tulangan atau elemen baja struktur tidak diatur oleh ANSI/AWS D 1.4. Jika pengelasan tipe ini diperlukan pada proyek, perencana harus menetapkan persyaratan atau kriteria kinerja untuk pengelasan ini. Jika kawat tarik dingin dilas, prosedur pengelasan harus memperhatikan kehilangan potensial kuat leleh dan daktilitas yang dicapai oleh proses kerja dingin (selama pembuatan) bila kawat seperti itu dipanaskan dengan pengelasan. Pengelasan mesin dan ketahanan yang digunakan dalam pembuatan jaring kawat las dibahas oleh ASTM A 185 dan A 497 dan bukanlah bagian dari pembahasan ini.

5.5.3 — Baja tulangan ulir (BJTD)

5.5.3.1 — Baja tulangan ulir harus memenuhi salah satu ketentuan berikut:

- (a) "Spesifikasi untuk batang baja *billet* ulir dan polos untuk penulangan beton" (ASTM A 615M).
- (b) "Spesifikasi untuk batang baja *axle* ulir dan polos untuk penulangan beton" (ASTM A 617M).
- (c) "Spesifikasi untuk baja ulir dan polos *low-alloy* untuk penulangan beton" (ASTM A 706M).

S5.5.3 — Baja tulangan ulir (BJTD)

S5.5.3.1 — ASTM A 615M mencakup batang tulangan baja *billet* ulir yang saat ini merupakan tipe batang baja yang paling banyak digunakan dalam konstruksi beton bertulang di Amerika Serikat. Spesifikasi mensyaratkan bahwa batang tersebut perlu ditandai dengan huruf *S* untuk tipe baja.

ASTM A 706M meliputi batang ulir baja metal rendah yang dimaksudkan untuk penerapan bilamana properti tarik yang terkontrol, pembatasan pada komposisi kimia untuk meningkatkan kemudahan pengelasan, atau keduanya, disyaratkan. Spesifikasi mensyaratkan bahwa batang tersebut perlu ditandai dengan huruf *W* untuk tipe baja.

Batang ulir yang diproduksi untuk memenuhi baik ASTM

TATA CARA

5.5.3.2— Baja tulangan ulir dengan spesifikasi kuat leleh f_y melebihi 400 MPa boleh digunakan, selama f_y adalah nilai tegangan pada regangan 0,35%.

5.5.3.3— Anyaman batang baja untuk penulangan beton harus memenuhi "*Spesifikasi untuk anyaman batang baja ulir yang difabrikasi untuk tulangan beton bertulang*" (ASTM A 184M). Baja tulangan yang digunakan dalam anyaman harus memenuhi salah satu persyaratan- persyaratan yang terdapat dalam 5.5.3.1.

5.5.3.4— Kawat ulir untuk penulangan beton harus memenuhi "*Spesifikasi untuk kawat baja ulir untuk tulangan beton*" (ASTM A 496), kecuali bahwa kawat tidak boleh lebih kecil dari ukuran D4 dan untuk kawat dengan spesifikasi kuat leleh f_y melebihi 400 MPa, maka f_y harus diambil sama dengan nilai tegangan pada regangan 0,35% bilamana kuat leleh yang disyaratkan dalam perencanaan melampaui 400 MPa.

5.5.3.5— Jaring kawat polos las untuk penulangan beton harus memenuhi "*Spesifikasi untuk jaring kawat baja polos untuk penulangan beton*" (ASTM A 185), kecuali bahwa untuk tulangan dengan spesifikasi kuat leleh melebihi 400 MPa, maka f_y diambil sama dengan nilai tegangan pada regangan 0,35%, bilamana kuat leleh yang disyaratkan dalam perencanaan melampaui 400 MPa. Jarak antara titik-titik persilangan yang dilas tidak boleh lebih dari 300 mm pada arah tegangan yang ditinjau, kecuali untuk jaring kawat yang digunakan sebagai

PENJELASAN

A 615M dan A 706M disyaratkan untuk ditandai dengan huruf *S* dan *W* untuk tipe baja.

S5.5.3.2— ASTM A 615M mencakup ketentuan untuk batang Mutu 520 dalam ukuran D-19 sampai D-57.

Batasan regangan 0,35 persen diperlukan untuk memastikan bahwa asumsi kurva tegangan-regangan elasto-plastis dalam 12.2.4 tidak akan menghasilkan nilai kuat komponen struktur yang tidak konservatif.

Persyaratan regangan 0,35 tidak berlaku pada batang tulangan yang mempunyai kuat 400 MPa atau lebih kecil. Untuk baja yang mempunyai kuat 300 MPa, seperti yang pernah dipakai secara ekstensif, asumsi kurva tegangan-regangan elasto-plastis didukung sepenuhnya oleh data uji yang ekstensif. Untuk baja dengan kuat yang lebih tinggi, sampai dengan 400 MPa, kurva tegangan-regangan bisa berupa atau tidak berupa elasto-plastis seperti yang diasumsikan dalam 12.2.4, tergantung pada sifat bajanya dan proses pembuatannya. Namun, apabila kurva tegangan-regangan bukan elasto-plastis, maka hanya ada bukti eksperimental yang terbatas yang dapat digunakan untuk menunjukkan bahwa tegangan baja aktual pada saat kuat ultimat/batas mungkin tidak cukup rendah bila dibandingkan dengan kuat leleh yang ditetapkan dimana memerlukan upaya pengujian tambahan dengan kriteria lebih ketat yang dapat diterapkan pada baja yang mempunyai f_y lebih besar dari 400 MPa. Dalam kasus seperti itu, faktor- ϕ bisa diharapkan untuk memperhitungkan defisiensi kekuatan.

S5.5.3.5— Jaring kawat polos las harus dibuat dari kawat yang memenuhi "*Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement*" (ASTM A 82). ASTM A 82 mempunyai kuat leleh minimum sebesar 482 MPa. Tata cara ini telah menetapkan harga kuat leleh sebesar 400 MPa, tetapi membuat ketentuan untuk penggunaan kuat leleh yang lebih tinggi asalkan tegangannya sesuai dengan regangan sebesar 0,35 persen.

TATA CARA

senggang sesuai dengan 14.13.2.

5.5.3.6— Jaring kawat ulir las untuk penulangan beton harus memenuhi “*Spesifikasi jaring kawat las ulir untuk penulangan beton*” (ASTM A 497M), kecuali bahwa untuk kawat dengan spesifikasi kuat leleh f_y melebihi 400 MPa, maka f_y harus diambil sama dengan nilai tegangan pada regangan 0,35%, bilamana kuat leleh yang disyaratkan dalam perencanaan melampaui 400 MPa. Jarak antara titik-titik persilangan yang dilas tidak boleh lebih dari 300 mm pada arah tegangan yang ditinjau, kecuali untuk jaring kawat yang digunakan sebagai senggang sesuai dengan 14.13.2.

5.5.3.7— Baja tulangan yang digalvanis harus memenuhi “*Spesifikasi baja tulangan berlapis seng (galvanis) untuk penulangan beton*” (ASTM A 767M). Baja tulangan berlapis epoksi harus memenuhi persyaratan “*Spesifikasi untuk tulangan dengan pelapis epoksi*” (ASTM A 775M) atau dengan “*Spesifikasi untuk lapisan epoksi pada baja tulangan yang diprefabrikasi*”, (ASTM A 934M). Tulangan berlapis epoksi atau galvanis harus memenuhi salah satu dari spesifikasi yang terdapat pada 5.5.3.1.

5.5.3.8— Kawat dan jaring kawat las yang dilapisi epoksi harus memenuhi “*Spesifikasi untuk kawat baja dan jaring kawat las berlapis epoksi untuk tulangan*” (ASTM A 884M). Kawat yang akan dilapisi epoksi harus memenuhi ketentuan 5.5.3.4 dan jaring kawat las yang akan dilapisi epoksi harus memenuhi ketentuan 5.5.3.5 atau 5.5.3.6.

5.5.4 — Baja tulangan polos

5.5.4.1— Tulangan polos untuk tulangan spiral harus memenuhi persyaratan pada 5.5.3.1(a), 5.5.3.1(b), atau 5.5.3.1(c).

5.5.4.2— Kawat polos untuk tulangan spiral harus memenuhi “*Spesifikasi untuk kawat tulangan polos untuk penulangan beton*” (ASTM A 82), kecuali bahwa untuk kawat dengan spesifikasi kuat leleh f_y yang melebihi 400 MPa, maka f_y harus diambil sama dengan nilai tegangan pada regangan 0,35%, bilamana kuat leleh yang disyaratkan dalam perencanaan melampaui 400 MPa.

5.5.5 — Tendon prategang

5.5.5.1— Tendon untuk tulangan prategang harus memenuhi salah satu dari spesifikasi berikut:

(a) Kawat yang memenuhi “*Spesifikasi untuk baja stress-relieved tanpa lapisan untuk beton prategang*” (ASTM A 421).

(b) Kawat dengan relaksasi rendah, yang memenuhi “*Spesifikasi untuk kawat baja stress-relieved tanpa lapisan*”

PENJELASAN

S5.5.3.6— Jaring kawat ulir las harus dibuat dari kawat yang memenuhi “*Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement*” (ASTM A 496). ASTM A 496 mempunyai kuat leleh minimum sebesar 482 MPa. Tata cara ini telah menetapkan harga kuat leleh sebesar 400 MPa, tetapi membuat ketentuan untuk penggunaan kuat leleh yang lebih tinggi asalkan tegangannya sesuai dengan regangan sebesar 0,35 persen.

S5.5.3.7— Batang tulangan galvanis (A 767) dan batang tulangan berlapis epoksi (A 775) ditambahkan pada *ACI Code* 1983, batang tulangan pra-pabrikasi berlapis epoksi (A 934) ditambahkan pada *ACI Code* 1995 dengan menyadari penggunaannya, khususnya untuk kondisi dimana ketahanan korosi tulangan merupakan perhatian khusus. Tulangan tersebut telah secara tipikal digunakan dalam lantai parkir, lantai jembatan, dan lingkungan korosif tinggi lainnya.

S5.5.4 — Baja tulangan polos

Batang polos dan kawat polos diijinkan hanya untuk tulangan spiral (baik sebagai tulangan lateral untuk komponen struktur tekan, untuk komponen struktur torsi/puntir, atau untuk tulangan pengekang pada sambungan lewatan (*splices*)).

S5.5.5 — Tendon prategang

S5.5.5.1— Karena tendon relaksasi rendah dibahas dalam sebuah pelengkap untuk ASTM A 421, yang berlaku hanya bila material relaksasi rendah dispesifikasikan. Referensi ASTM yang sesuai didaftar sebagai sebuah bagian yang terpisah.

TATA CARA**PENJELASAN**

untuk beton prategang” termasuk suplemen “Kawat dengan relaksasi rendah” (ASTM A 421).

(c) *Strand* yang sesuai dengan “Spesifikasi untuk strand baja, tujuh kawat tanpa lapisan untuk beton prategang” (ASTM A 416M).

(d) Tulangan yang sesuai “Spesifikasi untuk baja tulangan mutu tinggi tanpa lapisan untuk beton prategang” (ASTM A 722).

5.5.5.2— Kawat, *strand*, dan batang tulangan yang tidak secara khusus tercakup dalam ASTM A 421, ASTM A 416M, atau ASTM A 722, diperkenankan untuk digunakan bila tulangan-tulangan tersebut memenuhi persyaratan minimum dari spesifikasi tersebut di atas dan tidak mempunyai sifat yang membuatnya kurang baik dibandingkan dengan sifat-sifat seperti yang terdapat pada ASTM A 421, ASTM A 416, atau ASTM A 722.

5.5.6 — Baja profil, pipa, atau tabung baja

5.5.6.1— Baja profil yang digunakan dengan tulangan beton pada komponen tekan komposit yang memenuhi persyaratan 12.16.7 atau 12.16.8 harus memenuhi salah satu dari spesifikasi berikut:

(a) “Spesifikasi untuk baja karbon struktural” (ASTM A 36M).

(b) “Spesifikasi untuk baja struktural campuran rendah mutu tinggi” (ASTM A 242M).

(c) “Spesifikasi untuk baja struktural mutu tinggi campuran columbium-vanadium” (ASTM A 572M).

(d) “Spesifikasi untuk baja struktural campuran rendah mutu tinggi dengan kuat leleh minimum 345 MPa pada ketebalan 100 mm” (ASTM A 588M).

5.5.6.2— Pipa atau tabung baja untuk komponen struktur komposit tekan yang terdiri dari inti beton berselubung baja sesuai persyaratan 12.16.6 harus memenuhi persyaratan berikut:

(a) Mutu B dari “Specification for pipe, steel, black and hot dipped, zinc-coated welded and seamless” (ASTM A 53).

(b) “Specification for cold-formed welded and seamless carbon steel structural tubing in rounds and shapes” (ASTM A 500).

(c) “Specification for hot-formed welded and seamless carbon steel structural tubing” (ASTM A 501).

TATA CARA

5.6 — Bahan tambahan

5.6.1 — Bahan tambahan yang digunakan pada beton harus mendapat persetujuan terlebih dahulu dari pengawas lapangan.

5.6.2 — Untuk keseluruhan pekerjaan, bahan tambahan yang digunakan harus mampu secara konsisten menghasilkan komposisi dan kinerja yang sama dengan yang dihasilkan oleh produk yang digunakan dalam menentukan proporsi campuran beton sesuai dengan 7.2.

5.6.3 — Kalsium klorida atau bahan tambahan yang mengandung klorida tidak boleh digunakan pada beton prategang, pada beton dengan aluminium tertanam, atau pada beton yang dicor dengan menggunakan bekisting baja galvanis. Lihat 6.3.2 dan 6.4.1.

5.6.4 — Bahan tambahan pembentuk gelembung udara harus memenuhi SNI 03-2496-1991, "*Spesifikasi bahan tambahan pembentuk gelembung untuk beton*".

5.6.5 — Bahan tambahan pengurang air, penghambat reaksi hidrasi beton, pemercepat reaksi hidrasi beton, gabungan pengurang air dan penghambat reaksi hidrasi beton dan gabungan pengurang air dan pemercepat reaksi hidrasi beton harus memenuhi "*Spesifikasi bahan tambahan kimiawi untuk beton*" (ASTM C 494) atau "*Spesifikasi untuk bahan tambahan kimiawi untuk menghasilkan beton dengan kelecakan yang tinggi*" (ASTM C 1017).

5.6.6 — Abu terbang atau bahan pozzolan lainnya yang digunakan sebagai bahan tambahan harus memenuhi "*Spesifikasi untuk abu terbang dan pozzolan alami murni atau terkalsinasi untuk digunakan sebagai bahan tambahan mineral pada beton semen portland*" (ASTM C 618).

5.6.7 — Kerak tungku pijar yang diperhalus yang digunakan sebagai bahan tambahan harus memenuhi "*Spesifikasi untuk kerak tungku pijar yang diperhalus untuk digunakan pada beton dan mortar*" (ASTM C 989).

PENJELASAN

S5.6 — Bahan tambahan

S5.6.3 — Bahan tambahan yang mengandung sembarang klorida, selain ketidakmurnian dari bahan pembentuk bahan tambahan, harus tidak digunakan pada beton prategang atau pada beton dengan aluminium tertanam. Konsentrasi ion klorida dapat mengakibatkan korosi pada aluminium tertanam (contohnya, konduit), khususnya jika aluminium berkontak dengan baja yang ditanam dan beton berada dalam lingkungan lembab. Korosi serius terjadi pada lembaran baja galvanis dan cetakan tetap dari baja galvanis, khususnya dalam lingkungan lembab atau bilamana pengeringan dicegah oleh ketebalan beton atau lapisan atau penutup yang kedap air. Lihat 6.4.1 untuk batasan spesifik pada konsentrasi ion klorida dalam beton.

S5.6.7 — Kerak tungku pijar yang diperhalus yang memenuhi ASTM C 989 digunakan sebagai bahan tambahan dalam beton dengan cara yang hampir sama seperti abu terbang (*fly ash*). Umumnya, kerak tungku pijar tersebut harus digunakan dengan semen portland yang memenuhi ASTM C 150, dan jarang akan cocok untuk memakai kerak ASTM C 989 dengan semen campuran ASTM C 595 yang telah mengandung posolan atau kerak. Penggunaan seperti itu dengan semen ASTM C 595 mungkin dipertimbangkan untuk pengecoran beton masif bila pertambahan kuat yang pelan bisa ditoleransi dan bila hidrasi panas rendah dipandang sangat penting. ASTM C

TATA CARA

5.6.8— Bahan tambahan yang digunakan pada beton yang mengandung semen ekspansif (ASTM C 845) harus cocok dengan semen yang digunakan tersebut dan menghasilkan pengaruh yang tidak merugikan.

5.6.9— *Silica fume* yang digunakan sebagai bahan tambahan harus sesuai dengan “*Spesifikasi untuk silica fume untuk digunakan pada beton dan mortar semen-hidrolis*” (ASTM C 1240).

5.7 — Penyimpanan bahan-bahan

5.7.1— Bahan semen dan agregat harus disimpan sedemikian rupa untuk mencegah kerusakan, atau intrusi bahan yang mengganggu.

5.7.2— Setiap bahan yang telah terganggu atau terkontaminasi tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton.

PENJELASAN

989 menyertakan lampiran yang mendiskusikan efek kerak tungku pijar yang diperhalus pada kuat beton, ketahanan sulfat, dan reaksi alkali-agregat.

S5.6.8 — Penggunaan bahan tambahan pada beton yang mengandung semen ekspansif C 845 telah mereduksi tingkat ekspansif atau meningkatkan nilai susut. Lihat ACI 223.^{5,3}

PASAL 6 — PERSYARATAN KEAWETAN BETON

TATA CARA

6.1 — Rasio air-semen

Rasio air-semen yang disyaratkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 harus dihitung menggunakan berat semen, sesuai dengan ASTM C 150, ASTM C 595 M, atau ASTM C 845, ditambah dengan berat abu terbang dan bahan pozzolan lainnya sesuai dengan ASTM C 618, kerak sesuai dengan ASTM C 989, dan silika fume sesuai dengan ASTM C 1240, bilamana digunakan.

6.2 — Pengaruh lingkungan

Beton yang akan mengalami pengaruh lingkungan seperti yang diberikan pada Tabel 1 harus memenuhi rasio air-semen dan persyaratan kuat tekan karakteristik beton yang ditetapkan pada tabel tersebut.

TABEL 1—PERSYARATAN UNTUK PENGARUH LINGKUNGAN KHUSUS

Kondisi lingkungan	Rasio air-semen maksimum ¹	f'_c minimum ² (MPa)
Beton dengan permeabilitas rendah yang terkena pengaruh lingkungan air	0,50	28
Untuk perlindungan tulangan terhadap korosi pada beton yang terpengaruh lingkungan yang mengandung klorida dari garam, atau air laut	0,40	35

CATATAN:
 1 Dihitung terhadap berat dan berlaku untuk beton normal
 2 Untuk beton berat normal dan beton berat ringan

6.3 — Pengaruh lingkungan yang mengandung sulfat

6.3.1 — Beton yang dipengaruhi oleh lingkungan yang mengandung sulfat yang terdapat dalam larutan atau tanah harus memenuhi persyaratan pada Tabel 2, atau harus terbuat dari semen tahan sulfat dan mempunyai rasio air-semen maksimum dan kuat tekan minimum sesuai dengan Tabel 2.

PENJELASAN

S6.1 — Rasio air-semen

Untuk beton yang terekspos terhadap bahan kimia pencair-es, kuantitas abu-terbang (*flyash*), posolan (*pozzolans*) yang lain, uap silika (*silica fume*), kerak, atau semen campuran (*blended cement*) yang digunakan dalam beton dikenai batasan persentase dalam 6.2. Lebih jauh, dalam 6.3 untuk eksposur sulfat,^{6.1} posolan harus Kelas F dengan ASTM C 618, atau telah diuji dengan ASTM C 1012^{6.2} atau ditetapkan dengan catatan pemakaian untuk memperbaiki ketahanan sulfat.

S6.2 — Pengaruh lingkungan

Rasio air-semen maksimum untuk beton agregat ringan tidak dispesifikasikan karena penentuan absorpsi agregat ini tidak pasti, yang membuat perhitungan rasio air-semen tidak pasti. Penggunaan ketentuan kuat minimum akan menjamin penggunaan pasta semen berkualitas tinggi. Untuk beton agregat normal, penggunaan baik kuat minimum maupun rasio air-semen maksimum memberikan jaminan tambahan bahwa tujuan proyek ini dipenuhi.

S6.3 — Pengaruh lingkungan yang mengandung sulfat

S6.3.1 — Beton yang terekspos terhadap bahaya konsentrasi sulfat dari tanah dan air harus dibuat dengan semen tahan sulfat. Tabel 2 mencatat tipe semen yang cocok, rasio air-semen maksimum dan kuat minimum untuk berbagai kondisi eksposur. Dalam pemilihan semen untuk ketahanan terhadap sulfat, pertimbangan mendasar adalah pada kadar trikalsium aluminanya (C_3A). Untuk eksposur moderat, menurut ASTM C 150 semen Tipe II dibatasi oleh kadar C_3A maksimum sebesar 8,0 persen. Semen campuran dibawah ASTM C 595 yang dibuat dengan klinker semen portlan dengan kurang dari 8 persen C_3A memenuhi untuk jenis MS, dan karena itu, cocok untuk penggunaan pada eksposur sulfat moderat. Tipe yang cocok dibawah ASTM C 595 adalah IP(MS), IS(MS), I(PM)(MS), dan I(SM)(MS). Untuk eksposur parah, semen Tipe V dengan kadar C_3A dispesifikasikan maksimum

TATA CARA

PENJELASAN

sebesar 5 persen. Di daerah tertentu, kadar C_3A dari tipe yang tersedia lainnya seperti Tipe III atau Tipe I boleh kurang dari 8 atau 5 persen dan dapat digunakan dalam eksposur sulfat moderat atau parah. Catat bahwa semen tahan-sulfat tidak akan meningkatkan ketahanan terhadap beberapa larutan agresif kimia, sebagai contoh amonium nitrat. Spesifikasi proyek harus mencakup semua kasus khusus.

Penggunaan abu terbang (ASTM C 618, Kelas F) juga telah menunjukkan perbaikan ketahanan beton terhadap sulfat.^{6.3} Semen Tipe IP tertentu yang dibuat dengan mencampur posolan Kelas F dengan semen portlan yang mempunyai kadar C_3A lebih besar dari 8 persen dapat memberikan ketahanan terhadap sulfat untuk eksposur moderat.

Sebuah catatan untuk Tabel 2 menyatakan air laut sebagai eksposur moderat, walaupun air laut umumnya mengandung lebih dari 1500 ppm SO_4 . Pada eksposur air laut, tipe semen lainnya dengan C_3A sampai dengan 10 persen dapat digunakan jika rasio air-semen maksimum direduksi menjadi 0,40.

Metoda uji ASTM C 1012^{6.2} dapat digunakan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap sulfat dari campuran yang menggunakan kombinasi dengan semen.

Sebagai tambahan terhadap pemilihan semen yang tepat, persyaratan lain untuk beton awet yang terekspos terhadap konsentrasi sulfat adalah penting, seperti, rasio air-semen rendah, kekuatan, pengisian udara yang cukup, slam rendah, pemadatan yang cukup, keseragaman, penutup tulangan yang cukup, dan perawatan lembab yang cukup untuk membentuk properti potensial beton.

6.3.2— Kalsium klorida sebagai bahan tambahan tidak boleh digunakan pada beton yang dipengaruhi oleh lingkungan sulfat yang bersifat berat hingga sangat berat, seperti yang ditetapkan pada Tabel 2.

TABEL 2—PERSYARATAN UNTUK BETON YANG DIPENGARUHI OLEH LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG SULFAT

Paparan lingkungan sulfat	Sulfat (SO_4) dalam tanah yang dapat larut dalam air, persen terhadap berat	Sulfat (SO_4) dalam air (micron gram per gram)	Jenis semen	Rasio air-semen maksimum dalam berat, beton berat normal	f'_c minimum, beton berat normal dan ringan (MPa)
Ringan	0,00 – 0,10	0 – 150	—	—	—
Sedang	0,10 – 0,20	150 – 1500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)*	0,50	28
Berat	0,20 – 2,00	1500 – 10.000	V	0,45	31
Sangat berat	> 2,00	> 10.000	V + pozzolan	0,45	31

CATATAN:
* Semen campuran sesuai ketentuan ASTM C 595

TATA CARA

6.4 — Perlindungan tulangan terhadap korosi

6.4.1 — Untuk perlindungan tulangan di dalam beton terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang dapat larut dalam air pada beton keras umur 28 hingga 42 hari tidak boleh melebihi batasan yang diberikan pada Tabel 3. Bila dilakukan pengujian untuk menentukan kandungan ion klorida yang dapat larut dalam air, prosedur uji harus sesuai dengan ASTM C 1218.

TABEL 3—KANDUNGAN ION KLORIDA MAKSIMUM UNTUK PERLINDUNGAN BAJA TULANGAN TERHADAP KOROSI

Jenis komponen struktur	Ion klorida terlarut (Cl ⁻) dalam beton, persen terhadap berat semen
Beton prategang	0,06
Beton bertulang yang terpapar lingkungan klorida selama masa layannya	0,15
Beton bertulang yang dalam kondisi kering atau terlindung dari air selama masa layannya	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

6.4.2 — Persyaratan nilai rasio air-semen dan kuat tekan beton pada Tabel 1, dan persyaratan tebal selimut beton pada 9.7 harus dipenuhi apabila beton bertulang akan berada pada lingkungan yang mengandung klorida yang berasal dari air garam, air laut, atau cipratan dari sumber garam tersebut. Lihat ketentuan 20.16 untuk tendon kabel prategang tanpa lekatan.

PENJELASAN

S6.4 — Perlindungan tulangan terhadap korosi

S6.4.1 — Informasi tambahan mengenai efek klorida terhadap korosi baja tulangan yang diberikan dalam “*Guide to Durable Concrete*” dilaporkan oleh *ACI Committee 201*^{6.4} dan “*Corrosion of Metals in Concrete*” dilaporkan oleh *ACI Committee 222*.^{6.5} Prosedur uji harus memenuhi ASTM C 1218. Evaluasi awal dapat diperoleh dengan pengujian masing-masing bahan pembentuk beton untuk kadar ion klorida total. Jika kadar ion klorida total, dihitung dengan dasar proporsi beton, melebihi yang diijinkan dalam Tabel 3, mungkin perlu untuk menguji contoh uji beton yang mengeras terhadap kadar ion klorida yang dapat larut dalam air yang dijelaskan dalam panduan ACI 201. Beberapa ion klorida total yang ada dalam bahan pembentuk beton akan menjadi tidak dapat larut dan akan bereaksi dengan semen selama hidrasi dan menjadi tidak dapat larut menurut prosedur uji yang dijelaskan dalam ASTM C 1218.

Ketika beton diuji untuk kadar ion klorida yang dapat larut, hasil uji tersebut harus diadakan pada saat umur 28 sampai 42 hari. Batasan dalam Tabel 3 adalah untuk diterapkan terhadap klorida yang disumbangkan dari bahan pembentuk beton, bukan yang dari lingkungan sekitar beton.

Batasan ion klorida dalam Tabel 3 berbeda dari yang direkomendasikan dalam ACI 201.2R^{6.4} dan ACI 222R.^{6.5} Untuk beton bertulang yang akan kering dalam masa layan, batasan sebesar 1 persen telah dimasukkan untuk mengontrol klorida yang dapat larut total. Tabel 3 memasukkan batasan sebesar 0,15 dan 0,30 persen berturut-turut untuk beton bertulang yang akan terekspos terhadap klorida atau akan lembab dalam masa layan. Batasan ini sebanding dengan 0,10 dan 0,15 yang direkomendasikan dalam ACI 201.2R.^{6.4} ACI 222R^{6.5} merekomendasikan batasan sebesar 0,08 dan 0,20 persen berdasarkan berat semen berturut-turut untuk klorida dalam beton prategang dan bertulang, berdasarkan uji untuk klorida yang dapat larut dalam asam, bukan uji untuk klorida yang dapat larut dalam air yang disyaratkan disini.

Bila digunakan batang berlapis epoksi atau seng, batasan dalam Tabel 3 mungkin perlu lebih ketat dari yang diperlukan.

S6.4.2 — Bila beton terekspos terhadap sumber klorida dari luar, rasio air-semen dan kuat tekan f'_c yang ditetapkan dari 6.2 merupakan persyaratan minimum yang harus dipertimbangkan. Perencana harus mengevaluasi kondisi pada struktur yang mungkin terkena klorida, pada struktur parkir dimana klorida mungkin terbawa masuk oleh kendaraan, atau pada struktur yang dekat air laut. Batang berlapis epoksi atau seng atau penutup yang lebih besar dari minimum yang disyaratkan dalam 9.7 mungkin dikehendaki. Penggunaan kerak yang memenuhi ASTM C 989 atau abu terbang yang memenuhi ASTM C 618 dan

TATA CARA

PENJELASAN

peningkatan tingkat kekuatan yang ditetapkan akan meningkatkan perlindungan. Pemakaian uap silika yang memenuhi ASTM C 1240 dengan pereduksi air rentang-tinggi yang cocok, ASTM C 494, Tipe F dan G, atau ASTM C 1017 dapat juga memberi perlindungan tambahan.^{6.6} Uji kinerja campuran beton sebelum dipakai untuk permeabilitas klorida dengan AASHTO T 277^{6.7} terhadap campuran beton sebelum penggunaannya dapat juga memberikan jaminan tambahan.

PASAL 7 — KUALITAS, PENCAMPURAN, DAN PENGEORAN

TATA CARA

7.1 — Umum

7.1.1—Beton harus dirancang sedemikian hingga menghasilkan kuat tekan rata-rata seperti yang disebutkan dalam 7.3.2 dan juga harus memenuhi kriteria keawetan dalam Pasal 6. Frekuensi nilai kuat tekan rata-rata yang jatuh di bawah nilai f'_c seperti yang ditentukan dalam 7.6.3.3 haruslah sekecil mungkin. Selain itu, nilai f'_c yang digunakan pada bangunan yang direncanakan sesuai dengan aturan-aturan dalam tata cara ini, tidak boleh kurang daripada 17,5 MPa.

7.1.2—Ketentuan untuk nilai f'_c harus didasarkan pada uji silinder yang dibuat dan diuji sebagaimana yang dipersyaratkan pada 7.6.3.

7.1.3—Kecuali ditentukan lain, maka penentuan nilai f'_c harus didasarkan pada pengujian beton yang telah berumur 28 hari. Bila umur beton yang digunakan untuk pengujian bukan 28 hari, maka umur beton untuk pengujian tersebut harus sesuai dengan yang ditentukan pada gambar rencana atau spesifikasi teknis.

7.1.4—Bilamana prosedur perencanaan mensyaratkan penggunaan f_{ct} , sebagaimana dinyatakan dalam 11.5.2.3, 13.2 dan 14.2.4, maka uji laboratorium harus dilakukan sesuai dengan SNI-03-2461-1991, "Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktur, untuk menentukan hubungan antara f_{ct} dan f'_c ".

7.1.5—Uji kuat tarik belah beton tidak boleh digunakan sebagai dasar penerimaan beton di lapangan.

PENJELASAN

Persyaratan proporsi campuran beton didasarkan pada filosofi bahwa beton harus memberikan baik keawetan (Pasal 6) maupun kekuatan yang cukup. Kriteria penerimaan beton didasarkan pada filosofi bahwa tata cara bermaksud terutama untuk melindungi keamanan publik. Pasal 7 menjelaskan prosedur beton dengan kekuatan yang cukup bisa diperoleh, dan memberikan prosedur evaluasi kualitas beton pada saat dan setelah pengecoran di tempat kerja.

Pasal 7 juga mengatur kriteria minimum untuk pencampuran dan pengecoran beton.

Ketentuan-ketentuan dari 7.2, 7.3, dan 7.4, bersama dengan Pasal 6, menghasilkan proporsi campuran yang disyaratkan. Dasar untuk penetapan kecukupan kekuatan beton ada di 7.6.

S7.1 — Umum

S7.1.1—Pasal ini menyajikan anggapan dasar yang menentukan tujuan dan evaluasi kuat beton. Ditekankan bahwa kuat beton rata-rata yang diproduksi harus selalu melampaui nilai yang disyaratkan sebesar f'_c yang digunakan dalam perhitungan desain struktur. Hal ini didasarkan pada konsep probabilistik, dan dimaksudkan untuk menjamin bahwa kuat beton yang cukup akan dihasilkan pada struktur. Persyaratan durabilitas yang diatur dalam Pasal 6 harus dipenuhi sebagai tambahan untuk mencapai kuat beton rata-rata sesuai dengan 7.3.2.

S7.1.4—Pasal 11.5.2.3 (modulus hancur), 13.2 (kuat geser beton) dan 14.2.4 (panjang penyaluran tulangan) mensyaratkan modifikasi dalam kriteria desain untuk pemakaian beton ringan. Dua prosedur modifikasi alternatif disediakan. Sebuah alternatif didasarkan pada uji laboratorium untuk menentukan hubungan antara kuat tarik belah f_{ct} dan kuat tekan yang disyaratkan f'_c untuk beton ringan. Untuk agregat ringan dari sumber tertentu, nilai yang sesuai sebesar f_{ct} perlu diperoleh sebelum desain.

S7.1.5—Uji kuat tarik belah beton (seperti disyaratkan oleh 7.1.4) tidak ditujukan untuk evaluasi, atau syarat

TATA CARA

7.2 — Pemilihan proporsi campuran beton

7.2.1 — Proporsi material untuk campuran beton harus ditentukan untuk menghasilkan sifat-sifat:

7.2.1.1 — Kelecekan dan konsistensi yang menjadikan beton mudah dicor ke dalam cetakan dan ke celah di sekeliling tulangan dengan berbagai kondisi pelaksanaan pengecoran yang harus dilakukan, tanpa terjadinya segregasi atau bleeding yang berlebihan.

7.2.1.2 — Ketahanan terhadap pengaruh lingkungan seperti yang disyaratkan dalam Pasal 6.

7.2.1.3 — Sesuai dengan persyaratan uji kekuatan 7.6.

7.2.2 — Untuk setiap campuran beton yang berbeda, baik dari aspek material yang digunakan ataupun proporsi campurannya, harus dilakukan pengujian.

7.2.3 — Proporsi beton, termasuk rasio air-semen, dapat ditetapkan sesuai dengan 7.3 atau sebagai alternatif 7.4 dan harus memenuhi ketentuan Pasal 6 (Gambar 1).

7.3 — Perancangan proporsi campuran berdasarkan pengalaman lapangan dan/atau hasil campuran uji

PENJELASAN

penerimaan kuat beton di lapangan. Evaluasi tak langsung akan dipertahankan melalui persyaratan uji kuat tekan normal yang disediakan oleh 7.6.

S7.2 — Pemilihan proporsi campuran beton

Rekomendasi untuk pemilihan proporsi beton diberikan secara detail dalam "*Standard Practice for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*" (ACI 211.1).^{7.1} (Menyediakan dua metoda untuk pemilihan dan penyesuaian proporsi untuk beton normal: metoda bobot perkiraan dan volume absolut. Perhitungan contoh ditunjukkan untuk kedua metoda. Proporsi beton berat dengan metoda volume absolut disajikan dalam sebuah lampiran.

Rekomendasi untuk beton ringan diberikan dalam "*Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*" (ACI 211.2).^{7.2} (Menyediakan sebuah metoda penentuan proporsi dan penyesuaian beton mutu struktural yang mengandung agregat ringan.)

S7.2.1 — Rasio air-semen yang dipilih harus cukup rendah, atau dalam kasus beton ringan kuat tekannya cukup tinggi untuk memenuhi baik kriteria kuat (lihat 7.3 atau 7.4) dan persyaratan eksposur khusus (Pasal 6). Tata cara ini tidak mencakup ketentuan khusus untuk eksposur parah, seperti asam atau suhu tinggi, dan tidak dikaitkan dengan pertimbangan estetika seperti penyelesaian permukaan. Hal-hal ini diluar lingkup tata cara ini dan harus dicakup secara spesifik dalam spesifikasi proyek. Bahan pembentuk dan proporsi beton harus dipilih agar memenuhi persyaratan minimum yang dinyatakan dalam tata cara ini dan persyaratan tambahan dokumen kontrak.

S7.2.3 — Tata cara ini menekankan penggunaan pengalaman lapangan atau campuran coba-coba laboratorium (lihat 7.3) sebagai metoda yang dipilih untuk pemilihan proporsi campuran beton. Bila tidak ada pengalaman sebelumnya atau ketersediaan data campuran coba-coba, estimasi rasio air-semen seperti ditetapkan dalam 7.4 diijinkan, tetapi hanya bila ijin khusus diberikan.

S7.3 — Perancangan proporsi campuran berdasarkan pengalaman lapangan dan/atau hasil campuran uji

Dalam pemilihan campuran beton yang sesuai terdapat tiga tahap dasar. Yang pertama adalah penetapan deviasi standar. Yang kedua adalah penetapan kuat rata-rata yang

TATA CARA

7.3.1 — Deviasi standar

7.3.1.1 — Nilai deviasi standar dapat diperoleh jika fasilitas produksi beton mempunyai catatan hasil uji. Data hasil uji yang akan dijadikan sebagai data acuan untuk perhitungan deviasi standar harus:

(a) Mewakili jenis material, prosedur pengendalian mutu dan kondisi yang serupa dengan yang diharapkan, dan perubahan-perubahan pada material ataupun proporsi campuran dalam data pengujian tidak perlu dibuat lebih ketat dari yang digunakan pada pekerjaan yang akan dilakukan.

(b) Mewakili beton yang diperlukan untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan atau kuat tekan f'_c pada kisaran 7 MPa dari yang ditentukan untuk pekerjaan yang akan dilakukan.

(c) Terdiri dari sekurang-kurangnya 30 contoh pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlahnya sekurang-kurangnya 30 contoh pengujian seperti yang ditetapkan pada 7.6.2.4, kecuali sebagaimana yang ditentukan pada 7.3.1.2.

7.3.1.2 — Jika fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji yang memenuhi 7.3.1.1, tetapi mempunyai catatan uji dari pengujian sebanyak 15 contoh sampai 29 contoh secara berurutan, maka deviasi standar ditentukan sebagai hasil perkalian antara nilai deviasi standar yang dihitung dan faktor modifikasi pada Tabel 4. Agar dapat diterima, maka catatan hasil pengujian yang digunakan harus memenuhi persyaratan (a) dan (b) dari 7.3.1.1, dan hanya mewakili catatan tunggal dari pengujian-pengujian yang berurutan dalam periode waktu tidak kurang dari 45 hari kalender.

PENJELASAN

disyaratkan. Yang ketiga adalah pemilihan proporsi campuran disyaratkan untuk menghasilkan kuat rata-rata tersebut, baik dengan prosedur campuran coba-coba konvensional atau dengan catatan pengalaman yang sesuai. Gambar 1 merupakan sebuah diagram alir yang menggarisbawahi pemilihan campuran dan prosedur dokumentasi.

Campuran yang dipilih harus menghasilkan kuat rata-rata yang lebih tinggi dari kuat yang disyaratkan f'_c . Tingkat kelebihan desain campuran tergantung pada variabilitas hasil uji.

S7.3.1 — Deviasi standar

Bila fasilitas produksi beton memiliki catatan 30 uji berturut-turut yang sesuai terhadap material yang serupa pada kondisi yang diperkirakan, deviasi standar dihitung dari hasil tersebut sesuai dengan formula berikut:

$$s = \left[\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{1/2}$$

dimana:

s = deviasi standar, MPa

X_i = uji kekuatan individual seperti didefinisikan dalam 7.6.2.4

\bar{X} = rata-rata n hasil uji kekuatan

n = jumlah uji kekuatan berturut-turut

Deviasi standar digunakan untuk menetapkan kekuatan rata-rata yang disyaratkan dalam 7.3.2.1.

Jika dua catatan uji digunakan untuk mendapatkan paling sedikit 30 uji, deviasi standar yang digunakan harus merupakan rata-rata statistik dari nilai yang dihitung dari setiap catatan uji sesuai dengan formula berikut:

$$\bar{s} = \left[\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2}$$

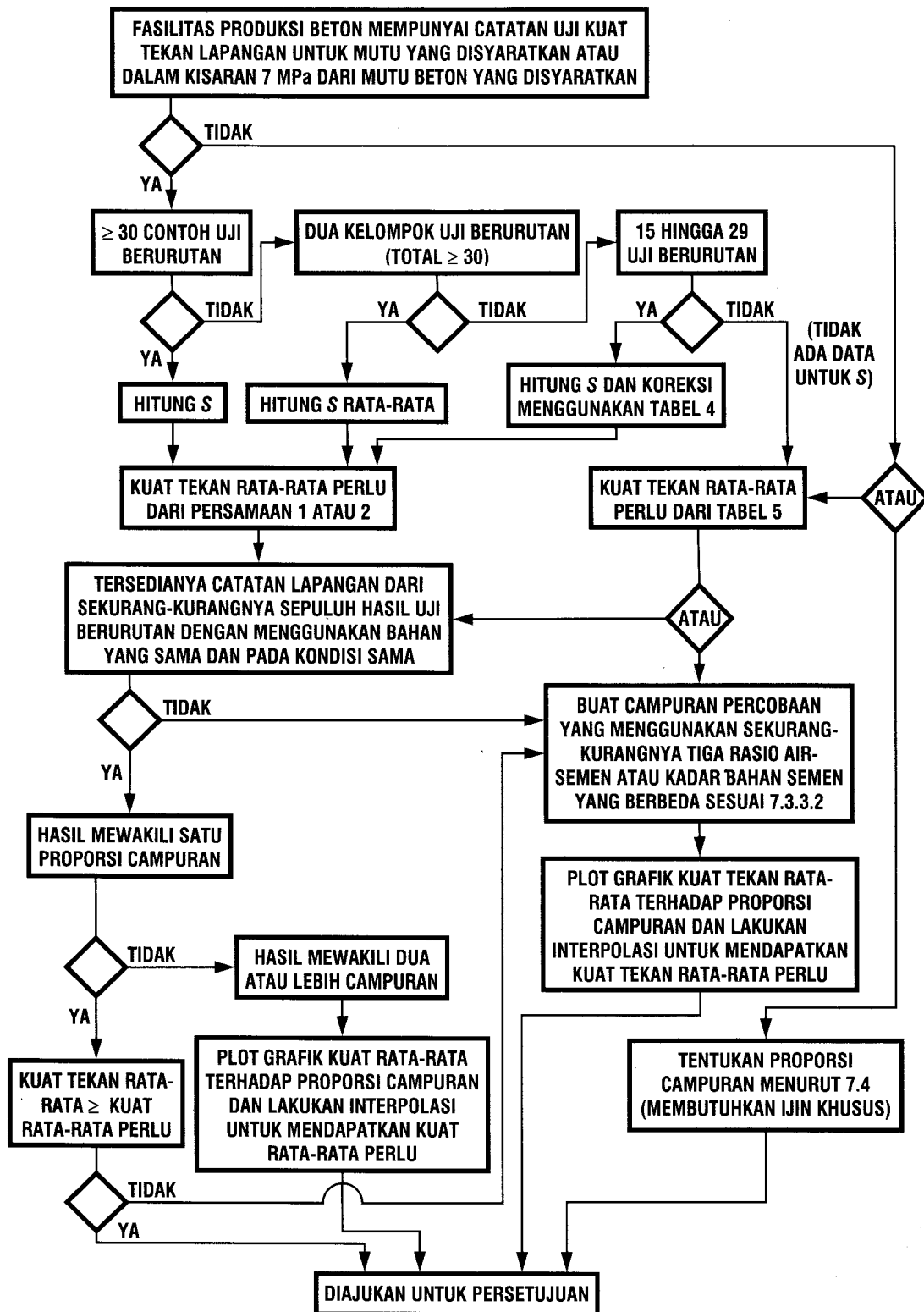
dimana:

\bar{s} = deviasi standar rata-rata statistik dimana dua catatan uji digunakan untuk mengestimasi deviasi standar

s_1, s_2 = deviasi standar dihitung dari dua catatan uji berturut-turut, 1 dan 2

n_1, n_2 = jumlah uji berturut-turut dalam setiap catatan uji

TATA CARA



Gambar 1—Diagram alir untuk perancangan proporsi campuran

TATA CARA

**TABEL 4—FAKTOR MODIFIKASI UNTUK DEVIASI STANDAR
JIKA JUMLAH PENGUJIAN KURANG DARI 30 CONTOH**

Jumlah pengujian	Faktor modifikasi untuk deviasi standar
Kurang dari 15 contoh	Gunakan Tabel 5
15 contoh	1,16
20 contoh	1,08
25 contoh	1,03
30 contoh atau lebih	1,00
CATATAN:	
Interpolasi untuk jumlah pengujian yang berada di antara nilai-nilai di atas.	

PENJELASAN

Jika kurang dari 30, tetapi paling sedikit 15 uji tersedia, deviasi standar yang dihitung ditingkatkan dengan faktor yang diberikan dalam Tabel 4. Prosedur ini menghasilkan kekuatan rata-rata disyaratkan yang lebih konservatif (meningkat). Faktor dalam Tabel 4 didasarkan pada distribusi pengambilan contoh uji deviasi standar dan menyediakan perlindungan (ekivalen dengan yang dari catatan 30 uji) terhadap kemungkinan bahwa contoh uji yang lebih kecil memperkirakan lebih rendah deviasi standar populasi yang sebenarnya atau umum.

Deviasi standar yang digunakan untuk perhitungan kuat rata-rata yang disyaratkan harus dibuat dengan kondisi “serupa dengan yang diharapkan” [lihat 7.3.1.1(a)]. Persyaratan ini penting untuk menjamin beton yang dapat diterima.

Beton untuk uji latar belakang penentuan deviasi standar dianggap “serupa” dengan yang disyaratkan jika dibuat dengan tipe bahan baku umum yang sama dan dengan kondisi kontrol yang tidak lebih ketat terhadap kualitas material dan metoda produksi daripada kerja yang diusulkan, dan jika kuat yang disyaratkan tidak menyimpang lebih dari 7 MPa dari f'_c yang disyaratkan [lihat 7.3.1.1(b)]. Perubahan pada tipe beton atau peningkatan yang besar pada tingkat kuatnya dapat meningkatkan deviasi standarnya. Situasi seperti itu mungkin terjadi oleh perubahan pada tipe agregat (yaitu, dari agregat alami menjadi agregat ringan atau sebaliknya) atau perubahan dari beton yang tidak diisi udara menjadi beton yang diisi udara. Juga, mungkin ada peningkatan pada deviasi standar bila tingkat kuat rata-rata ditingkatkan dengan jumlah besar, walaupun kenaikan peningkatan pada deviasi standar seharusnya sedikit lebih kecil dari proporsi langsung terhadap peningkatan kekuatannya. Bilamana terdapat keraguan yang beralasan, deviasi standar apapun yang diestimasi digunakan untuk menghitung kuat rata-rata yang disyaratkan haruslah selalu berada pada sisi konservatif (tinggi).

Catat bahwa tata cara ini menggunakan deviasi standar dalam MPa sebagai pengganti dari koefisien variasi dalam persen. Yang terakhir adalah sama dengan sebelumnya yang diekspresikan sebagai persen dari kuat rata-rata.

Bila sebuah catatan hasil uji yang sesuai tidak tersedia, kuat rata-rata harus melebihi kuat rencana sebesar dari 7 sampai 10 MPa, tergantung pada kuat rencana. Lihat Tabel 5.

Bahkan bilamana kuat rata-rata dan deviasi standar adalah dari tingkat yang diasumsikan, kadang-kadang akan ada hasil uji yang gagal memenuhi kriteria penerimaan yang ditetapkan dalam 7.6.3.3 (mungkin 1 uji dalam 100).

7.3.2 — Kuat rata-rata perlu

7.3.2.1 — Kuat tekan rata-rata perlu f'_{cr} yang digunakan

S7.3.2 — Kuat rata-rata perlu

S7.3.2.1 — Setelah deviasi standar ditetapkan, kuat tekan

TATA CARA

sebagai dasar pemilihan proporsi campuran beton harus diambil sebagai nilai terbesar dari Persamaan 1 atau Persamaan 2 dengan nilai deviasi standar sesuai dengan 7.3.1.1 atau 7.3.1.2.

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34s \quad (1)$$

atau

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33s - 3,5 \quad (2)$$

7.3.2.2 — Bila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji lapangan untuk perhitungan deviasi standar yang memenuhi ketentuan pada 7.3.1.1 atau 7.3.1.2, maka kuat rata-rata perlu f'_{cr} harus ditetapkan berdasarkan Tabel 5 dan pencatatan data kuat rata-rata harus sesuai dengan persyaratan pada 7.3.3.

TABEL 5—KUAT TEKAN RATA-RATA PERLU JIKA DATA TIDAK TERSEDIA UNTUK MENETAPKAN DEVIASI STANDAR

Persyaratan kuat tekan, f'_c (MPa)	Kuat tekan rata-rata perlu, f'_{cr} (MPa)
Kurang dari 21	$f'_c + 7,0$
21 sampai dengan 35	$f'_c + 8,5$
Lebih dari 35	$f'_c + 10,0$

7.3.3 — Pencatatan data kuat rata-rata

Catatan proporsi campuran beton yang diusulkan untuk menghasilkan kuat tekan rata-rata yang sama atau lebih besar daripada kuat tekan rata-rata perlu (lihat 7.3.2) harus terdiri dari satu catatan hasil uji lapangan, beberapa catatan hasil uji kuat tekan, atau hasil uji campuran percobaan.

PENJELASAN

rata-rata perlu diperoleh dari nilai yang lebih besar yang dihitung dari Pers. (1) dan (2). Persamaan (1) berdasarkan pada probabilitas dari 1-dalam-100 bahwa rata-rata dari tiga uji berturut-turut bisa berada dibawah kuat tekan perlu f'_c . Persamaan (2) berdasarkan pada probabilitas yang serupa dimana uji individu bisa lebih besar dari 3,5 MPa dibawah kuat tekan perlu f'_c . Persamaan-persamaan ini mengasumsikan bahwa deviasi standar yang digunakan sama dengan nilai populasi yang sesuai untuk jumlah uji yang tak terhingga atau sangat besar. Untuk alasan ini, penggunaan deviasi standar yang diestimasi dari catatan sebanyak 100 uji atau lebih adalah dikehendaki. Bilamana 30 uji tersedia, probabilitas kegagalan akan cenderung sedikit lebih besar dari 1-dalam-100. Ketelitian tambahan diperlukan untuk mencapai probabilitas 1-dalam-100 dianggap tidak perlu, karena ketidakpastian bawaan didalam mengasumsikan bahwa kondisi operasi ketika catatan uji diakumulasikan akan serupa dengan kondisi bilamana beton diproduksi.

Sebagai tambahan, perubahan yang diadopsi dalam *ACI Code 1977* (mensyaratkan tindakan untuk meningkatkan kuat rata-rata bilamana ada kriteria penerimaan dari 7.6.3.3 yang tidak dipenuhi) dianggap memberikan perlindungan tambahan yang signifikan terhadap hasil uji yang rendah berikutnya.

S7.3.3 — Pencatatan data kuat rata-rata

Setelah kuat rata-rata yang disyaratkan f'_{cr} diketahui, tahap berikutnya adalah untuk memilih proporsi campuran yang akan menghasilkan kekuatan rata-rata paling sedikit sebesar kuat rata-rata yang disyaratkan, dan juga memenuhi persyaratan eksposur khusus dari Pasal 6. Dokumentasi dapat berisi sebuah catatan uji kuat, beberapa catatan uji kuat, atau campuran percobaan laboratorium atau lapangan. Umumnya, jika catatan uji digunakan, catatan tersebut akan sama dengan yang sudah digunakan untuk perhitungan deviasi standar. Akan tetapi, jika catatan uji ini menunjukkan kuat rata-rata yang lebih rendah ataupun

TATA CARA

PENJELASAN

lebih tinggi dari kuat rata-rata yang disyaratkan, maka proporsi yang lain mungkin diperlukan atau dikehendaki. Dalam contoh seperti itu, rata-rata dari sebuah catatan sebanyak paling sedikit 10 uji dapat digunakan, atau proporsinya dapat dibentuk dengan interpolasi antara kuat dan proporsi dari dua catatan uji berturut-turut seperti itu. Semua catatan uji untuk pembentukan proporsi yang diperlukan untuk menghasilkan kuat rata-rata perlu memenuhi persyaratan dari 7.3.3.1 untuk "material dan kondisi serupa."

ACI Code 1971 mensyaratkan campuran percobaan supaya dicampur dengan slam (*slump*) dan kadar udara maksimum yang diijinkan. Sejak 1977, *ACI Code* telah menyediakan toleransi pada slam dan kadar udara maksimum yang diijinkan. Teks tata cara ini menyatakan secara jelas bahwa toleransi pada slam dan kadar udara hanya berlaku pada campuran percobaan dan tidak pada catatan uji lapangan ataupun pada produksi beton di lapangan.

7.3.3.1— Bila catatan uji dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa proporsi campuran beton yang diusulkan akan menghasilkan nilai kuat rata-rata perlu f'_{cr} (lihat 7.3.2), maka catatan tersebut harus mewakili material dan kondisi yang mirip dengan kondisi dimana campuran tersebut akan digunakan. Perubahan pada material, kondisi, dan proporsi dari catatan tersebut tidak perlu dibuat lebih ketat dari yang akan dihadapi pada pekerjaan yang akan dilakukan. Untuk tujuan pencatatan potensial kuat rata-rata, catatan hasil uji yang kurang dari 30 contoh tetapi tidak kurang dari 10 contoh pengujian secara berurutan dapat diterima selama catatan pengujian tersebut mencakup periode waktu tidak kurang dari 45 hari. Proporsi campuran beton yang diperlukan dapat ditentukan melalui interpolasi kuat tekan dan proporsi dari dua atau lebih contoh uji yang masing-masing memenuhi persyaratan pada butir ini.

7.3.3.2— Jika tidak tersedia catatan hasil uji yang memenuhi kriteria, maka proporsi campuran beton yang diperoleh dari campuran percobaan yang memenuhi batasan-batasan berikut dapat digunakan:

- (a) Kombinasi bahan yang digunakan harus sama dengan yang digunakan pada pekerjaan yang akan dilakukan.
- (b) Campuran percobaan yang memiliki proporsi campuran dan konsistensi yang diperlukan untuk pekerjaan yang akan dilakukan harus dibuat menggunakan sekurang-kurangnya tiga jenis rasio air-semen atau kandungan semen yang berbeda-beda untuk menghasilkan suatu kisaran kuat tekan beton yang mencakup kuat rata-rata perlu f'_{cr} .
- (c) Campuran uji harus direncanakan untuk menghasilkan kelecakan dengan kisaran ± 20 mm dari nilai maksimum yang diizinkan, dan untuk beton dengan bahan tambahan

TATA CARA

penambah udara, kisaran kandungan udaranya dibatasi $\pm 0,5\%$ dari kandungan udara maksimum yang diizinkan.

(d) Untuk setiap rasio air-semen atau kadar semen, sekurang-kurangnya harus dibuat tiga buah contoh silinder uji untuk masing-masing umur uji dan dirawat sesuai dengan SNI 03-2492-1991, "*Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium*". Silinder harus diuji pada umur 28 hari atau pada umur uji yang ditetapkan untuk penentuan f'_c .

(e) Dari hasil uji contoh silinder tersebut harus diplot kurva yang memperlihatkan hubungan antara rasio air-semen atau kadar semen terhadap kuat tekan pada umur uji yang ditetapkan.

(f) Rasio air-semen maksimum atau kadar semen minimum untuk beton yang akan digunakan pada pekerjaan yang akan dilakukan harus seperti yang diperlihatkan pada kurva untuk menghasilkan kuat rata-rata yang disyaratkan oleh 7.3.2, kecuali bila rasio air-semen yang lebih rendah atau kuat tekan yang lebih tinggi disyaratkan oleh Pasal 6. Gambar 1 memperlihatkan diagram alir untuk perancangan proporsi campuran.

7.4 — Perancangan campuran tanpa berdasarkan data lapangan atau campuran percobaan

7.4.1 — Jika data yang disyaratkan pada 7.3 tidak tersedia, maka proporsi campuran beton harus ditentukan berdasarkan percobaan atau informasi lainnya, bilamana hal tersebut disetujui oleh pengawas lapangan. Kuat tekan rata-rata perlu, f'_{cr} , beton yang dihasilkan dengan bahan yang mirip dengan yang akan digunakan harus sekurang-kurangnya 8,5 MPa lebih besar daripada kuat tekan f'_c yang disyaratkan. Alternatif ini tidak boleh digunakan untuk beton dengan kuat tekan yang disyaratkan lebih besar dari 28 MPa.

7.4.2 — Campuran beton yang dirancang menurut butir ini harus memenuhi persyaratan keawetan pada Pasal 6 dan kriteria pengujian kuat tekan pada 7.6.

7.5 — Reduksi kuat rata-rata

Dengan tersedianya data selama pelaksanaan konstruksi, maka diizinkan untuk mereduksi besar nilai selisih antara f'_{cr} terhadap f'_c yang disyaratkan, selama:

PENJELASAN

S7.4 — Perancangan campuran tanpa berdasarkan data lapangan atau campuran percobaan

S7.4.1 — Bila tidak ada pengalaman sebelumnya (7.3.3.1) atau tidak tersedia data campuran percobaan (7.3.3.2) yang memenuhi persyaratan dari pasal ini, maka pengalaman lain dapat digunakan hanya bila ijin khusus diberikan. Karena kombinasi bahan-bahan pembentuk bisa sangat bervariasi dalam tingkat kekuatannya, prosedur ini tidak diijinkan untuk f'_c lebih besar dari 28 MPa dan kuat rata-rata yang disyaratkan harus melebihi f'_c dengan 8 MPa. Tujuan dari ketentuan ini adalah untuk memperbolehkan pekerjaan dilanjutkan bila ada interupsi yang tak terduga dalam penyediaan beton dan waktu yang tidak cukup untuk uji dan evaluasi atau pada pekerjaan struktur kecil dimana biaya pengadaan data campuran percobaan tidak dapat dibenarkan.

TATA CARA

7.5.1— Tersedia 30 contoh atau lebih data hasil uji, dan hasil uji rata-rata melebihi ketentuan yang disyaratkan oleh 7.3.2.1 yang dihitung menggunakan deviasi standar sesuai dengan 7.3.1.1, atau

7.5.2— Tersedia 15 contoh hingga 29 contoh data hasil uji, dan hasil uji rata-rata melebihi ketentuan yang disyaratkan oleh 7.3.2.1 yang dihitung menggunakan deviasi standar sesuai dengan 7.3.1.2, dan

7.5.3— Persyaratan khusus mengenai pengaruh lingkungan pada Pasal 6 dipenuhi.

7.6 — Evaluasi dan penerimaan beton

7.6.1— Beton harus diuji dengan ketentuan 7.6.2 hingga 7.6.5. Teknisi pengujian lapangan yang memenuhi kualifikasi harus melakukan pengujian beton segar di lokasi konstruksi, menyiapkan contoh-contoh uji silinder yang diperlukan dan mencatat suhu beton segar pada saat menyiapkan contoh uji untuk pengujian kuat tekan. Teknisi laboratorium yang mempunyai kualifikasi harus melakukan semua pengujian-pengujian laboratorium yang disyaratkan.

7.6.2 — Frekuensi pengujian

7.6.2.1— Pengujian kekuatan masing-masing mutu beton yang dicor setiap harinya haruslah dari satu contoh uji per hari, atau tidak kurang dari satu contoh uji untuk setiap 120 m³ beton, atau tidak kurang dari satu contoh uji untuk setiap 500 m² luasan permukaan lantai atau dinding.

PENJELASAN

S7.6 — Evaluasi dan penerimaan beton

Setelah proporsi campuran dipilih dan pekerjaan dimulai, kriteria untuk evaluasi dan penerimaan beton dapat diperoleh dari 7.6.

Ikhtiar telah dibuat dalam tata cara ini untuk menyediakan sebuah dasar yang jelas untuk memutuskan penerimaan beton, demikian juga untuk mengindikasikan serangkaian tindakan untuk diikuti bila hasil uji kuat tidak memuaskan.

S7.6.1 — Teknisi-teknisi laboratorium dan lapangan dapat memperoleh kualifikasi dengan menjadikan mereka bersertifikat melalui program sertifikasi. Teknisi lapangan yang bertanggung jawab terhadap beton contoh uji; pengujian untuk slam, berat satuan, jumlah, kadar udara, dan temperatur; dan pembuatan dan perawatan benda uji harus disertifikasi sesuai dengan persyaratan *ACI Concrete Field Testing Technician—Grade 1 Certification Program*, atau persyaratan ASTM C 1077,^{7.3} atau program yang ekuivalen. Personil laboratorium pengujian beton harus disertifikasi sesuai dengan persyaratan *ACI Laboratory Testing Technician*, *Concrete Strength Technician*, *Concrete Strength Testing Technician*, atau persyaratan ASTM C 1077.

Laporan pengujian harus segera didistribusikan kepada pemilik, profesional desain terdaftar yang bertanggung jawab untuk desain, kontraktor, subkontraktor yang sesuai, penyuplai yang sesuai, dan penanggung jawab bangunan untuk memungkinkan identifikasi secara tepat waktu baik terhadap kesesuaian atau kebutuhan untuk tindakan koreksi.

S7.6.2 — Frekuensi pengujian

S7.6.2.1 — Tiga kriteria berikut merupakan frekuensi minimum pengambilan contoh uji yang disyaratkan untuk setiap mutu beton:

- (a) Sekali setiap hari untuk setiap mutu beton yang dicor, atau tidak kurang dari

TATA CARA

PENJELASAN

7.6.2.2 — Pada suatu pekerjaan pengecoran, jika volume total adalah sedemikian hingga frekuensi pengujian yang disyaratkan oleh 7.6.2.1 hanya akan menghasilkan jumlah uji kekuatan beton kurang dari 5 untuk suatu mutu beton, maka contoh uji harus diambil dari paling sedikit 5 adukan yang dipilih secara acak atau dari masing-masing adukan bilamana jumlah adukan yang digunakan adalah kurang dari lima.

7.6.2.3 — Jika volume total dari suatu mutu beton yang digunakan kurang dari 40 m³, maka pengujian kuat tekan tidak perlu dilakukan bila bukti terpenuhinya kuat tekan diserahkan dan disetujui oleh pengawas lapangan.

7.6.2.4 — Suatu uji kuat tekan harus merupakan nilai kuat tekan rata-rata dari dua contoh uji silinder yang berasal dari adukan beton yang sama dan diuji pada umur beton 28 hari atau pada umur uji yang ditetapkan untuk penentuan f'_c .

7.6.3 — Benda uji yang dirawat di laboratorium

7.6.3.1 — Contoh untuk uji kuat tekan harus diambil menurut SNI 03-2458-1991, "*Metode pengujian dan pengambilan contoh untuk campuran beton segar*".

7.6.3.2 — Benda uji silinder yang digunakan untuk uji kuat tekan harus dibentuk dan dirawat di laboratorium menurut SNI 03-4810-1998, "*Metode pembuatan dan perawatan benda uji di lapangan*" dan diuji menurut SNI 03-1974-1990, "*Metode pengujian kuat tekan beton*".

7.6.3.3 — Kuat tekan suatu mutu beton dapat dikategorikan memenuhi syarat jika dua hal berikut dipenuhi:

(a) Setiap nilai rata-rata dari tiga uji kuat tekan yang

(b) Sekali untuk setiap 120 m³ dari setiap mutu beton yang dicor setiap hari, atau tidak kurang dari

(c) Sekali untuk setiap 500 m² dari luasan permukaan lantai atau dinding yang dicor setiap hari.

Dalam menghitung luasan permukaan, hanya satu sisi lantai atau dinding yang harus diperhitungkan. Kriteria (c) akan memerlukan pengambilan contoh uji yang lebih sering dari sekali untuk setiap 120 m³ yang dicor jika ketebalan dinding atau lantai rata-rata kurang dari 250 mm.

S7.6.2.2 — Contoh uji untuk uji kuat harus diambil dengan dasar acak yang ketat jika contoh uji tersebut digunakan sebagai ukuran penerimaan beton yang baik. Agar representatif, pemilihan waktu pengambilan contoh uji, atau adukan (*batches*) beton untuk diambil contoh ujinya, dibuat dengan dasar peluang saja, selama waktu pengecoran. Adukan seharusnya tidak diambil contoh ujinya dengan dasar penampilan, kenyamanan, atau kriteria lainnya yang mungkin bias, karena analisis statistik akan kehilangan validitasnya. Tidak boleh lebih dari satu uji (rata-rata dua silinder yang dibuat dari sebuah contoh uji, 7.6.2.4) diambil dari satu adukan tunggal, dan air tidak boleh ditambahkan pada beton setelah contoh uji tersebut diambil.

ASTM D 3665^{7.4} menjelaskan prosedur untuk pemilihan random adukan yang akan diuji.

S7.6.3 — Benda uji yang dirawat di laboratorium

S7.6.3.3 — Dua kriteria diberikan untuk syarat penerimaan kuat dan dapat diterapkan untuk semua beton yang digunakan dalam struktur yang didesain sesuai dengan tata cara ini, apapun metoda desain yang

TATA CARA

berurutan mempunyai nilai yang sama atau lebih besar dari f'_c .

(b) Tidak ada nilai uji kuat tekan yang dihitung sebagai nilai rata-rata dari dua hasil uji contoh silinder mempunyai nilai di bawah f'_c melebihi dari 3,5 MPa.

7.6.3.4— Jika salah satu dari persyaratan pada 7.6.3.3 tidak terpenuhi, maka harus diambil langkah-langkah untuk meningkatkan hasil uji kuat tekan rata-rata pada pengecoran beton berikutnya. Persyaratan pada 7.6.5 harus diperhatikan jika ketentuan 7.6.3.3(b) tidak terpenuhi.

PENJELASAN

dipergunakan. Kuat beton dianggap memuaskan selama setiap nilai rata-rata dari sembarang tiga uji kuat yang berturut-turut tetap berada di atas f'_c yang ditetapkan dan tidak ada uji kuat individu yang jatuh dibawah f'_c yang ditetapkan lebih dari 3,5 MPa. Evaluasi dan penerimaan beton dapat ditetapkan segera setelah hasil uji saat pelaksanaan diterima. Uji kuat yang gagal memenuhi kriteria ini akan terjadi sesekali (mungkin sekitar sekali dalam 100 uji) walaupun kuat beton dan keseragamannya memuaskan. Kelonggaran harus diberikan untuk variasi yang diharapkan secara statistik seperti itu didalam memutuskan apakah tingkat kuat yang diproduksi mencukupi. Dalam hal probabilitas kegagalan, kriteria hasil uji kuat individu minimum sebesar 3,5 MPa yang kurang dari f'_c dengan mudah menyesuaikan diri ke jumlah uji yang kecil. Sebagai contoh, jika hanya lima uji kuat dilakukan pada pekerjaan yang kecil, jika sembarang hasil uji kuat (rata-rata dua silinder) lebih besar dari 3,5 MPa dibawah f'_c , maka kriteria tersebut tidak dipenuhi.

S7.6.3.4— Bilamana beton gagal untuk memenuhi salah satu persyaratan kuat dari 7.6.3.3, langkah-langkah harus diambil untuk meningkatkan rata-rata hasil uji beton. Jika beton yang diproduksi sudah cukup untuk menghasilkan paling sedikit 15 uji, hasil uji tersebut harus dipakai untuk memberikan kuat rata-rata target yang baru seperti dijelaskan dalam 7.3.

Jika kurang dari 15 uji telah dibuat pada mutu beton yang ditinjau, tingkat kuat target yang baru harus paling sedikit sebesar tingkat rata-rata yang digunakan dalam pemilihan proporsi awal. Jika rata-rata hasil uji yang tersedia yang dibuat di proyek sama atau melebihi tingkat yang digunakan dalam pemilihan proporsi awal, maka perlu adanya penambahan tingkat rata-rata lagi.

Langkah-langkah yang diambil untuk meningkatkan tingkat hasil uji rata-rata akan tergantung pada keadaan tertentu, namun bisa melibatkan satu atau lebih keadaan berikut ini:

- (a) Peningkatan dalam kadar semen;
- (b) Perubahan dalam proporsi campuran;
- (c) Reduksi atau kontrol yang lebih baik terhadap tingkat slam yang disuplai;
- (d) Reduksi dalam waktu pengiriman;
- (e) Kontrol kadar udara secara lebih dekat;
- (f) Peningkatan kualitas pengujian, termasuk persyaratan ketat prosedur uji standar.

Perubahan dalam prosedur pelaksanaan dan pengujian yang seperti itu, atau perubahan dalam kadar semen, atau slam seharusnya tidak memerlukan penyerahan ulang secara

TATA CARA

PENJELASAN

formal menurut prosedur dari 7.3; akan tetapi, perubahan penting pada sumber semen, agregat, atau bahan tambahan campuran (*admixtures*) harus disertai dengan bukti bahwa tingkat kuat rata-ratanya akan meningkat.

Silinder pengujian laboratorium atau inti (*cores*) untuk menentukan pemenuhan dengan persyaratan ini seharusnya diakreditasi atau diperiksa akan kesesuaiannya terhadap persyaratan ASTM C 1077^{7.3} oleh lembaga yang diakui, seperti yang telah dilakukan di Amerika Serikat oleh *American Association for Laboratory Accreditation* (A2LA), *AASHTO Materials Reference Laboratory* (AMRL), *National Voluntary Laboratory Accreditation Program* (NVLAP), *Cement and Concrete Reference Laboratory* (CCRL), atau lembaga yang setara.

7.6.4 — Perawatan benda uji di lapangan

7.6.4.1 — Jika diminta oleh pengawas lapangan, maka hasil uji kuat tekan benda uji silinder yang dirawat di lapangan harus disiapkan.

7.6.4.2 — Perawatan benda uji di lapangan harus mengikuti SNI 03-4810-1998, "*Metode pembuatan dan perawatan benda uji di lapangan*".

7.6.4.3 — Benda-benda uji silinder yang dirawat di lapangan harus dicor pada waktu yang bersamaan dan diambil dari contoh adukan beton yang sama dengan yang digunakan untuk uji di laboratorium.

7.6.4.4 — Prosedur untuk perlindungan dan perawatan beton harus diperketat jika kuat tekan beton yang dirawat di lapangan menghasilkan nilai f'_c yang kurang dari 85% kuat tekan beton perbandingan yang dirawat di laboratorium. Batasan 85% tersebut tidak berlaku jika kuat tekan beton yang dirawat di lapangan menghasilkan nilai yang melebihi f'_c sebesar minimal 3,5 MPa.

7.6.5 — Penyelidikan untuk hasil uji kuat tekan beton yang rendah

7.6.5.1 — Jika suatu uji kuat tekan (lihat 7.6.2.4) benda uji silinder yang dirawat di laboratorium menghasilkan nilai di

S7.6.4 — Perawatan benda uji di lapangan

S7.6.4.1 — Uji kuat silinder yang dirawat dibawah kondisi lapangan mungkin diperlukan untuk mengecek kecukupan perawatan dan perlindungan beton pada struktur.

S7.6.4.4 — Panduan positif diberikan dalam tata cara ini yang berkaitan dengan interpretasi uji silinder yang dirawat di lapangan. Riset telah menunjukkan bahwa silinder yang dilindungi dan dirawat untuk mensimulasikan praktik lapangan yang baik adalah apabila hasil uji bernilai tidak kurang dari serkitar 85 persen kuat silinder yang dirawat secara lembab dengan standar laboratorium. Persentase ini telah ditetapkan sebagai dasar rasional untuk penetapan kecukupan perawatan lapangan. Perbandingan tersebut dibuat antara kuat yang diukur aktual dari pasangan silinder yang dirawat di lapangan dan yang dirawat di laboratorium, bukan antara silinder yang dirawat di lapangan dan nilai yang ditetapkan sebesar f'_c . Akan tetapi, hasil untuk silinder yang dirawat di lapangan dianggap memuaskan jika silinder yang dirawat di lapangan tersebut melebihi f'_c yang ditetapkan dengan lebih dari 3,5 MPa, meskipun gagal untuk mencapai 85 persen kuat silinder pasangannya yang dirawat di laboratorium.

S7.6.5 — Penyelidikan untuk hasil uji kuat tekan beton yang rendah

Instruksi disediakan berkaitan dengan prosedur bila uji kuat telah gagal memenuhi kriteria penerimaan yang ditetapkan. Untuk alasan yang jelas, instruksi ini tidak dapat bersifat

TATA CARA

bawah f'_c sebesar minimal 3,5 MPa [lihat 7.6.3.3(b)] atau bila uji kuat tekan benda uji yang dirawat di lapangan menunjukkan kurangnya perlindungan dan perawatan pada benda uji (lihat 7.6.4.4.), maka harus dilakukan analisis untuk menjamin bahwa tahanan struktur dalam memikul beban masih dalam batas yang aman.

7.6.5.2 — Jika kepastian nilai kuat tekan beton yang rendah telah diketahui dan hasil perhitungan menunjukkan bahwa tahanan struktur dalam memikul beban berkurang secara signifikan, maka harus dilakukan uji contoh beton uji yang diambil dari daerah yang dipermasalahkan sesuai SNI 03-2492-1991, "*Metode pengambilan benda uji beton inti*" dan SNI 03-3403-1994, "*Metode pengujian kuat tekan beton inti*". Pada uji contoh beton inti tersebut harus diambil paling sedikit tiga benda uji untuk setiap uji kuat tekan yang mempunyai nilai 3,5 MPa di bawah nilai persyaratan f'_c .

7.6.5.3 — Bila beton pada struktur berada dalam kondisi kering selama masa layan, maka benda uji beton inti harus dibuat kering udara (pada temperatur 15 hingga 25°C, kelembaban relatif kurang dari 60%) selama 7 hari sebelum pengujian, dan harus diuji dalam kondisi kering. Bila beton pada struktur berada pada keadaan sangat basah selama masa layan, maka beton inti harus direndam dalam air sekurang-kurangnya 40 jam dan harus diuji dalam kondisi basah.

7.6.5.4 — Beton pada daerah yang diwakili oleh uji beton inti harus dianggap cukup secara struktural jika kuat tekan rata-rata dari tiga beton inti adalah minimal sama dengan 85 persen dari f'_c , dan tidak ada satupun beton inti yang kuat tekannya kurang dari 75 persen dari f'_c . Tambahan pengujian beton inti yang diambil dari lokasi yang memperlihatkan hasil kekuatan beton inti yang tidak beraturan diperbolehkan.

7.6.5.5 — Bila kriteria 7.6.5.4 tidak dipenuhi dan bila tahanan struktur masih meragukan, maka pengawas lapangan dapat meminta untuk dilakukan pengujian lapangan tahanan struktur beton sesuai dengan Pasal 22 untuk bagian-bagian struktur yang bermasalah tersebut, atau melakukan langkah-langkah lainnya yang dianggap tepat.

7.7 — Persiapan peralatan dan tempat pengecoran

Persiapan sebelum pengecoran beton meliputi hal berikut:

7.7.1 — Semua peralatan untuk pencampuran dan

PENJELASAN

dogma. Penanggung jawab bangunan harus menerapkan kebijaksanaan berkaitan dengan signifikansi hasil uji yang rendah dan apakah hasil uji tersebut memerlukan perhatian. Jika investigasi lebih jauh dianggap perlu, investigasi seperti itu dapat melibatkan uji nondestruktif, atau dalam kasus yang ekstrem, uji kuat inti yang diambil dari struktur.

Uji nondestruktif beton setempat, seperti dengan penetrasi prob (*probe*), palu tumbuk (*impact hammer*), kecepatan denyut ultrasonik atau tarik cabut bisa bermanfaat untuk menentukan apakah suatu bagian struktur sesungguhnya mengandung beton yang mempunyai kuat yang rendah atau tidak. Uji seperti itu berguna terutama untuk perbandingan didalam pekerjaan yang sama daripada sebagai ukuran kuat secara kuantitatif. Untuk inti, jika diperlukan, kriteria penerimaan yang aman secara konservatif disediakan yang harus memastikan kecukupan struktural untuk hampir semua tipe konstruksi.^{7,5-7,8} Tentu saja, kuat yang lebih rendah boleh ditoleransi menurut berbagai keadaan, tetapi hal ini lagi-lagi menjadi sebuah permasalahan kebijaksanaan yang menjadi bagian dari penanggung jawab bangunan dan perencana. Bilamana uji inti gagal untuk memberikan jaminan kecukupan struktural, mungkin praktis bagi penanggung jawab bangunan untuk meminta sebuah uji beban, terutama dalam kasus sistem lantai atau atap (Pasal 22). Apabila terjadi kekurangan uji beban, jika waktu dan kondisi mengijinkan, usaha yang mungkin dilakukan untuk meningkatkan kuat beton setempat adalah dengan tambahan perawatan basah. Keefektifan dari perlakuan yang seperti itu harus diverifikasi lebih lanjut oleh evaluasi kuat dengan menggunakan prosedur yang didiskusikan sebelumnya.

Uji inti yang mempunyai rata-rata sebesar 85 persen dari kuat yang ditetapkan adalah realistis. Untuk mengharapkan uji inti agar sama dengan f'_c tidaklah realistik, karena perbedaan dalam ukuran benda uji, kondisi contoh uji yang diperoleh, dan prosedur untuk perawatan, tidak memungkinkan untuk memperoleh nilai yang sama.

Tata cara ini, seperti dinyatakan, mempertimbangkan jaminan keamanan struktur, dan instruksi pada 7.6 dimaksudkan untuk tujuan tersebut. Tata cara ini tidak berfungsi untuk bertanggung-jawab atas kekurangan kuat seperti perlu tidaknya tindakan koreksi.

Menurut persyaratan pasal ini, inti yang diambil untuk memastikan kecukupan struktural biasanya akan diambil pada umur-umur yang lebih lama dari yang dispesifikasikan untuk penentuan f'_c .

S7.7 — Persiapan peralatan dan tempat pengecoran

Rekomendasi untuk pencampuran, penanganan dan transportasi, serta penempatan beton diberikan secara detail dalam "*Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and*

TATA CARA

pengangkutan beton harus bersih.

7.7.2— Semua sampah atau kotoran harus dihilangkan dari cetakan yang akan diisi beton.

7.7.3— Cetakan harus dilapisi zat pelumas permukaan sehingga mudah dibongkar.

7.7.4— Bagian dinding bata pengisi yang akan bersentuhan dengan beton segar harus dalam kondisi basah.

7.7.5— Tulangan harus benar-benar bersih dari lapisan yang mengganggu.

7.7.6— Sebelum beton dicor, air harus dibuang dari tempat pengecoran kecuali bila digunakan *tremie*.

7.7.7— Semua kotoran dan bagian permukaan yang dapat lepas atau yang kualitasnya kurang baik harus dibersihkan sebelum pengecoran lanjutan dilakukan pada permukaan beton yang telah mengeras.

7.8 — Pencampuran

7.8.1— Semua bahan beton harus diaduk secara seksama dan harus dituangkan seluruhnya sebelum pencampur diisi kembali.

7.8.2— Beton siap pakai harus dicampur dan diantarkan sesuai persyaratan SNI 03-4433-1997, "*Spesifikasi beton siap pakai*" atau "*Spesifikasi untuk beton yang dibuat melalui penakaran volume dan pencampuran menerus*" (ASTM C 685).

7.8.3— Adukan beton yang dicampur di lapangan harus dibuat sebagai berikut:

7.8.3.1— Pencampuran harus dilakukan dengan menggunakan jenis pencampur yang telah disetujui.

7.8.3.2— Mesin pencampur harus diputar dengan kecepatan yang disarankan oleh pabrik pembuat.

7.8.3.3— Pencampuran harus dilakukan secara terus menerus selama sekurang-kurangnya 1½ menit setelah semua bahan berada dalam wadah pencampur, kecuali bila dapat diperlihatkan bahwa waktu yang lebih singkat dapat memenuhi persyaratan uji keseragaman campuran SNI 03-4433-1997, "*Spesifikasi beton siap pakai*".

7.8.3.4— Pengolahan, penakaran, dan pencampuran bahan harus memenuhi aturan yang berlaku pada SNI 03-4433-1997, "*Spesifikasi beton siap pakai*".

7.8.3.5— Catatan rinci harus disimpan dengan data-data

PENJELASAN

Placing Concrete" yang dilaporkan oleh *ACI Committee 304*.^{7,9} (Menyajikan metoda dan prosedur untuk kontrol, penanganan dan penyimpanan material, pengukuran, toleransi pelaksanaan adukan, pencampuran, metoda pengecoran, transportasi, dan cetakan.)

Perhatian diarahkan untuk keperluan penggunaan peralatan yang bersih serta untuk pembersihan cetakan dan tulangan secara menyeluruh sebelum mulai untuk mengecor beton. Secara khusus, serbuk gergaji, paku-paku, potongan-potongan kayu, dan puing-puing lainnya yang mungkin terkumpul didalam cetakan harus dibersihkan. Tulangan harus bersih dari es, daki, karat lepas, lapisan permukaan hasil oksidasi akibat pemanasan (*mill scale*), atau pelapis (*coating*) lainnya. Air harus dibersihkan dari cetakan.

S7.8 — Pencampuran

Agar beton mempunyai kualitas yang seragam dan memuaskan, material-materialnya perlu dicampur secara menyeluruh sampai penampilannya seragam dan semua bahan pembentuknya terdistribusi. Contoh-contoh uji yang diambil dari porsi adukan yang berbeda pada intinya harus mempunyai berat satuan, kadar air, slam, dan kadar agregat kasar yang sama. Metoda uji untuk keseragaman pencampuran akan bergantung pada banyak faktor termasuk ukuran adukan, kekakuan adukan, ukuran dan gradasi agregat, serta efisiensi pencampur. Waktu pencampuran yang terlalu lama harus dihindari untuk menjaga agar agregat tidak terkikis.

TATA CARA

yang meliputi:

- (a) jumlah adukan yang dihasilkan;
- (b) proporsi bahan yang digunakan;
- (c) perkiraan lokasi pengecoran pada struktur;
- (d) tanggal dan waktu pencampuran dan pengecoran.

7.9 — Pengantaran

7.9.1 — Beton harus diantarkan dari tempat pencampuran ke lokasi pengecoran dengan cara-cara yang dapat mencegah terjadinya pemisahan (segregasi) atau hilangnya bahan.

7.9.2 — Peralatan pengantar harus mampu mengantarkan beton ke tempat pengecoran tanpa pemisahan bahan dan tanpa sela yang dapat mengakibatkan hilangnya plastisitas campuran.

7.10 — Pengecoran

7.10.1 — Beton harus dicor sedekat mungkin pada posisi akhirnya untuk menghindari terjadinya segregasi akibat penanganan kembali atau segregasi akibat pengaliran.

7.10.2 — Pengecoran beton harus dilakukan dengan kecepatan sedemikian hingga beton selama pengecoran tersebut tetap dalam keadaan plastis dan dengan mudah dapat mengisi ruang di antara tulangan.

7.10.3 — Beton yang telah mengeras sebagian atau beton yang telah terkontaminasi oleh bahan lain tidak boleh digunakan untuk pengecoran.

7.10.4 — Beton yang ditambah air lagi atau beton yang telah dicampur ulang setelah pengikatan awal tidak boleh digunakan, kecuali bila disetujui oleh pengawas lapangan.

PENJELASAN

S7.9 — Pengantaran

Setiap tahap didalam penanganan dan transportasi beton perlu dikontrol untuk mempertahankan keseragaman dalam adukan dan dari adukan ke adukan. Hal ini penting untuk menghindari segregasi agregat kasar dari mortar atau air dari bahan pembentuk lainnya.

Tata cara ini mensyaratkan peralatan untuk penanganan dan transportasi beton yang mampu mengantarkan beton ke tempat pengecoran secara menerus dan andal terhadap semua kondisi serta semua metoda pengecoran, termasuk pompa, ban berjalan (*belt conveyors*), sistem pneumatik, kereta dorong (*wheelbarrows*), gerobak tarik (*buggies*), ember kran (*crane buckets*), dan tremi (*tremies*).

Kehilangan kuat yang serius dapat terjadi bila beton dipompa melalui pipa yang terbuat dari aluminium atau campuran aluminium.^{7,10} Gas hidrogen yang dihasilkan dari reaksi antara alkali semen dan aluminium yang tererosi dari interior permukaan pipa telah menunjukkan dapat mengakibatkan reduksi kuat mencapai sebesar 50 persen. Karenanya, peralatan yang terbuat dari aluminium atau campuran aluminium harus tidak digunakan untuk pipa-pipa pompa, tremi, atau luncuran selain luncuran pendek seperti yang digunakan untuk mengantarkan beton dari truk pencampur.

S7.10 — Pengecoran

Pemindahan ulang beton dapat mengakibatkan segregasi material-materialnya. Karenanya tata cara ini berhati-hati terhadap praktek ini. Perubahan temperatur sebagian beton dengan tambahan air tidak boleh diijinkan, selain telah diberikan otoritas. Hal ini tidak menghalangi praktek (dikenal dalam ASTM C 94) penambahan air pada beton campuran untuk meningkatkan rentang slam yang dispesifikasikan asalkan batas-batas yang ditetapkan pada waktu pencampuran maksimum dan rasio material air-semen tidak dilanggar.

Pasal 5.10.4 *ACI Code* 1971 mengandung persyaratan "jika kondisi membuat konsolidasi sulit atau jika tulangan saling tumpang tindih, adukan mortar berisi proporsi semen, pasir, dan air yang sama seperti yang digunakan dalam beton, pertama-tama harus dicor ke dalam cetakan sampai

TATA CARA

7.10.5 — Setelah dimulainya pengecoran, maka pengecoran tersebut harus dilakukan secara menerus hingga mengisi secara penuh panel atau penampang sampai batasnya, atau sambungan yang ditetapkan sebagaimana yang diizinkan atau dilarang oleh 8.4.

7.10.6 — Permukaan atas cetakan vertikal secara umum harus datar.

7.10.7 — Jika diperlukan siar pelaksanaan, maka sambungan harus dibuat sesuai 8.4.

7.10.8 — Semua beton harus dipadatkan secara menyeluruh dengan menggunakan peralatan yang sesuai selama pengecoran dan harus diupayakan mengisi sekeliling tulangan dan seluruh celah dan masuk ke semua sudut cetakan.

7.11 — Perawatan beton

7.11.1 — Beton (selain beton kuat awal tinggi) harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 7 hari setelah pengecoran, kecuali jika dirawat menurut 7.11.3.

7.11.2 — Beton kuat awal tinggi harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 3 hari pertama kecuali jika dirawat menurut 7.11.3.

7.11.3 — Perawatan dipercepat

7.11.3.1 — Perawatan dengan uap bertekanan tinggi, penguapan pada tekanan atmosfir, panas dan lembab, atau proses lainnya yang dapat diterima, dapat dilakukan untuk mempercepat peningkatan kekuatan dan mengurangi waktu perawatan.

7.11.3.2 — Percepatan waktu perawatan harus memberikan kuat tekan beton pada tahap pembebanan yang ditinjau sekurang-kurangnya sama dengan kuat rencana perlu pada tahap pembebanan tersebut.

7.11.3.3 — Proses perawatan harus sedemikian hingga beton yang dihasilkan mempunyai tingkat keawetan paling tidak sama dengan yang dihasilkan oleh metode perawatan pada 7.11.1 atau 7.11.2.

7.11.4 — Bila diperlukan oleh pengawas lapangan, maka dapat dilakukan penambahan uji kuat tekan beton sesuai dengan 7.6.4 untuk menjamin bahwa proses perawatan yang

PENJELASAN

kedalaman paling sedikit 25 mm.” Persyaratan tersebut dihapus dari *ACI Code 1977* karena kondisi dimana persyaratan tersebut dapat diterapkan tidak bisa didefinisikan secara cukup tepat yang bisa membenarkan penyertaannya sebagai sebuah persyaratan tata cara. Akan tetapi, prakteknya mempunyai manfaat dan harus disertakan didalam spesifikasi pekerjaan bilamana sesuai, dengan kewajiban spesifik yaitu tanggung jawab dari pengawas pekerjaan. Penggunaan adukan mortar membantu didalam mencegah sarang-lebah (*honey-comb*) dan buruknya lekatan beton dengan tulangan Mortar harus dicor segera sebelum pengecoran beton dan harus dalam keadaan plastis (tidak kaku ataupun cair) ketika beton dicor.

Rekomendasi untuk pematatan beton yang diberikan secara detail dalam “*Guide for Consolidation of Concrete*” dilaporkan oleh *ACI Committee 309*.^{7.11} (Menyajikan informasi saat ini mengenai mekanisme pematatan dan memberikan rekomendasi tentang karakteristik dan prosedur peralatan untuk berbagai kelas beton.)

S7.11 — Perawatan beton

Rekomendasi untuk perawatan beton yang diberikan secara detail dalam “*Standard Practice for Curing Concrete*” dilaporkan oleh *ACI Committee 308*.^{7.12} (Menyajikan prinsip-prinsip dasar perawatan yang tepat dan menjelaskan berbagai metoda, prosedur, dan material untuk perawatan beton.)

S7.11.3 — Perawatan dipercepat

Ketentuan-ketentuan dari pasal ini berlaku apabila digunakan metoda perawatan dipercepat, baik untuk elemen pracetak maupun cetak-setempat. Kuat tekan beton rawat-uap tidak setinggi kuat tekan beton serupa yang dirawat secara menerus dalam kondisi lembab pada temperatur menengah. Modulus elastisitas E_c benda uji rawat-uap juga dapat berbeda dari modulus elastisitas benda uji yang dirawat-lembab pada temperatur normal. Bila perawatan uap digunakan, disarankan untuk mendasarkan proporsi campuran beton pada silinder uji rawat-uap.

Prosedur perawatan dipercepat memerlukan perhatian secara hati-hati untuk mendapatkan hasil yang seragam dan memuaskan. Pencegahan kehilangan kelembaban selama perawatan adalah penting.

S7.11.4 — Sebagai tambahan untuk persyaratan temperatur dan waktu perawatan minimum untuk beton normal dan beton kuat awal-tinggi, tata cara ini menyediakan sebuah kriteria spesifik pada 7.6.4 untuk menetapkan kecukupan

TATA CARA

dilakukan telah memenuhi persyaratan.

7.12 — Persyaratan cuaca panas

Selama cuaca panas, perhatian harus lebih diberikan pada bahan dasar, cara produksi, penanganan, pengecoran, perlindungan, dan perawatan untuk mencegah terjadinya temperatur beton atau penguapan air yang berlebihan yang dapat memberi pengaruh negatif pada mutu beton yang dihasilkan atau pada kemampuan layan komponen atau struktur.

PENJELASAN

perawatan lapangan. Pada saat umur uji dimana kuatnya ditetapkan (biasanya 28 hari), silinder rawat-lapangan harus menghasilkan kuat tidak kurang dari 85 persen dari kuat silinder rawat-laboratorium standar. Agar perbandingan yang dibuat cukup sah, silinder rawat-lapangan dan silinder rawat-laboratorium pasangannya harus berasal dari contoh uji yang sama. Silinder rawat-lapangan harus dirawat dalam kondisi yang identik dengan kondisi strukturnya. Jika struktur dilindungi dari elemen-elemen, silinder juga harus dilindungi.

Silinder yang berhubungan dengan komponen struktur yang tidak secara langsung terekspos terhadap cuaca harus dirawat berdekatan dengan komponen struktur tersebut dan diberikan tingkat perlindungan dan metoda perawatan yang sama. Silinder lapangan harus tidak diperlakukan lebih baik dari elemen-elemen yang diwakilinya. (Lihat 7.6.4 untuk informasi tambahan.) Jika silinder rawat-lapangan tidak memberikan kuat yang memuaskan dengan perbandingan ini, langkah-langkah harus diambil untuk memperbaiki perawatan. Jika hasil uji menunjukkan kemungkinan defisiensi kuat beton yang serius pada struktur, uji inti (*core tests*) mungkin diperlukan, dengan atau tanpa tambahan perawatan lembab, untuk mengecek kecukupan struktur, seperti yang diberikan pada 7.6.5.

S7.12 — Persyaratan cuaca panas

Rekomendasi untuk pembebanan pada cuaca panas yang diberikan secara detail dalam "*Hot Weather Concreting*" dilaporkan oleh *ACI Committee 305*.^{7,13} (Mendefinisikan faktor-faktor cuaca panas yang mempengaruhi sifat-sifat beton dan praktek-praktek pelaksanaan konstruksi serta merekomendasikan langkah-langkah untuk mengeliminasi atau meminimumkan pengaruh-pengaruh yang tidak dikehendaki.)

PASAL 8 — CETAKAN, PIPA TERTANAM, DAN SIAR PELAKSANAAN

TATA CARA

8.1 — Perencanaan cetakan

8.1.1 — Cetakan harus menghasilkan struktur akhir yang memenuhi bentuk, garis, dan dimensi komponen struktur seperti yang disyaratkan pada gambar rencana dan spesifikasi.

8.1.2 — Cetakan harus mantap dan cukup rapat untuk mencegah kebocoran mortar.

8.1.3 — Cetakan harus diperkaku atau diikat dengan baik untuk mempertahankan posisi dan bentuknya.

8.1.4 — Cetakan dan tumpuannya harus direncanakan sedemikian hingga tidak merusak struktur yang dipasang sebelumnya.

8.1.5 — Perencanaan cetakan harus menyertakan pertimbangan faktor-faktor berikut:

8.1.5.1 — Kecepatan dan metode pengecoran beton.

8.1.5.2 — Beban selama konstruksi, termasuk beban-beban vertikal, horisontal, dan tumbukan.

8.1.5.3 — Persyaratan-persyaratan cetakan khusus untuk konstruksi cangkang, pelat lipat, kubah, beton arsitektural, atau elemen-elemen sejenis.

8.1.6 — Cetakan untuk elemen struktur beton prategang harus dirancang dan dibuat sedemikian hingga elemen struktur dapat bergerak tanpa menimbulkan kerusakan pada saat gaya prategang diaplikasikan.

8.2 — Pembongkaran cetakan dan penopang, serta penopangan kembali

8.2.1 — Pembongkaran cetakan

Cetakan harus dibongkar dengan cara-cara yang tidak mengurangi keamanan dan kemampuan layan struktur. Beton yang akan dipengaruhi oleh pembongkaran cetakan harus memiliki kekuatan cukup sehingga tidak akan rusak oleh operasi pembongkaran.

8.2.2 — Pembongkaran penopang dan penopangan kembali

Ketentuan-ketentuan pada 8.2.2.1 sampai dengan 8.2.2.3 berlaku untuk pelat dan balok kecuali bila komponen struktur tersebut dicor pada permukaan tanah.

PENJELASAN

S8.1 — Perencanaan cetakan

Hanya persyaratan kinerja minimum untuk cetakan, yang perlu disediakan untuk kesehatan dan keamanan publik, ditetapkan dalam Pasal 8. Cetakan untuk beton, termasuk desain, pelaksanaan konstruksi, dan pembongkaran yang tepat, membutuhkan keputusan dan perencanaan yang baik untuk mendapatkan cetakan yang cukup baik secara ekonomik maupun keamanan. Informasi detail mengenai cetakan untuk beton diberikan dalam: *“Guide to Formwork for Concrete,”* yang dilaporkan oleh *ACI Committee 347*.^{8.1} (Menyediakan rekomendasi untuk desain, konstruksi, dan material untuk cetakan, cetakan untuk struktur khusus, dan cetakan untuk metoda konstruksi khusus. Ditujukan terutama untuk kontraktor, kriteria yang disarankan akan membantu insinyur dan arsitek didalam mempersiapkan spesifikasi kerja untuk kontraktor.)

Formwork for Concrete^{8.2} dipersiapkan menurut arahan *ACI Committee 347*. (Sebuah buku pegangan panduan kerja untuk kontraktor, insinyur, dan arsitek mengikuti panduan yang dibuat dalam ACI 334R. Perencanaan, pembangunan, dan penggunaan cetakan didiskusikan, termasuk tabel, diagram, dan formula untuk beban desain cetakan.)

S8.2 — Pembongkaran cetakan dan penopang, serta penopangan kembali

Dalam menentukan waktu untuk pembongkaran cetakan, pertimbangan harus diberikan terhadap beban konstruksi dan terhadap kemungkinan defleksi/lendutan.^{8.3} Seringkali beban konstruksi adalah paling sedikit sebesar beban hidup yang ditetapkan. Saat umur awal, suatu struktur mungkin cukup untuk menahan beban yang diberikan tetapi akan berdefleksi cukup besar yang dapat mengakibatkan kerusakan yang permanen.

Evaluasi kuat beton pada saat konstruksi dapat didemonstrasikan dengan silinder uji rawat-lapangan atau prosedur lainnya yang disetujui oleh pengawas bangunan seperti:

TATA CARA

8.2.2.1— Sebelum dimulainya pekerjaan konstruksi, kontraktor harus membuat prosedur dan jadwal untuk pembongkaran penopang dan pemasangan kembali penopang dan untuk penghitungan beban-beban yang disalurkan ke struktur selama pelaksanaan pembongkaran tersebut.

(a) Analisis struktur dan data kekuatan beton yang dipakai dalam perencanaan dan pembongkaran cetakan dan penopang harus diserahkan oleh kontraktor kepada pengawas lapangan apabila diminta.

(b) Tidak boleh ada beban konstruksi yang bertumpu pada, juga tidak boleh ada penopang dibongkar dari, suatu bagian struktur yang sedang dibangun kecuali apabila bagian dari struktur tersebut bersama-sama dengan cetakan dan penopang yang tersisa memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang berat sendirinya dan beban yang ditumpukan kepadanya.

(c) Kekuatan yang memadai tersebut harus ditunjukkan melalui analisis struktur dengan memperhatikan beban yang diusulkan, kekuatan sistem cetakan dan penopang, serta data kekuatan beton. Data kekuatan beton harus didasarkan pada pengujian silinder beton yang dirawat di lokasi konstruksi, atau bilamana disetujui pengawas lapangan, didasarkan pada prosedur lainnya untuk mengevaluasi kekuatan beton.

8.2.2.2— Beban konstruksi yang melebihi kombinasi beban mati tambahan ditambah beban hidup tidak boleh ditopang oleh bagian struktur yang sedang dibangun tanpa penopang, kecuali jika analisis menunjukkan bahwa bagian struktur yang dimaksud memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban tambahan tersebut.

8.2.2.3— Penopang cetakan untuk beton prategang tidak boleh dibongkar sampai kondisi gaya prategang yang telah diaplikasikan mencukupi bagi komponen struktur prategang tersebut untuk memikul beban matinya dan beban konstruksi yang diantisipasi.

PENJELASAN

(a) Uji silinder cetak setempat sesuai dengan “*Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast-in-Place in Cylindrical Molds*” (ASTM C 873^{8.4}). (Metoda ini dibatasi untuk penggunaan pada pelat dimana tebal beton dari 125 mm sampai 300 mm);

(b) Tahanan penetrasi sesuai dengan “*Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete*” (ASTM C 803^{8.5});

(c) Kuat cabut sesuai dengan “*Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete*” (ASTM C 900^{8.6});

(d) Pengukuran faktor kematangan dan korelasi sesuai dengan ASTM C 1074.^{8.7}

Prosedur (b), (c), dan (d) memerlukan data yang mencukupi, dengan memakai material di pekerjaan, untuk mendemonstrasikan korelasi pengukuran pada struktur dengan kuat tekan silinder cetak atau inti bor (*drilled cores*).

Bilamana struktur didukung secara cukup kuat diatas penopang, cetakan sisi balok, girder, kolom, dinding, dan cetakan vertikal yang serupa pada umumnya dapat dibongkar setelah waktu rawat kumulatif selama 12 jam, asalkan cetakan sisi tidak menahan beban selain tekanan lateral beton plastis. Waktu rawat kumulatif mewakili jumlah interval waktu, tidak perlu menerus, pada saat suhu udara di sekeliling beton diatas 10°C. Waktu rawat kumulatif 12 jam tersebut berdasarkan pada semen reguler dan kondisi biasa; penggunaan semen khusus atau kondisi tidak biasa dapat memerlukan penyesuaian terhadap batasan yang ditetapkan. Sebagai contoh, beton yang dibuat dengan semen Tipe II atau V (ASTM C 150) atau ASTM C 595M, beton yang mengandung pencampur penghambat (*retarding admixtures*), dan beton dimana es ditambahkan selama pencampuran (untuk menurunkan suhu beton segar) bisa tidak mempunyai kuat yang cukup dalam waktu 12 jam dan harus diinvestigasi sebelum pembongkaran cetakannya.

Pembongkaran cetakan untuk konstruksi tingkat-banyak harus merupakan bagian dari prosedur yang direncanakan yang memperhitungkan pendukung sementara struktur keseluruhan demikian juga pendukung sementara setiap komponen struktur individu. Prosedur seperti itu harus direncanakan sebelum pelaksanaan dan harus didasarkan pada analisis struktur dengan memperhitungkan hal-hal berikut, sebagai minimumnya:

(a) Sistem struktur yang ada pada berbagai tahap konstruksi dan beban konstruksi yang berkaitan dengan tahap-tahap itu;

(b) Kuat beton pada berbagai umur selama konstruksi;

TATA CARA**PENJELASAN****8.3 — Saluran dan pipa yang ditanam dalam beton**

8.3.1 — Saluran, pipa, dan selubung yang terbuat dari material yang tidak berbahaya bagi beton dan dalam batasan-batasan 8.3 diperbolehkan untuk ditanam dalam beton dengan persetujuan perencana struktur, asalkan bahan-bahan tersebut tidak dianggap menggantikan secara struktural bagian beton yang dipindahkan.

8.3.2 — Saluran dan pipa yang terbuat dari aluminium tidak boleh ditanam dalam beton kecuali bila diberi pelapis atau dibungkus dengan baik untuk mencegah terjadinya reaksi aluminium dengan beton atau aksi elektrolitik antara baja dan aluminium.

8.3.3 — Saluran, pipa, dan selubung yang menembus pelat, dinding, atau balok tidak boleh menurunkan kekuatan konstruksi secara berlebihan.

8.3.4 — Saluran dan pipa, bersama kaitnya, yang ditanam

(c) Pengaruh deformasi struktur dan sistem penopang terhadap distribusi beban mati dan beban konstruksi pada berbagai tahap konstruksi;

(d) Kuat dan spasi penopang atau sistem penopang yang digunakan, demikian juga metoda penopang, pengaku (*bracing*), pembongkaran penopang, dan penopangan kembali termasuk interval waktu minimum di antara berbagai operasi;

(e) Semua pembebanan atau kondisi lainnya yang mempengaruhi keamanan atau kemampuan layan struktur selama konstruksi.

Untuk konstruksi tingkat-banyak, kuat beton pada berbagai tahap konstruksi harus dibuktikan dengan benda uji rawat-lapangan atau metoda yang disetujui lainnya.

S8.3 — Saluran dan pipa yang ditanam dalam beton

S8.3.1 — Saluran, pipa, dan selubung (*sleeves*) yang tidak merusak beton dapat ditanam dalam beton, tetapi pelaksanaannya harus dilakukan dengan cara sedemikian rupa sehingga tidak membahayakan struktur. Aturan empirik diberikan dalam 8.3 untuk instalasi yang aman dibawah kondisi umum; untuk selain kondisi umum, desain khusus haruslah dibuat. Banyak tata cara bangunan umum mengadopsi tata cara perpipaan ANSI/ASME B 31.1 untuk perpipaan pembangkit^{8,8} dan B 31.3 untuk perpipaan minyak dan zat kimia.^{8,9} Pembuat ketentuan harus yakin bahwa tata cara perpipaan yang sesuai digunakan di dalam desain dan pengujian sistem. Kontraktor harus tidak diijinkan untuk menginstal saluran, pipa, selongsong, atau selubung yang tidak ditunjukkan pada rencana atau tidak disetujui oleh insinyur atau arsitek.

Untuk integritas struktur, penting bahwa semua penyambung (*fittings*) saluran dan pipa dalam beton digabungkan secara hati-hati seperti yang ditunjukkan pada rencana atau yang diminta dalam spesifikasi kerja.

S8.3.2 — Tata cara ini melarang penggunaan aluminium dalam beton struktur jika aluminium tersebut tidak sepenuhnya dilapisi atau ditutup. Aluminium bereaksi dengan beton dan, dengan keberadaan ion klorida, bisa juga bereaksi secara elektrolit dengan baja, yang mengakibatkan keretakan dan/atau pengelupasan (*spalling*) beton. Saluran elektrik aluminium menimbulkan permasalahan khusus karena arus elektrik yang lepas mempercepat reaksi yang merugikan.

TATA CARA**PENJELASAN**

pada kolom tidak boleh menempati lebih dari 4 persen luas penampang yang diperlukan untuk kekuatan atau untuk perlindungan terhadap kebakaran.

8.3.5 — Kecuali gambar-gambar untuk saluran dan pipa telah disetujui oleh perencana struktur, saluran dan pipa yang tertanam pada pelat, dinding atau balok (selain saluran dan pipa yang hanya menembus) harus memenuhi ketentuan berikut:

8.3.5.1 — Dimensi luarnya tidak boleh lebih besar dari 1/3 tebal keseluruhan pelat, dinding, atau balok dimana bahan-bahan tersebut ditanam.

8.3.5.2 — Bahan-bahan tersebut tidak boleh dipasang dengan spasi sumbu ke sumbu lebih kecil daripada 3 diameter atau lebar.

8.3.5.3 — Bahan-bahan tersebut tidak boleh menurunkan kekuatan konstruksi secara berlebihan.

8.3.6 — Saluran, pipa, dan selubung boleh dianggap menggantikan secara struktural beton yang dipindahkan yang berada dalam kondisi tekan asalkan:

8.3.6.1 — Bahan-bahan tersebut terlindung dari karat atau kerusakan lain.

8.3.6.2 — Bahan-bahan tersebut terbuat dari besi atau baja yang tidak dilapisi atau yang digalvanisasi dan tidak lebih tipis dari pipa baja struktural standar.

8.3.6.3 — Bahan-bahan tersebut mempunyai diameter dalam nominal tidak lebih dari 50 mm dan dipasang dengan spasi yang tidak kurang dari 3 diameter dari sumbu ke sumbu.

8.3.7 — Pipa dan kaitnya harus direncanakan untuk memikul pengaruh-pengaruh material, tekanan, dan temperatur yang akan dialaminya.

8.3.8 — Cairan, gas, atau uap, kecuali air yang suhunya tidak melebihi 30°C dan tekanannya tidak melebihi 0,3 MPa, tidak boleh diisikan pada pipa hingga beton telah mencapai kekuatan rencananya.

8.3.9 — Semua pemipaan pada pelat masif, kecuali bila dipasang untuk pemanasan radiasi, harus dipasang di antara tulangan atas dan bawah.

8.3.10 — Selimut beton untuk pipa, saluran, dan kaitnya tidak boleh kurang daripada 40 mm untuk beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca, dan tidak kurang daripada 20 mm untuk beton yang tidak berhubungan dengan tanah atau cuaca.

S8.3.7 — *ACI Code* 1983 membatasi tekanan maksimum dalam pipa yang ditanam sampai 1,5 MPa, yang dianggap terlalu ketat. Namun begitu, efek tekanan seperti itu dan pembesaran pipa yang ditanam harus diperhitungkan dalam desain komponen struktur beton.

TATA CARA

8.3.11 — Penulangan dengan luas yang tidak kurang dari 0,002 kali luas penampang beton harus disediakan tegak lurus terhadap pemipaan.

8.3.12 — Pemipaan dan saluran harus difabrikasi dan dipasang sedemikian hingga pemotongan, pembengkokan, atau pemindahan tulangan dari tempat yang seharusnya tidak diperlukan.

8.4 — Siar pelaksanaan

8.4.1 — Permukaan beton pada siar pelaksanaan harus dibersihkan dari serpihan dan kotoran lainnya.

8.4.2 — Sesaat sebelum beton baru dicor, semua siar pelaksanaan harus dibasahi dan air yang tergenang harus dibuang.

8.4.3 — Siar pelaksanaan harus dibuat dan ditempatkan sedemikian hingga tidak mengurangi kekuatan struktur. Perangkat untuk menyalurkan geser dan gaya-gaya lain melalui siar pelaksanaan harus direncanakan. Lihat 13.7.9.

8.4.4 — Siar pelaksanaan pada sistem pelat lantai harus ditempatkan dalam daerah sepertiga bentang tengah pelat, balok, dan balok induk. Siar pelaksanaan pada balok induk harus diletakkan pada jarak minimum sebesar dua kali lebar balok yang memotongnya dari posisi muka perpotongan tersebut.

8.4.5 — Balok, balok induk, atau pelat yang ditumpu oleh kolom atau dinding tidak boleh dicor atau dipasang hingga beton pada komponen struktur vertikal penumpu tidak lagi bersifat plastis.

8.4.6 — Balok, balok induk, voute, penebalan (*drop*) panel, dan kepala kolom harus dicor monolit sebagai bagian dari

PENJELASAN

S8.4 — Siar pelaksanaan

Untuk integritas struktur, adalah penting semua siar pelaksanaan didefinisikan dalam dokumen konstruksi dan dikonstruksikan seperti yang disyaratkan. Semua penyimpangan harus disetujui oleh insinyur atau arsitek.

S8.4.2 — Persyaratan *ACI Code* 1977 untuk penggunaan semen kering (*neat cement*) pada siar vertikal telah ditiadakan, karena kurang praktis dan dapat merusak dimana cetakan yang dalam dan keruwetan baja mencegah akses sebagaimana mestinya. Seringkali semburan basah (*wet blasting*) dan prosedur lainnya lebih cocok. Karena tata cara ini hanya menetapkan standar minimum, insinyur harus menetapkan prosedur khusus jika kondisinya menjamin. Banyaknya adukan mortar yang diperlukan saat permulaan pengecoran beton tergantung pada proporsi beton, keruwetan baja, akses vibrator, dan faktor lainnya.

S8.4.3 — Siar pelaksanaan harus ditempatkan dimana siar tersebut akan mengakibatkan kelemahan yang paling sedikit pada struktur. Bila geser akibat beban gravitasi tidak berarti, seperti kasus biasanya pada tengah bentang komponen struktur lentur, siar vertikal yang sederhana mungkin mencukupi. Desain gaya lateral mungkin memerlukan perlakuan desain siar pelaksanaan khusus. Kunci geser (*shear keys*), kunci geser antara, pasak (*dowels*) diagonal, atau metoda transfer dari 13.7 dapat digunakan apabila transfer gaya diperlukan.

S8.4.5 — Penundaan dalam pengecoran beton pada komponen struktur yang didukung oleh kolom dan dinding diperlukan untuk mencegah keretakan pada muka kontak pelat dan komponen struktur pendukung yang diakibatkan oleh pengeluaran air (*bleeding*) dan pemampatan (*settlement*) beton plastis pada komponen struktur pendukung.

S8.4.6 — Penempatan pelat dan balok secara terpisah, voute (*haunches*), dan elemen yang serupa diijinkan bila

TATA CARA

sistem pelat lantai, kecuali bila ditunjukkan lain pada gambar rencana atau spesifikasi.

PENJELASAN

ditunjukkan dalam gambar dan bilamana kelengkapan untuk itu telah dibuat untuk mentransfer gaya-gaya seperti yang disyaratkan dalam 8.4.3.

PASAL 9 — DETAIL PENULANGAN

TATA CARA

9.1 — Kait standar

Pembengkokan tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

9.1.1 — Bengkokan 180° ditambah perpanjangan $4d_b$, tapi tidak kurang dari 60 mm, pada ujung bebas kait.

9.1.2 — Bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$, pada ujung bebas kait.

9.1.3 — Untuk sengkang dan kait pengikat:

(a) Batang D-16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $6d_b$, pada ujung bebas kait, atau

(b) Batang D-19, D-22, dan D-25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$, pada ujung bebas kait, atau

(c) Batang D-25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan $6d_b$, pada ujung bebas kait.

9.1.4 — Untuk kait gempal adalah sebagaimana yang didefinisikan pada 23.1.

9.2 — Diameter bengkokan minimum

9.2.1 — Diameter bengkokan yang diukur pada bagian dalam batang tulangan tidak boleh kurang dari nilai dalam Tabel 6. Ketentuan ini tidak berlaku untuk sengkang dan sengkang ikat dengan ukuran D-10 hingga D-16.

9.2.2 — Diameter dalam dari bengkokan untuk sengkang dan

PENJELASAN

Metoda dan standar yang direkomendasikan untuk mempersiapkan gambar desain, detail tipikal, dan gambar untuk pabrikan dan penempatan baja tulangan dalam struktur beton bertulang diberikan dalam *ACI Detailing Manual*, yang dilaporkan oleh *ACI Committee 315*.^{9.1}

Semua ketentuan dalam tata cara ini terkait dengan diameter (dan luasan) batang, kawat, atau kawat untai (*strand*) didasarkan pada dimensi nominal tulangan seperti yang diberikan dalam spesifikasi ASTM yang sesuai. Dimensi nominal adalah ekuivalen dengan yang dari luasan bulat yang mempunyai berat per *foot* yang sama seperti ukuran batang, kawat, atau *strand* yang ditetapkan ASTM. Luasan irisan-penampang tulangan berdasarkan pada dimensi nominal.

S9.1 — Kait standar

S9.1.3 — Sengkang standar dan kait pengikat dibatasi sampai batang D-25 dan yang lebih kecil, dan untuk kait 90° dengan perpanjangan $6d_b$, dibatasi lebih jauh sampai batang D-16 dan yang lebih kecil, dalam kedua kasus tersebut sebagaimana hasil riset menunjukkan bahwa ukuran batang yang lebih besar dengan kait 90° dan perpanjangan $6d_b$ cenderung terbuka lepas dibawah beban yang tinggi.

S9.2 — Diameter bengkokan minimum

Bengkokan standar pada batang tulangan digambarkan dalam hubungan dengan diameter sisi dalam bengkokan karena lebih mudah untuk mengukurnya daripada radius bengkokan. Faktor utama yang mempengaruhi diameter bengkokan minimum adalah kelayakan pembengkokan tanpa terputus dan penghindaran kehancuran beton sisi dalam bengkokan.

S9.2.2 — Bengkokan minimum $4d_b$ untuk ukuran batang

TATA CARA

sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk batang D-16 dan yang lebih kecil. Untuk batang yang lebih besar daripada D-16, diameter bengkokan harus memenuhi Tabel 6.

9.2.3 — Diameter dalam untuk bengkokan jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang digunakan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk kawat ulir yang lebih besar dari D7 dan $2d_b$ untuk kawat lainnya. Bengkokan dengan diameter dalam kurang dari $8d_b$ tidak boleh berada kurang dari $4d_b$ dari persilangan las yang terdekat.

TABEL 6—DIAMETER BENGKOKAN MINIMUM

Ukuran tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai dengan D-25	$6d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8d_b$
D-44 dan D-56	$10d_b$

9.3 — Cara pembengkokan

9.3.1 — Semua tulangan harus dibengkokkan dalam keadaan dingin, kecuali bila diizinkan lain oleh pengawas lapangan.

9.3.2 — Tulangan yang sebagian sudah tertanam di dalam beton tidak boleh dibengkokkan di lapangan, kecuali seperti yang ditentukan pada gambar rencana, atau diizinkan oleh pengawas lapangan.

PENJELASAN

yang umum dipakai untuk sengkang dan pengikat didasarkan pada praktek industri yang telah diterima di Amerika Serikat. Penggunaan ukuran batang sengkang yang tidak lebih besar dari D-16 baik untuk kait sengkang standar 90° maupun 135° mengizinkan pembengkokan yang banyak dengan peralatan pembengkok standar.

S9.2.3 — Jaring kawat las, dari kawat polos atau ulir, dapat digunakan untuk sengkang dan pengikat. Kawat pada perpotongan las tidak mempunyai daktilitas dan kemampuan untuk dibengkokkan yang seragam seperti pada daerah yang tidak dipanasi. Efek suhu pengelasan ini biasanya didisipasikan dalam jarak sekitar empat kali diameter kawat. Diameter bengkokan minimum yang diijinkan dalam kebanyakan kasus sama seperti yang disyaratkan dalam uji bengkokan ASTM untuk material kawat (ASTM A 82 dan A 496).

S9.3 — Cara pembengkokan

S9.3.1 — Insinyur mungkin adalah insinyur desain atau arsitek atau insinyur atau arsitek yang dipekerjakan oleh pemilik untuk melakukan pengawasan. Untuk bengkokan-bengkokan yang tak lazim dengan diameter dalam kurang dari persyaratan uji bengkokan ASTM, pabrikasi khusus mungkin diperlukan.

S9.3.2 — Kondisi-kondisi konstruksi mungkin memerlukan pembengkokan batang yang telah tertanam dalam beton. Pembengkokan lapangan seperti itu harus tidak dilakukan tanpa otorisasi insinyur. Insinyur harus menentukan apakah batang tersebut harus dibengkokkan secara dingin atau bilamana pemanasan harus digunakan. Pembengkokan harus bertahap dan harus diluruskan seperti yang disyaratkan.

Hasil uji^{9.2,9.3} telah menunjukkan bahwa batang tulangan A 615M Mutu 300 dan Mutu 420 dapat dibengkokkan secara dingin dan diluruskan sampai dengan 90° di atau dekat diameter minimum yang ditetapkan dalam 9.2. Jika retak atau putus dijumpai, pemanasan sampai suhu maksimum sebesar 800°C dapat menghindarkan kondisi ini untuk batang-batang sisa. Batang yang patah pada saat pembengkokan dan pelurusan dapat disambung-lewatkan (*spliced*) diluar daerah bengkokan.

Pemanasan harus dilakukan dengan suatu cara yang dapat menghindarkan kerusakan terhadap beton. Jika daerah bengkokan berada kira-kira 150 mm dalam beton, suatu insulasi perlindungan mungkin perlu diberikan. Pemanasan batang harus dikontrol dengan krayon pengindikasi-suhu atau cara-cara lain yang sesuai. Batang yang dipanasi harus tidak didinginkan secara artifisial (dengan air atau udara yang disemprot) sampai setelah mendingin paling sedikit 300°C .

TATA CARA

9.4 — Kondisi permukaan baja tulangan

9.4.1 — Pada saat beton dicor, tulangan harus bebas dari lumpur, minyak, atau segala jenis zat pelapis bukan logam yang dapat mengurangi kapasitas lekatan. Pelapis epoksi yang sesuai dengan acuan baku pada 5.5.3.7 dan 5.5.3.8 boleh digunakan.

9.4.2 — Kecuali untuk tendon prategang, tulangan yang mengandung karat, kulit giling (*mill scale*), atau gabungan keduanya, boleh dipergunakan selama dimensi minimum (termasuk tinggi ulir) dan berat benda uji yang telah dibersihkan menggunakan sikat baja tidak lebih kecil dari ketentuan yang berlaku (lihat 5.5).

9.4.3 — Tendon prategang harus bersih dan bebas dari minyak, kotoran, kulit giling, cacat permukaan dan karat yang berlebihan. Tendon yang teroksidasi sedikit boleh digunakan.

9.5 — Penempatan tulangan

9.5.1 — Tulangan, tendon prategang, dan selongsong prategang harus ditempatkan secara akurat dan ditumpu secukupnya sebelum beton dicor, dan harus dijaga agar tidak tergeser melebihi toleransi yang diizinkan dalam 9.5.2.

9.5.2 — Bila tidak ditentukan lain oleh pengawas lapangan, tulangan, tendon prategang, dan selongsong prategang harus ditempatkan dengan toleransi berikut:

PENJELASAN

S9.4 — Kondisi permukaan baja tulangan

Batas spesifik karat didasarkan pada hasil uji,^{9,4} ditambah tinjauan hasil pengujian dan rekomendasi-rekomendasi yang sebelumnya. Referensi 9.4 menyediakan panduan berkenaan dengan efek-efek karat dan lapisan permukaan hasil oksidasi akibat pemanasan (*mill scale*) pada karakteristik lekatan batang tulangan ulir. Riset telah menunjukkan bahwa karat dalam jumlah normal meningkatkan lekatan. Pembersihan normal dengan sikat baja umumnya akan menghilangkan karat yang cukup lepas yang dapat merusak lekatan antara beton dan tulangan.

S9.4.3 — Panduan untuk mengevaluasi derajat pengkaratan pada stran diberikan dalam Referensi 9.5.

S9.5 — Penempatan tulangan

S9.5.1 — Tulangan termasuk tendon prategang harus cukup didukung dalam cetakan untuk mencegah perpindahan oleh pengecoran beton atau pekerja. Sengkang balok harus didukung diatas dasar cetakan balok oleh pendukung positif seperti bantalan balok memanjang yang menerus. Bilamana hanya tulangan memanjang terbawah balok yang didukung, lalu-lintas pelaksanaan konstruksi bisa menggeser sengkang-sengkang termasuk tendon prategang yang diikat pada sengkang-sengkang tersebut.

S9.5.2 — Praktek yang diterima secara umum, seperti yang terefleksi dalam "*Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials*," dilaporkan oleh AÇI Committee 117,^{9,6} telah menetapkan toleransi terhadap ketinggian total (cetakan atau penyelesaian) dan pabrikan batang tulangan yang dibengkokkan berbentuk rangka batang (*truss bent reinforcing bars*) dan pengikat tertutup, sengkang, dan spiral. Insinyur harus menetapkan toleransi yang lebih ketat daripada yang diijinkan oleh cara ini bilamana dipandang perlu untuk meminimumkan akumulasi toleransi yang mengakibatkan reduksi berlebihan terhadap ketinggian efektif atau penutup.

Toleransi yang lebih ketat telah diberikan pada jarak bersih minimum di sisi bawah (*soffits*) cetakan karena pentingnya keawetan dan perlindungan terhadap kebakaran, dan karena batang tulangan biasanya didukung sedemikian rupa sehingga toleransi yang ditentukan menjadi praktis. Toleransi yang lebih ketat dari yang disyaratkan oleh tata cara ini mungkin dikehendaki untuk beton prategang untuk mencapai kontrol lawan-lendut (*camber*) dalam batas-batas yang dapat diterima perencana atau pemilik. Dalam kasus-kasus seperti itu, pengawas harus menetapkan toleransi yang diperlukan. Rekomendasi-rekomendasi diberikan

TATA CARA

9.5.2.1 — Toleransi untuk tinggi d dan selimut beton minimum dalam komponen struktur lentur, dinding dan komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan berikut:

TABEL 7—TOLERANSI UNTUK TINGGI SELIMUT BETON

	Toleransi untuk d	Toleransi untuk selimut beton minimum
$d \leq 200$ mm	± 10 mm	-10 mm
$d > 200$ mm	± 13 mm	-13 mm

kecuali bahwa ketentuan toleransi untuk jarak bersih terhadap sisi-dalam cetakan harus sebesar minus 6 mm dan toleransi untuk selimut beton tidak boleh melampaui minus 1/3 kali selimut beton minimum yang diperlukan dalam gambar rencana atau spesifikasi.

9.5.2.2 — Toleransi letak longitudinal dari bengkokan dan ujung akhir tulangan harus sebesar ± 50 mm kecuali pada ujung tidak menerus dari komponen struktur dimana toleransinya harus sebesar ± 13 mm.

9.5.3 — Jaring kawat las (dengan ukuran kawat yang tidak melampaui P6 atau D6) yang digunakan dalam pelat dengan bentang yang tidak melampaui 3 m boleh dilengkungkan mulai dari titik dekat sisi atas pelat di atas tumpuan hingga suatu titik dekat sisi bawah pelat pada tengah bentang, asalkan tulangan tersebut menerus atau diangkur dengan baik di daerah tumpuan.

9.5.4 — Penyatuan atau penyambungan batang tulangan yang bersilangan dengan menggunakan las tidak diperkenankan kecuali bila diizinkan oleh pengawas lapangan.

9.6 — Batasan spasi tulangan

9.6.1 — Jarak bersih antara tulangan sejajar dalam lapis yang sama, tidak boleh kurang dari d_b , ataupun 25 mm. Lihat juga ketentuan 5.3.2.

9.6.2 — Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang dari 25 mm.

9.6.3 — Pada komponen struktur tekan yang diberi tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$, ataupun 40 mm.

9.6.4 — Pembatasan jarak bersih antar batang tulangan ini

PENJELASAN

dalam Referensi 9.”

S9.5.2.1 — Tata cara ini menetapkan toleransi terhadap ketinggian d , sebuah komponen kuat yang penting dari komponen struktur. Karena baja tulangan ditempatkan terkait dengan tepi komponen struktur dan permukaan cetakan, ketinggian d tidak selalu mudah diukur di lapangan. Pengawas harus menetapkan toleransi untuk penempatan batang, penutup, dan ukuran komponen struktur. Lihat ACI 117.^{9,6}

S9.5.4 — Las “tempel” (pengelasan batang-batang silang) dapat secara serius melemahkan batang di titik yang dilas dengan menciptakan efek takikan metalurgi. Operasi ini dapat dilakukan secara aman hanya bila material yang dilas dan operasi pengelasan dibawah kontrol tenaga yang kompeten secara terus menerus, seperti di pabrik jaring kawat las.

S9.6 — Batasan spasi tulangan

Meskipun spasi minimum batang tidak berubah dalam tata cara ini, panjang penyaluran yang diberikan dalam Pasal 14 menjadi fungsi spasi batang semenjak *ACI Code* 1989. Sebagai akibatnya, ada kemungkinan dikehendaki untuk memakai spasi minimum batang yang lebih besar didalam beberapa kasus. Batas minimum tersebut pada awalnya dikembangkan untuk membolehkan beton mengalir dengan baik ke dalam spasi di antara batang-batang dan di antara batang dan cetakan tanpa adanya sarang-lebah (*honeycomb*), dan untuk menjamin tidak adanya konsentrasi batang dalam sebuah garis yang dapat mengakibatkan keretakan geser atau susut. Penggunaan diameter batang nominal untuk menentukan spasi minimum menghasilkan kriteria yang seragam untuk semua ukuran batang.

TATA CARA

juga berlaku untuk jarak bersih antara suatu sambungan lewatan dengan sambungan lewatan lainnya atau dengan batang tulangan yang berdekatan.

9.6.5 — Pada dinding dan pelat lantai yang bukan berupa konstruksi pelat rusuk, tulangan lentur utama harus berjarak tidak lebih dari tiga kali tebal dinding atau pelat lantai, ataupun 500 mm.

9.6.6 — Bundel tulangan

9.6.6.1 — Kumpulan dari tulangan sejajar yang diikat dalam satu bundel sehingga bekerja dalam satu kesatuan tidak boleh terdiri lebih dari empat tulangan per bundel.

9.6.6.2 — Bundel tulangan harus dilindungi oleh sengkang atau sengkang pengikat.

9.6.6.3 — Pada balok, tulangan yang lebih besar dari D-36 tidak boleh dibundel.

9.6.6.4 — Masing-masing batang tulangan yang terdapat dalam satu bundel tulangan yang berakhir dalam bentang komponen struktur lentur harus diakhiri pada titik-titik yang berlainan, paling sedikit dengan jarak $40d_b$ secara berselang.

9.6.6.5 — Jika pembatasan jarak dan selimut beton minimum didasarkan pada diameter tulangan d_b , maka satu unit bundel tulangan harus diperhitungkan sebagai tulangan tunggal dengan diameter yang didapat dari luas ekuivalen penampang gabungannya.

9.6.7 — Tendon dan selongsong prategang

9.6.7.1 — Spasi sumbu ke sumbu antar tendon prategang pada tiap ujung suatu komponen struktur tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk kawat untai (*strand*), atau $5d_b$ untuk kawat tunggal, kecuali bahwa jika kuat tekan beton minimum pada saat transfer prategang, f'_{ci} , adalah 28 MPa, maka spasi sumbu-ke-sumbu minimum dari *strand* haruslah 45 mm untuk *strand* berdiameter 12,7 mm atau lebih kecil, dan 50 mm untuk *strand* berdiameter 15,2 mm. Lihat juga 5.3.2. Pengaturan spasi vertikal yang lebih rapat dan pembundelan tendon diperbolehkan pada daerah lapangan dari suatu bentang.

9.6.7.2 — Selongsong yang digunakan pada sistem pasca tarik boleh dibundelkan bila dapat diperlihatkan bahwa beton dapat dicor dengan sempurna dan bila telah dilakukan pengamanan untuk mencegah pecahnya selongsong pada saat penarikan tendon.

PENJELASAN

S9.6.6 — Bundel tulangan

Riset lekatan^{9.8} telah menunjukkan bahwa pemutusan batang dalam bundel harus diselang-seling. Batang bundel harus diikat, dikawati, atau selain itu dikencangkan bersama untuk memastikannya tetap didalam posisi baik vertikal maupun horisontal.

Pembatasan batang yang lebih besar dari D-36 tidak boleh dibundel pada balok atau girder merupakan batasan praktis untuk pemakaian pada ukuran komponen struktur bangunan. (*“Standard Specifications for Highway Bridges”*^{9.9} mengijinkan bundel dua-batang untuk batang D-43 dan D-57 pada girder jembatan.) Pemenuhan terhadap persyaratan kontrol retak dari 12.6 secara efektif akan mencegah pembundelan batang yang lebih besar dari D-36 sebagai tulangan tarik. Frase tata cara ini “bundel yang berkontak akan bekerja sebagai satu kesatuan,” dimaksudkan untuk mencegah pembundelan lebih dari dua batang pada bidang yang sama. Bentuk bundel tipikal adalah pola segitiga, bujursangkar, atau bentuk-L untuk bundel tiga- atau empat-batang. Sebagai peringatan praktis, bundel lebih dari satu kedalaman batang harus tidak dikait atau dibengkok sebagai satu kesatuan. Bila kait ujung diperlukan, lebih dipilih untuk menselang-seling kait batang individu didalam sebuah bundel.

S9.6.7 — Tendon dan selongsong prategang

S9.6.7.1 — Spasi yang boleh dikurangi dalam pasal ini untuk kuat transfer sebesar 28 MPa atau lebih besar didasarkan pada Referensi 9.10, 9.11.

S9.6.7.2 — Bila selongsong untuk tendon pasca-tarik pada balok disusun bersama berdekatan secara vertikal, ketentuan harus dibuat untuk mencegah pecahnya selongsong pada saat penarikan tendon. Penempatan horisontal selongsong harus membolehkan pengecoran beton yang benar. Spasi bersih sebesar satu sepertiga kali ukuran agregat kasar, tetapi tidak kurang dari 25 mm, telah

TATA CARA

PENJELASAN

9.7 — Pelindung beton untuk tulangan

9.7.1 — Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan berikut:

	Tebal selimut minimum (mm)
(a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
(b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
Batang D-19 hingga D-56.....	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	40
(c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton yang tidak langsung berhubungan dengan tanah:	
<u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u>	
Batang D-44 dan D-56	40
Batang D-36 dan yang lebih kecil.....	20
<u>Balok, kolom:</u>	
Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral.....	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u>	
Batang D-19 dan yang lebih besar	20
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil.....	15

9.7.2 — Untuk beton pracetak (dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik), tebal minimum selimut beton berikut harus disediakan untuk tulangan:

	Tebal selimut minimum (mm)
(a) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
<u>Panel dinding:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	40
Batang D-36 dan batang yang lebih kecil.....	20

terbukti memuaskan. Bila konsentrasi tendon atau selongsong cenderung menghasilkan bidang yang lemah pada selimut beton, maka harus dipasang tulangan untuk mengontrol retak.

S9.7 — Pelindung beton untuk tulangan

Selimut beton sebagai pelindung tulangan terhadap cuaca dan efek lainnya diukur dari permukaan beton ke permukaan terluar baja dimana persyaratan selimut berlaku. Bila selimut minimum ditetapkan untuk kelas komponen struktur, selimut tersebut diukur dari tepi luar sengkang, pengikat, atau spiral jika tulangan transversal melingkupi batang utama; ke lapis batang terluar jika digunakan lebih dari satu lapis tanpa sengkang atau pengikat; atau ke penutup (*fitting*) ujung metal atau selongsong pada baja prategang pasca-tarik.

Kondisi "permukaan beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca" merujuk pada eksposur langsung terhadap perubahan kelembaban dan tidak hanya terhadap perubahan suhu. Sisi bawah pelat atau cangkang (*shell*) tipis biasanya tidak dianggap terekspos langsung jikalau tidak dikenai pembasahan dan pengeringan secara bergantian, termasuk yang diakibatkan oleh kondisi kondensasi atau kebocoran langsung dari permukaan atas yang terekspos, luapan, atau efek yang serupa.

Metoda-metoda alternatif perlindungan tulangan terhadap cuaca boleh diberikan jika ekuivalen dengan selimut beton tambahan yang disyaratkan oleh tata cara ini. Bilamana disetujui oleh pengawas bangunan menurut ketentuan dari 3.4, tulangan dengan pelindung alternatif terhadap cuaca boleh mempunyai selimut beton yang tidak kurang dari selimut yang disyaratkan untuk tulangan yang tidak terekspos terhadap cuaca.

Panjang penyaluran yang diberikan dalam Pasal 12 sekarang merupakan fungsi selimut batang. Sebagai akibatnya, mungkin dikehendaki untuk menggunakan selimut yang lebih besar dari minimum didalam beberapa kasus.

S9.7.2 — Untuk beton pracetak (dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik), tebal selimut yang lebih kecil mencerminkan kemudahan yang lebih besar didalam pengendalian pemproporsian, pengecoran, dan perawatan bawaan pada proses pracetak. Istilah "dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik" tidak dengan spesifik menyatakan bahwa komponen struktur pracetak harus dibuat di dalam pabrik. Elemen struktur yang dipracetak di tempat kerja juga akan memenuhi menurut pasal ini jika pengawasan dimensi cetakan, penempatan tulangan, pengawasan kualitas beton, dan prosedur perawatan sama dengan yang normalnya diterapkan di dalam pabrik.

TATA CARA

PENJELASAN

Komponen struktur lainnya:

Batang D-44 dan batang D-56.....	50
Batang D-19 sampai batang D-36	40
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	30

(b) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah:

Pelat, dinding, pelat berusuk:

Batang D-44 dan batang D-56.....	30
Batang D-36 dan batang yang lebih kecil	15

Balok, kolom:

Tulangan utama.....	d_b (tetapi tidak kurang dari 15 dan tidak perlu lebih dari 40)
Sengkang pengikat, sengkang, lilitan spiral	10

Komponen cangkang, pelat lipat:

Batang D-19 dan batang yang lebih besar.....	15
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	10

9.7.3 — Beton prategang

9.7.3.1 — Tebal penutup beton minimum berikut harus disediakan untuk tulangan prategang ataupun non-prategang, selongsong, dan penutup-ujung, kecuali untuk kondisi yang dicantumkan dalam 9.7.3.2 dan 9.7.3.3.

Tebal selimut
Minimum (mm)

(a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah.....75

(b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau berhubungan dengan cuaca:

Dinding panel, slab, balok berusuk	25
Komponen struktur lain.....	40

(c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan tanah atau tidak langsung berhubungan dengan cuaca:

Pelat, dinding, pelat berusuk	20
-------------------------------------	----

Balok, kolom:

Tulangan utama.....	40
---------------------	----

TATA CARA

Senggang pengikat, senggang,
lilitan spiral..... 25

Komponen struktur cangkang, pelat lipat:

Batang D-16, jaring kawat polos P16
atau ulir D16 dan yang lebih kecil..... 10
Tulangan lainnya d_s (tetapi tidak
kurang dari 20)

9.7.3.2 — Untuk komponen struktur beton prategang yang berhubungan dengan tanah, cuaca, atau lingkungan yang korosif, dan dimana tegangan tarik izin yang ditetapkan pada 20.4.2.3 dilampaui, maka tebal selimut beton minimum harus dinaikkan 50%.

9.7.3.3 — Untuk komponen struktur beton prategang yang dibuat dibawah kondisi pengawasan pabrik, tebal penutup beton minimum untuk tulangan non-prategang harus diambil seperti yang tercantum dalam 9.7.2.

9.7.4 — Bundel tulangan

Untuk bundel tulangan, tebal selimut beton minimum harus diambil sama dengan diameter ekuivalen bundel yang bersangkutan, tetapi tidak perlu lebih besar dari 50 mm; kecuali untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah dimana tebal penutup minimum harus diambil sebesar 75 mm.

9.7.5 — Lingkungan korosif

Di dalam lingkungan yang korosif atau lingkungan lain yang merusak, tebal selimut beton harus ditingkatkan secukupnya, dan kepadatan serta kekedapan selimut beton harus diperhatikan, atau harus diadakan bentuk perlindungan yang lain.

9.7.6 — Perluasan di kemudian hari

Untuk tulangan dan bagian sambungan yang terbuka, yang khusus disediakan untuk penyambungan dengan struktur tambahan di kemudian hari, harus dilindungi terhadap kemungkinan korosi.

9.7.7 — Perlindungan terhadap kebakaran

Bila tebal selimut beton dipersyaratkan lebih daripada yang

PENJELASAN**S9.7.5 — Lingkungan korosif**

Bila beton akan terekspos terhadap sumber klorida luar dalam masa layannya, seperti garam pelebur es (*deicing*), air payau (*brackish*), air laut, atau semprotan dari sumber-sumber ini, beton harus diproporsikan untuk memenuhi persyaratan eksposur khusus dari Pasal 6. Hal ini termasuk kadar udara minimum, rasio air-semen maksimum, kuat minimum beton normal dan ringan, ion klorida maksimum dalam beton, dan tipe semen. Sebagai tambahan, untuk perlindungan korosi, selimut beton minimum direkomendasikan sebesar 50 mm untuk tulangan dinding dan pelat dan 60 mm untuk komponen struktur lainnya. Untuk beton pracetak yang dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik, selimut minimum direkomendasikan berturut-turut sebesar 40 mm dan 50 mm.

TATA CARA**PENJELASAN**

ditetapkan dalam 9.7 oleh peraturan lainnya, maka ketentuan tersebut harus diikuti.

9.8 — Detail tulangan khusus untuk kolom**S9.8 — Detail tulangan khusus untuk kolom****9.8.1 — Batang tulangan pada daerah hubungan balok-kolom**

Batang tulangan longitudinal yang ditebuk pada daerah hubungan balok-kolom harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

9.8.1.1 — Kemiringan dari bagian tekukan pada batang tulangan tersebut terhadap sumbu kolom tidak boleh melebihi 1:6.

9.8.1.2 — Bagian dari batang tulangan yang terletak di atas dan terletak di bawah daerah hubungan balok-kolom harus sejajar dengan sumbu kolom.

9.8.1.3 — Kekangan horisontal pada tekukan batang tulangan tersebut harus disediakan oleh ikatan-ikatan lateral, spiral, atau bagian dari konstruksi lantai. Kekangan horisontal tersebut harus direncanakan mampu memikul gaya sebesar 1,5 kali komponen horisontal dari gaya yang bekerja pada bagian tersebut. Ikatan lateral atau spiral, jika digunakan, harus diletakkan tidak lebih dari 150 mm dari titik awal tekukan.

9.8.1.4 — Batang tulangan tersebut harus sudah ditebuk sebelum dipasang dalam cetakan. Lihat ketentuan dalam 9.3.

9.8.1.5 — Bila penyimpangan lateral muka kolom melebihi 80 mm, maka tulangan longitudinal tidak boleh ditebuk. Dalam hal ini harus disediakan pasak khusus yang disambung lewatkan pada tulangan longitudinal yang berada di dekat sisi muka kolom tersebut. Sambungan lewatkan ini harus memenuhi ketentuan pada 14.17.

9.8.2 — Inti baja

Penyaluran beban dalam struktur inti baja dari komponen struktur tekan komposit harus dilakukan sebagai berikut:

9.8.2.1 — Permukaan ujung komponen baja dari struktur inti baja harus diratakan secara cermat untuk memungkinkan penyambungan inti baja secara konsentrik, sehingga pertemuan tersebut mampu berfungsi sebagai sambungan tumpu.

9.8.2.2 — Pada sambungan tumpu tersebut di atas, tumpuan hanya dapat dianggap efektif menyalurkan tidak lebih dari 50% gaya tekan total yang bekerja pada komponen inti baja.

9.8.2.3 — Penyaluran gaya antara alas kolom dan fondasi

S9.8.2 — Inti baja

Batasan 50 persen pada transfer beban tekan oleh tumpuan ujung pada ujung inti baja struktural dimaksudkan untuk menyediakan kapasitas tarik pada sambungan seperti itu (sampai dengan 50 persen), karena sisa tegangan tekan total dalam inti baja disalurkan oleh pasak (*dowels*), pelat sambungan, las, dll. Ketentuan ini harus menjamin agar sambungan dalam komponen struktur tekan komposit pada dasarnya memenuhi kapasitas tarik yang sama seperti yang disyaratkan untuk komponen struktur tekan beton bertulang konvensional.

TATA CARA

telapak harus direncanakan sesuai dengan ketentuan 17.8.

9.8.2.4 — Penampang alas kolom struktur baja harus direncanakan mampu menyalurkan beban total dari seluruh komponen struktur komposit ke fondasi tapak; atau penampang alas tersebut boleh juga direncanakan hanya untuk menyalurkan beban dari inti baja saja, asalkan luas beton pada penampang komposit tersebut lebih dari cukup untuk menyalurkan bagian dari beban total yang dipikul oleh penampang beton bertulang ke fondasi telapak sebagai gaya tekan pada beton dan tulangan.

9.9 — Sambungan

9.9.1 — Pada pertemuan dari komponen-komponen rangka utama (misalnya pertemuan balok dan kolom), sambungan lewatan tulangan yang menerus dan pengangkuran tulangan yang berakhir pada pertemuan itu harus dilindungi dengan sengkang pengikat yang baik.

9.9.2 — Sengkang pengikat pada pertemuan tersebut di atas, dapat berupa beton eksternal atau sengkang pengikat tertutup internal, spiral atau sengkang.

9.10 — Tulangan lateral pada komponen struktur tekan

9.10.1 — Tulangan lateral pada komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan pada 9.10.4 dan 9.10.5, dan pada tempat dimana dibutuhkan tulangan geser atau torsi juga harus memenuhi ketentuan Pasal 13.

9.10.2 — Ketentuan untuk tulangan lateral pada komponen struktur tekan komposit harus memenuhi 12.16. Ketentuan mengenai tulangan lateral pada komponen struktur prategang harus memenuhi 20.11.

9.10.3 — Ketentuan tulangan lateral pada 9.10, 12.16, dan 20.11 boleh tidak diikuti, jika hasil pengujian dan analisis struktur menunjukkan bahwa sistem memiliki kekuatan yang cukup dan konstruksinya dapat dilaksanakan.

9.10.4 — Spiral

Tulangan spiral pada komponen struktur tekan harus memenuhi 12.9.3 dan ketentuan berikut:

9.10.4.1 — Spiral harus terdiri dari batang tulangan yang

PENJELASAN

S9.9 — Sambungan

Pengekangan adalah penting pada sambungan untuk menjamin agar kapasitas lentur komponen struktur dapat terbentuk tanpa kerusakan hubungan (*joint*) oleh pembebanan ulang.^{9,12, 9.13}

S9.10 — Tulangan lateral pada komponen struktur tekan

S9.10.3 — Kolom pracetak dengan selimut kurang dari 40 mm, kolom prategang tanpa batang longitudinal, kolom yang lebih kecil dari dimensi minimum yang ditetapkan dalam edisi-edisi *ACI Code* yang terdahulu, kolom beton dengan agregat kasar ukuran kecil, kolom mirip-dinding, dan kasus khusus lainnya bisa memerlukan desain khusus untuk tulangan lateral. Kawat polos atau ulir, P5, D5, atau lebih besar, mungkin dapat dipakai untuk pengikat atau spiral. Jika kolom khusus seperti itu dianggap sebagai kolom spiral untuk kuat beban dalam desain, rasio tulangan spiral ρ_s harus memenuhi 12.9.3.

S9.10.4 — Spiral

Untuk pertimbangan praktis dalam konstruksi yang dicor di tempat, diameter minimum tulangan spiral adalah 10 mm ($\varnothing 10$ mm, batang D-10, atau kawat P10 atau D10). Ini merupakan ukuran terkecil yang dapat dipakai pada kolom

TATA CARA

menerus atau kawat dengan ukuran yang sedemikian dan dipasang dengan spasi yang sama sehingga dapat diangkat dan diletakkan tanpa menimbulkan penyimpangan dari ukuran yang telah direncanakan.

9.10.4.2 — Untuk konstruksi yang dicor di tempat, ukuran diameter batang spiral tidak boleh kurang dari 10 mm.

9.10.4.3 — Jarak bersih antar tulangan spiral tidak boleh melebihi 75 mm dan juga tidak kurang dari 25 mm.

9.10.4.4 — Penjangkaran tulangan atau kawat spiral harus disediakan dengan memberikan 1½ lilitan ekstra pada tiap ujung dari unit spiral.

9.10.4.5 — Penyambungan spiral harus dilakukan dengan menggunakan salah satu dari beberapa metode di bawah ini:

(a) Sambungan lewatan yang tidak kurang dari pada nilai terbesar dari 300 mm dan panjang yang dihasilkan dari salah satu ketentuan-ketentuan berikut ini:

- | | |
|---|------------------------|
| (1) Batang atau kawat ulir tanpa lapisan | 48d_b |
| (2) Batang atau kawat polos tanpa lapisan | 72d_b |
| (3) Batang atau kawat ulir berlapis | 72d_b |
| (4) Batang atau kawat polos tanpa lapisan dengan sengkang atau kait pengikat standar (yang sesuai dengan 9.1.3) pada ujung-ujung tulangan spiral yang disambung lewatan. Kait-kait tersebut harus tertanam di dalam inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral yang dimaksud | 48d_b |
| (5) Batang atau kawat ulir berlapis epoksi dengan sengkang atau kait pengikat standar (yang sesuai dengan 9.1.3) pada ujung-ujung tulangan spiral yang disambung lewatan. Kait-kait tersebut harus tertanam di dalam inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral yang dimaksud | 48d_b |

(b) Sambungan mekanis dan las penuh yang sesuai dengan ketentuan 14.14.3.

9.10.4.6 — Tulangan spiral harus menerus mulai dari tepi atas fondasi telapak atau pelat pada setiap tingkat bangunan hingga ketinggian dari tulangan horizontal terendah dari komponen struktur yang ditumpu di atasnya.

9.10.4.7 — Dimana balok atau konsol pendek tidak merangka pada semua sisi kolom, sengkang ikat harus menerus mulai dari atas titik pengakhiran spiral hingga batas bawah pelat atau penebalan panel.

PENJELASAN

dengan selimut 40 mm atau lebih dan memiliki kuat beton sebesar 20 MPa atau lebih jika spasi bersih minimum untuk pengecoran beton akan dipertahankan.

Ukuran spiral standar adalah diameter 10, 13, dan 16 mm untuk material yang digilas dalam keadaan panas (*hot rolled*) atau yang ditarik dalam keadaan dingin (*cold drawn*), polos ataupun ulir.

Tara cara ini membolehkan spiral dihentikan pada tingkat tulangan horisontal terbawah yang menyatu ke dalam kolom. Akan tetapi, jika satu sisi kolom atau lebih tidak dilingkupi oleh balok atau braket (*bracket*), pengikat diperlukan dari penghentian spiral sampai sisi bawah pelat atau panel turun (*drop panel*). Jika balok atau braket melingkupi semua sisi kolom tetapi dengan ketinggian yang berbeda, pengikat harus menerus dari spiral ke tingkat tulangan horisontal balok atau braket terendah yang menyatu ke dalam kolom. Pengikat tambahan ini adalah untuk melingkupi tulangan kolom longitudinal dan porsi batang dari balok yang dibengkokkan ke dalam kolom untuk pengankuran. Lihat juga 9.9.

Spiral harus dipegang dengan kuat di tempat, pada jarak dan susunan yang sesuai, untuk mencegah perpindahan saat pengecoran beton. Tata cara ini telah secara tradisional mensyaratkan pengatur spasi (*spacers*) untuk memegang rangka spiral pabrikan di tempat tetapi telah diubah dalam *ACI Code* 1989 untuk membolehkan metoda instalasi alternatif. Jika pengatur spasi digunakan, hal berikut ini mungkin dipakai untuk panduan: Untuk diameter batang atau kawat spiral lebih kecil dari 16 mm, minimum dua pengatur spasi harus digunakan untuk diameter spiral kurang dari 0,5 m, tiga pengatur spasi untuk diameter spiral 0,5 m sampai 0,75 m, dan empat pengatur spasi untuk diameter spiral lebih besar dari 0,75 m. Untuk diameter batang atau kawat spiral 16 mm atau lebih besar, minimum tiga pengatur spasi harus digunakan untuk diameter spiral 0,6 m atau lebih kecil, dan empat pengatur spasi untuk diameter spiral lebih besar dari 0,6 m. Spesifikasi proyek atau perjanjian subkontrak harus ditulis dengan jelas yang mencakup penyediaan pengatur spasi atau pengikat lapangan untuk tulangan spiral. Dalam *ACI Code* 1999, persyaratan sambungan dimodifikasi untuk spiral yang diselimuti epoksi dan polos dan untuk memperbolehkan sambungan mekanis.

TATA CARA

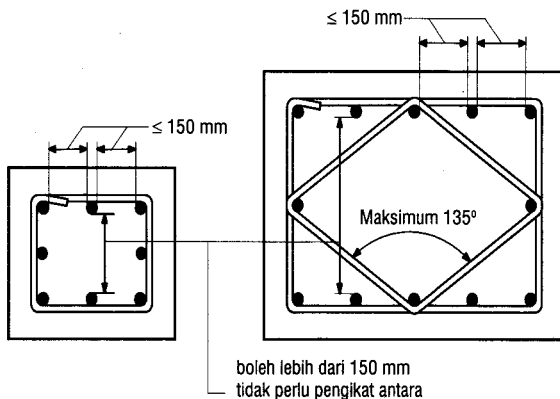
9.10.4.8 — Pada kolom dengan kepala kolom, tulangan spiral harus mencapai ketinggian dimana diameter atau lebar kepala kolom adalah dua kali diameter atau lebar kolom tersebut.

9.10.4.9 — Spiral harus diikat dengan baik di tempatnya, dan betul-betul terletak pada posisi rencananya dengan menggunakan pengatur jarak vertikal.

9.10.4.10 — Untuk batang tulangan atau kawat spiral yang diameternya kurang dari 16 mm, dibutuhkan minimum dua pengatur jarak untuk diameter lingkaran spiral kurang dari 500 mm, tiga pengatur jarak untuk diameter lingkaran spiral 500 sampai 800 mm, dan empat pengatur jarak untuk diameter lingkaran spiral lebih dari 800 mm.

9.10.5 — Senggang pengikat

Penulangan senggang pengikat untuk komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan berikut (Gambar 2):



Gambar 2—Spasi antara tulangan-tulangan longitudinal kolom

9.10.5.1 — Semua batang tulangan non-prategang harus diikat dengan senggang dan senggang ikat lateral, paling sedikit ukuran D-10 untuk tulangan longitudinal lebih kecil dari D-32, dan paling tidak D-13 untuk tulangan D-36, D-44, D-56, dan bundel tulangan longitudinal. Sebagai alternatif boleh juga digunakan kawat ulir atau jaring kawat las dengan luas penampang ekuivalen.

9.10.5.2 — Spasi vertikal senggang dan senggang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang atau kawat senggang/senggang ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tekan tersebut.

9.10.5.3 — Senggang dan senggang ikat harus diatur sedemikian hingga setiap sudut dan tulangan longitudinal yang berselang harus mempunyai dukungan lateral yang didapat dari

PENJELASAN

S9.10.5 — Senggang pengikat

Semua batang tekan longitudinal harus dilingkupi didalam pengikat lateral. Bila batang longitudinal disusun dalam pola bulat, hanya satu pengikat bulat per spasi tertentu disyaratkan. Persyaratan ini dapat dipenuhi dengan pengikat bulat (melingkar) dengan jarak lebih besar dari yang disyaratkan untuk spiral menurut 12.9.3, jarak maksimumnya sama dengan spasi pengikat yang disyaratkan.

ACI Code 1956 mensyaratkan “pendukung lateral ekuivalen dengan yang disediakan oleh pengikat bersudut 90-derajat,” untuk setiap batang vertikal. Persyaratan pengikat tersebut dibebaskan dalam *ACI Code* 1963 dengan meningkatkan sudut lingkup yang diijinkan dari 90 menjadi 135 derajat dan membebaskan batang-batang yang berlokasi didalam jarak bersih 150 mm di setiap sisi sepanjang pengikat dari batang-batang yang diikat dengan baik (lihat Gambar 2). Hasil pengujian^{9,14} yang terbatas pada kolom skala penuh, dibebani secara aksial, pakai pengikat yang mengandung batang dengan panjang penuh (tanpa sambungan) menunjukkan tidak ada perbedaan yang berarti antara kekuatan ultimat kolom dengan persyaratan pengikat penuh dan yang tak ada pengikatnya sama sekali.

Karena batang yang disambung-lewatkan dan batang bundel tidak termasuk dalam hasil uji dari Referensi 9.14, adalah bijaksana untuk menyediakan satu set pengikat pada setiap ujung batang yang disambung-lewatkan (*lap spliced*), diatas dan dibawah sambungan tumpuan-ujung, dan dengan spasi minimum langsung dibawah daerah miring batang yang dibengkokkan miring (*offset*).

Kait pengikat standar dimaksudkan untuk digunakan pada batang ulir saja, dan harus diselang-seling bilamana mungkin. Lihat 9.9.

Batang atau kawat yang digulung secara menerus dapat dipakai sebagai pengikat asalkan jarak dan luasnya paling sedikit ekuivalen dengan luasan dan spasi pengikat yang

TATA CARA

sudut sebuah sengkang atau kait ikat yang sudut dalamnya tidak lebih dari 135° dan tidak boleh ada batang tulangan di sepanjang masing-masing sisi sengkang atau sengkang ikat yang jarak bersihnya lebih dari 150 mm terhadap batang tulangan yang didukung secara lateral. Jika tulangan longitudinal terletak di sekeliling perimeter suatu lingkaran, maka sengkang berbentuk lingkaran penuh dapat dipergunakan.

9.10.5.4 — Sengkang dan sengkang ikat harus diletakkan secara vertikal tidak lebih dari $1/2$ jarak spasi sengkang dan sengkang ikat di atas fondasi telapak atau lantai pada tiap tingkat, sedangkan di bawah tulangan horizontal terbawah dari panel atau drop panel yang berada di atas harus berjarak tidak lebih dari $1/2$ jarak spasi sengkang.

9.10.5.5 — Jika terdapat balok atau konsol pendek yang merangka pada keempat sisi suatu kolom, sengkang dan sengkang ikat boleh dihentikan pada lokasi tidak lebih dari 75 mm di bawah tulangan terbawah dari balok atau konsol pendek yang paling kecil dimensi vertikalnya.

9.11 — Penulangan lateral untuk komponen struktur lentur

9.11.1 — Tulangan tekan balok harus diikat dengan sengkang atau sengkang ikat yang memenuhi ketentuan ukuran dan jarak spasi menurut 9.10.5 atau dengan jaring kawat las yang mempunyai luas penampang ekuivalen. Sengkang atau sengkang ikat tersebut harus disediakan di sepanjang daerah yang membutuhkan tulangan tekan.

9.11.2 — Tulangan lateral untuk komponen lentur pada struktur rangka yang menerima tegangan bolak-balik atau yang mengalami torsi pada perletakan harus terdiri dari sengkang tertutup, sengkang ikat tertutup, atau tulangan spiral yang menerus di sekeliling tulangan lentur.

9.11.3 — Sengkang ikat atau sengkang tertutup boleh dibentuk dalam satu unit dengan cara menumpang-tindihkan ujung-ujung kait sengkang standar atau sengkang ikat mengelilingi tulangan longitudinal, atau terbuat dari satu atau dua unit yang disambung lewatkan dengan sambungan lewatkan sepanjang $1,3l_d$, atau diangkurkan sesuai dengan 14.13.

9.12 — Tulangan susut dan suhu

9.12.1 — Pada pelat struktural dimana tulangan lenturnya terpasang dalam satu arah saja, harus disediakan tulangan susut dan suhu yang arahnya tegak lurus terhadap tulangan lentur tersebut.

PENJELASAN

terpisah. Pengangkurkan pada ujung batang atau kawat gulung yang menerus harus dengan kait standar seperti untuk batang terpisah atau dengan satu putaran tambahan berpola pengikat. Batang atau kawat gulung menerus yang bulat dianggap spiral jika memenuhi 9.10.4, jika tidak maka dianggap pengikat biasa.

S9.10.5.5 — Dengan *ACI Code* 1983, perkataan pasal ini telah dimodifikasi untuk menjelaskan bahwa pengikat dapat dihentikan hanya bila elemen merangka ke dalam semua empat sisi kolom bujursangkar dan persegi; untuk kolom bulat atau poligon, elemen yang seperti itu merangka ke dalam kolom dari empat arah.

S9.11 — Penulangan lateral untuk komponen struktur lentur

S9.11.1 — Tulangan tekan dalam balok dan girder harus dilingkupi untuk mencegah tekuk; persyaratan serupa untuk pelingkupan yang seperti itu pada intinya tetap tidak berubah sepanjang beberapa edisi *ACI Code*, kecuali untuk klarifikasi yang kecil.

S9.12 — Tulangan susut dan suhu

S9.12.1 — Tulangan susut dan suhu disyaratkan dengan sudut tegak lurus terhadap tulangan utama untuk meminimumkan retak dan untuk mengikat struktur secara bersama untuk menjamin bekerjanya seperti yang diasumsikan didalam desain. Ketentuan pasal ini

TATA CARA

9.12.1.1 — Tulangan susut dan suhu harus disediakan berdasarkan ketentuan pada 9.12.2 atau 9.12.3.

9.12.1.2 — Bila pergerakan akibat susut dan suhu terkekang, maka persyaratan pada 10.2.4 dan 11.2.3 harus dipertimbangkan.

9.12.2 — Tulangan ulir yang digunakan sebagai tulangan susut dan suhu harus memenuhi ketentuan berikut:

9.12.2.1 — Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

(a) Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir Mutu 300..... 0,0020

(b) Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) Mutu 400 0,0018

(c) Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35% $0,0018 \times 400/f_y$

9.12.2.2 — Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau 450 mm.

9.12.2.3 — Bila diperlukan, tulangan susut dan suhu pada semua penampang harus mampu mengembangkan kuat leleh tarik f_y sesuai dengan ketentuan pada Pasal 14.

9.12.3 — Tendon prategang sesuai 5.5.5 yang digunakan sebagai tulangan susut dan suhu harus mengikuti ketentuan berikut:

9.12.3.1 — Tendon harus diproporsikan untuk memberikan suatu tegangan tekan rata-rata minimum sebesar 1,0 MPa pada luas penampang beton bruto dengan menggunakan prategang efektif, setelah kehilangan tegangan, sesuai dengan ketentuan 20.6.

PENJELASAN

dimaksudkan untuk pelat struktural saja; tidak dimaksudkan untuk pelat yang langsung didukung tanah.

S9.12.1.2 — Luasan tulangan susut dan suhu yang disyaratkan oleh 9.12 telah memenuhi dimana pergerakan susut dan suhu diijinkan untuk terjadi. Untuk kasus dimana dinding struktur atau kolom yang besar memberikan kekangan yang berarti terhadap pergerakan susut dan suhu, mungkin perlu untuk meningkatkan jumlah tulangan yang tegak lurus terhadap tulangan lentur dalam 9.12.1.2 (lihat Referensi 9.15). Baik tulangan atas maupun bawah adalah efektif di dalam mengontrol retak. Urutan kontrol selama perioda pelaksanaan konstruksi, yang mengijinkan susut awal terjadi tanpa mengakibatkan kenaikan tegangan, juga efektif didalam mereduksi retak yang diakibatkan oleh kekangan.

S9.12.2 — Jumlah yang ditetapkan untuk batang ulir dan jaring kawat las adalah empirik tetapi secara memuaskan telah digunakan selama bertahun-tahun. Sambungan dan angkur ujung tulangan susut dan suhu harus didesain untuk kuat leleh penuh yang ditetapkan sesuai dengan 14.1, 14.15, 14.18, dan 14.19.

S9.12.3 — Persyaratan tulangan prategang telah diseleksi untuk memberikan gaya efektif pada pelat kira-kira sama dengan gaya kuat leleh untuk tulangan susut dan suhu non-prategang. Jumlah prategang ini, 1 MPa pada luasan beton bruto (*gross*), secara sukses telah digunakan pada sejumlah besar proyek. Bila spasi tendon prategang yang digunakan untuk tulangan susut dan suhu melampaui 1,4 m, tulangan lekatan tambahan diperlukan pada tepi pelat dimana gaya prategang diterapkan dalam upaya untuk cukup memperkuat luasan antara tepi pelat dan titik dimana

TATA CARA

9.12.3.2 — Spasi tendon tidak boleh lebih dari 2 m.

9.12.3.3 — Bila spasi antar tendon lebih dari 1,4 m, di antara tendon-tendon yang terletak pada tepi pelat harus disediakan tambahan tulangan non-prategang yang memenuhi 9.12.2 yang dipasang pada daerah dari tepi pelat sampai sejauh jarak spasi tendon.

9.13 — Tulangan khusus untuk integritas struktur

9.13.1 — Dalam pendetailan penulangan dan sambungan-sambungan, komponen-komponen struktur harus dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan untuk meningkatkan integritas struktur secara menyeluruh.

PENJELASAN

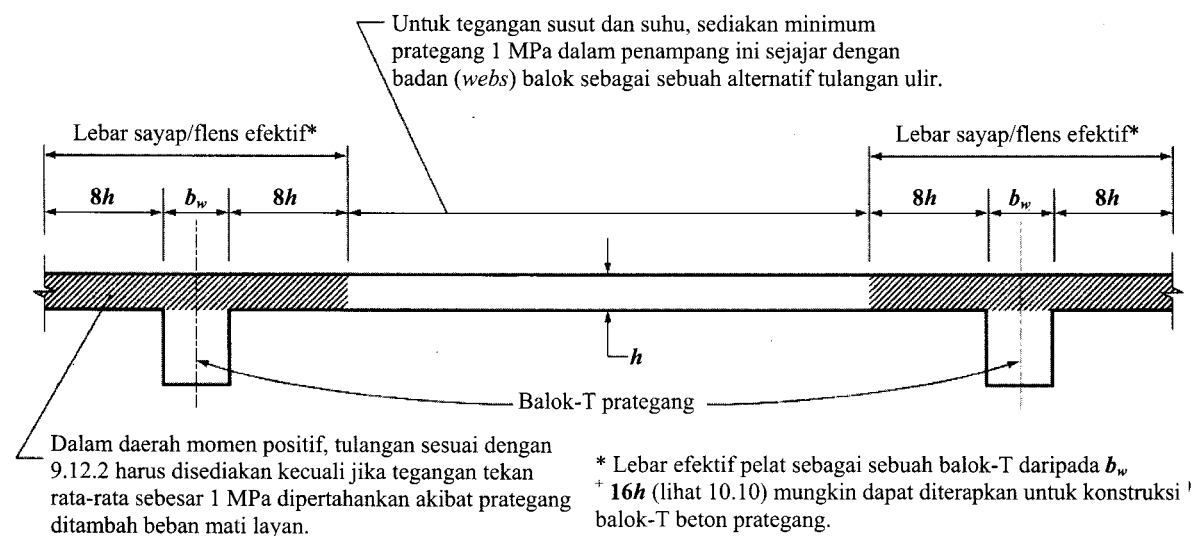
tegangan tekan di belakang angkur individu telah cukup menyebar sehingga pelat tersebut tertekan secara seragam. Penerapan ketentuan 9.12.3 pada konstruksi balok dan pelat pasca-tarik cetak setempat monolit digambarkan dalam Gambar S9.12.3.

Tendon yang dipakai untuk tulangan susut dan suhu harus diposisikan dalam arah vertikal di dalam pelat sedekat mungkin ke pusat pelat yang dapat dipraktekkan. Dalam kasus dimana tendon susut dan suhu digunakan untuk mendukung tendon utama, variasi dari pusat pelat diijinkan; akan tetapi, resultan tendon susut dan suhu harus tidak jatuh di luar daerah inti (*kern*) pelat.

Perencana harus mengevaluasi efek perpendekan pelat untuk memastikan aksi yang sesuai. Dalam kebanyakan kasus, tingkat prategang rendah yang direkomendasikan harus tidak mengakibatkan kesulitan dalam struktur yang didetail secara benar. Perhatian khusus mungkin diperlukan bilamana pengaruh suhu menjadi signifikan.

S9.13 — Tulangan khusus untuk integritas struktur

Pengalaman telah menunjukkan bahwa integritas struktur keseluruhan bisa sangat ditingkatkan dengan sedikit perubahan dalam pendetailan tulangan. Hal ini merupakan tujuan pasal tata cara ini untuk memperbaiki kelebihan (*redundancy*) dan daktilitas dalam struktur agar dalam kejadian kerusakan pada elemen pendukung utama atau kejadian pembebanan yang tak normal, kerusakan yang diakibatkan dapat dibatasi pada daerah yang relatif kecil dan struktur tersebut akan mempunyai peluang yang lebih baik untuk mempertahankan stabilitas keseluruhannya.



Gambar S9.12.3—Prategang yang digunakan untuk susut dan suhu

TATA CARA

9.13.1.1 — Pada konstruksi balok berusuk, paling tidak terdapat satu batang tulangan bawah yang menerus atau harus disambung lewat di atas tumpuan dengan menggunakan teknik sambungan lewatan tarik sepanjang $1,0l_d$ dan pada tumpuan yang tidak menerus diangkurkan dengan suatu kait standar.

9.13.1.2 — Balok yang berada pada perimeter struktur harus memiliki paling tidak seperenam dari tulangan momen negatif yang diperlukan pada tumpuan dan seperempat dari tulangan momen positif yang diperlukan di tengah bentang yang dibuat menerus ke sekeliling perimeter struktur dan diikat dengan sengkang tertutup, atau sengkang yang diangkurkan di sekeliling tulangan momen negatif dengan kait yang memiliki tekukan paling tidak 135° . Sengkang tidak perlu diteruskan ke daerah *joint*. Bila diperlukan sambungan lewatan, kebutuhan kontinuitas dapat diberikan melalui penempatan sambungan lewatan tulangan atas pada tengah bentang dan sambungan lewatan tulangan bawah dekat atau pada tumpuan dengan sambungan lewatan sepanjang $1,0l_d$.

9.13.1.3 — Pada balok yang bukan balok perimeter, bila tidak menggunakan sengkang tertutup, paling tidak seperempat dari luas tulangan momen positif yang diperlukan di tengah bentang harus dibuat menerus atau disambung lewatkan di atas tumpuan dengan menggunakan teknik sambungan lewatan tarik sepanjang $1,0l_d$ dan pada tumpuan yang tidak menerus harus diangkur dengan suatu kait standar.

9.13.1.4 — Untuk konstruksi pelat dua arah, lihat 15.3.8.5.

9.13.2 — Untuk konstruksi beton pracetak, ikatan tarik harus dipasang pada arah tegak, memanjang, melintang, dan di sekeliling perimeter struktur, untuk mengikat dan menyatukan elemen-elemen pracetak secara efektif. Dalam hal ini, ketentuan pada 18.5 harus dipenuhi.

9.13.3 — Untuk konstruksi pelat angkat lihat 15.3.8.6 dan 20.12.6.

PENJELASAN

S9.13.1.1-4 — Dengan kerusakan pada pendukung, tulangan atas yang menerus melewati pendukung, tetapi tidak dikekang dengan sengkang, akan cenderung tertarik putus keluar dari beton dan tidak akan menghasilkan aksi katenari (*catenary*) yang diperlukan untuk menjembatani pendukung yang rusak. Dengan meneruskan sebagian tulangan bawah, aksi katenari bisa dihasilkan.

Dengan mensyaratkan tulangan atas dan bawah menerus dalam balok keliling atau sepanjang perimeter (*spandrel*) akan memberikan pengikat menerus di sekeliling struktur. Hal ini tidak dimaksudkan untuk mensyaratkan pengikat tarik dari tulangan menerus dengan ukuran konstan yang mengelilingi keliling struktur keseluruhan, tetapi hanya untuk mensyaratkan bahwa setengah dari tulangan lentur atas yang diperlukan menerus melewati titik belok oleh 14.12.3 harus lebih jauh diteruskan ke sambungan-lewatan di tengah bentang. Hal yang serupa, tulangan bawah yang disyaratkan menerus ke dalam pendukung oleh 14.11.1 harus dibuat menerus atau disambung-lewatkan dengan tulangan bawah dari bentang yang bersebelahan. Jika ketinggian balok yang menerus berubah di pendukungnya, tulangan bawah dalam komponen struktur yang lebih tinggi harus dihentikan dengan kait standar dan tulangan bawah dalam komponen struktur yang lebih rendah harus diteruskan ke dalam dan disalurkan penuh dalam komponen struktur yang lebih tinggi.

S9.13.2 — Tata cara ini mensyaratkan pengikat tarik untuk semua ketinggian bangunan beton pracetak. Detail-detail harus menyediakan sambungan untuk menahan beban yang diterapkan. Detail sambungan yang tergantung semata-mata pada friksi akibat gaya gravitasi tidak diijinkan.

Detail sambungan harus disusun untuk meminimumkan potensi terhadap retak akibat pergerakan rangkai, susut dan suhu yang terkekang. Sebagai informasi mengenai persyaratan sambungan dan pendetailan, lihat Referensi 9.16.

Referensi 9.17 merekomendasikan persyaratan pengikat minimum untuk bangunan dinding penumpu beton pracetak.

PASAL 10 — ANALISIS DAN PERENCANAAN

TATA CARA

10.1 — Perencanaan

Perencanaan komponen struktur beton bertulang mengikuti ketentuan sebagai berikut:

10.1.1 — Semua komponen struktur harus direncanakan cukup kuat sesuai dengan ketentuan yang dipersyaratkan dalam tata cara ini, dengan menggunakan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ yang ditentukan dalam 11.2 dan 11.3.

10.1.2 — Komponen struktur beton bertulang non-prategang boleh direncanakan dengan menggunakan metode beban kerja dan tegangan izin sesuai dengan ketentuan dalam Pasal 24.

10.2 — Pembebanan

Prosedur dan asumsi dalam perencanaan serta besarnya beban rencana mengikuti ketentuan berikut ini:

10.2.1 — Ketentuan mengenai perencanaan dalam tata cara ini didasarkan pada asumsi bahwa struktur direncanakan untuk memikul semua beban kerjanya.

10.2.2 — Beban kerja diambil berdasarkan SNI 03-1727-1989-F, "Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung", atau penggantinya.

PENJELASAN

S10.1 — Perencanaan

S10.1.1 — Metoda desain kekuatan mensyaratkan beban layan atau momen dan gaya internal terkait untuk ditingkatkan dengan faktor-faktor beban yang dispesifikasikan (kuat perlu) dan kuat nominal yang dihitung untuk direduksi dengan faktor-faktor reduksi kekuatan yang dispesifikasikan ϕ (kuat desain).

S10.1.2 — Metoda desain alternatif, yang diulas dalam Pasal 25, serupa dengan metoda desain tegangan kerja dari *ACI Building Code* 1963. Persyaratan kemampuan layan umum tata cara ini, seperti persyaratan untuk defleksi/lendutan dan kontrol retak harus dipenuhi baik pada penggunaan metoda desain kekuatan dari tata cara ini maupun metoda desain alternatif dari Pasal 25.

Meskipun komponen struktur prategang tidak akan didesain menurut ketentuan metoda desain alternatif, Pasal 20 mensyaratkan asumsi tegangan-regangan linier untuk menghitung tegangan beban layan dan tegangan saat transfer prategang untuk investigasi perilaku pada saat kondisi layan, sementara itu menggunakan metoda desain kekuatan untuk menghitung kuat lentur (lihat 20.7).

S10.2 — Pembebanan

Ketentuan-ketentuan dalam tata cara ini adalah untuk beban-beban hidup, angin, dan gempa seperti yang direkomendasikan dalam "*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*," (ASCE 7), dari *American Society of Civil Engineers* (ASCE) (sebelumnya ANSI A58.1). Jika beban layan dispesifikasikan oleh tata cara bangunan umum (dimana ACI 318 merupakan bagiannya) berbeda dari beban layan ASCE 7, maka tata cara bangunan umum menentukan. Akan tetapi, jika sifat beban yang terkandung dalam tata cara bangunan umum berbeda sekali dari beban ASCE 7, maka beberapa ketentuan tata cara ini akan membutuhkan modifikasi untuk merefleksikan perbedaan tersebut.

Atap harus didesain dengan kemiringan yang cukup atau lawan-lendut (*camber*) untuk menjamin drainase yang cukup dengan memperhitungkan semua defleksi atap jangka-panjang akibat beban mati, atau beban tersebut harus ditingkatkan untuk memperhitungkan semua kemungkinan akumulasi air. Jika defleksi komponen struktur atap dapat menimbulkan genangan air yang disertai dengan defleksi tambahan dan genangan tambahan, desainnya harus menjamin bahwa proses ini dengan

TATA CARA

10.2.3 — Dalam perencanaan terhadap beban angin dan gempa, seluruh bagian struktur yang membentuk kesatuan harus direncanakan berdasarkan tata cara ini dan juga harus memenuhi SNI 03-1726-1989, "*Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung*", atau penggantinya.

10.2.4 — Harus pula diperhatikan pengaruh dari gaya prategang, beban kran, vibrasi, kejut, susut, perubahan suhu, rangkai, perbedaan penurunan fondasi, dan beban khusus lainnya yang mungkin bekerja.

10.3 — Metode analisis

Analisis komponen struktur harus mengikuti ketentuan berikut:

10.3.1 — Semua komponen struktur rangka atau struktur menerus direncanakan terhadap pengaruh maksimum dari beban terfaktor yang dihitung sesuai dengan metode elastis, atau mengikuti pengaturan khusus menurut ketentuan 10.4. Perencanaan juga dapat dilakukan berdasarkan metode yang lebih sederhana menurut 10.6 hingga 10.9.

10.3.2 — Kecuali untuk beton prategang, metode pendekatan untuk analisis rangka portal boleh digunakan untuk bangunan dengan tipe konstruksi, bentang, dan tinggi tingkat yang umum.

10.3.3 — Sebagai alternatif, metode pendekatan berikut ini dapat digunakan untuk menentukan momen lentur dan gaya geser dalam perencanaan balok menerus dan pelat satu arah, yaitu pelat beton bertulang dimana tulangnya hanya direncanakan untuk memikul gaya-gaya dalam satu arah, selama:

10.3.3.1 — Jumlah minimum bentang yang ada haruslah minimum dua,

10.3.3.2 — Memiliki panjang-panjang bentang yang tidak terlalu berbeda, dengan rasio panjang bentang terbesar terhadap panjang bentang terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 1,2,

10.3.3.3 — Beban yang bekerja merupakan beban terbagi

PENJELASAN

sendirinya menjadi pembatas.

S10.2.3 — Semua dinding beton bertulang yang monolit dengan elemen struktur lain dianggap sebagai sebuah "bagian integral". Dinding partisi bisa ataupun bukan merupakan bagian integral struktur. Jika dinding partisi dapat dipindahkan, sistem penahan beban lateral primer harus menyediakan semua tahanan yang diperlukan tanpa kontribusi dari partisi yang dapat dipindahkan tersebut. Akan tetapi, pengaruh dari semua dinding partisi yang dihubungkan ke struktur harus diperhitungkan dalam analisis struktur karena pengaruh tersebut dapat mengakibatkan gaya desain bertambah di beberapa atau semua elemen. Ketentuan khusus untuk desain seismik/gempa diberikan dalam Pasal 23.

S10.2.4 — Informasi terus bertambah mengenai besarnya berbagai pengaruh ini, khususnya pengaruh rangkai dan susut kolom pada struktur tinggi,^{10.1} dan pada prosedur untuk memasukkan gaya yang dihasilkan dari pengaruh ini didalam desain.

S10.3 — Metode analisis

S10.3.1 — Beban terfaktor adalah beban layan dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Jika digunakan metoda desain alternatif dari Pasal 25, beban yang dipakai dalam desain adalah beban layan (faktor beban sebesar satu). Untuk kedua metoda desain kekuatan dan metoda desain alternatif, analisis elastis digunakan untuk mendapatkan momen, geser, dan reaksi.

S10.3.3 — Momen dan geser pendekatan memberikan nilai konservatif untuk kondisi tersebut jika komponen struktur lentur merupakan bagian dari sebuah rangka atau konstruksi yang menerus. Karena pola beban yang menghasilkan nilai kritis untuk momen pada kolom dari rangka berbeda dari yang untuk momen negatif maksimum pada balok, momen kolom harus dievaluasi secara terpisah.

TATA CARA

PENJELASAN

rata,

10.3.3.4 — Beban hidup per satuan panjang tidak melebihi tiga kali beban mati per satuan panjang, dan

10.3.3.5 — Komponen struktur adalah prismatis.

Momen positif	
Bentang ujung	
Ujung tak menerus tak terkekang	$w_u l_n^2 / 11$
Ujung tak menerus menyatu	
dengan pendukung	$w_u l_n^2 / 14$
Bentang interior	
	$w_u l_n^2 / 16$

Momen negatif pada muka eksterior	
pendukung interior pertama	
Dua bentang	
	$w_u l_n^2 / 9$
Lebih dari dua bentang	
	$w_u l_n^2 / 10$

Momen negatif pada muka lainnya	
dari pendukung interior	
	$w_u l_n^2 / 11$

Momen negatif pada muka dari semua	
pendukung untuk	
Pelat dengan bentang tidak lebih	
dari 3 m, dan balok dengan rasio	
dari jumlah kekakuan kolom terhadap	
kekakuan balok melebihi delapan	
pada masing-masing tumpuan	
	$w_u l_n^2 / 12$

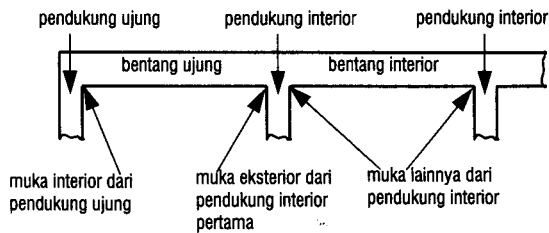
Momen negatif pada muka interior dari	
pendukung eksterior untuk komponen	
struktur yang dibuat menyatu dengan	
pendukung	
Dimana pendukung adalah balok	
keliling (<i>spandrel</i>)	$w_u l_n^2 / 24$
Dimana pendukung adalah kolom	
	$w_u l_n^2 / 16$

Geser pada komponen struktur ujung	
pada muka dari pendukung interior	
pertama	
	$1,15 w_u l_n / 2$

Geser pada muka dari semua pendukung	
lainnya	
	$w_u l_n / 2$

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar 3—Terminologi balok/pelat satu arah di atas banyak tumpuan

10.4 — Redistribusi momen negatif pada balok lentur non-prategang menerus

10.4.1 — Bila tidak digunakan nilai momen pendekatan maka momen negatif tumpuan yang didapat dari metode perhitungan elastis pada balok-balok lentur non-prategang menerus untuk semua konfigurasi pembebanan dapat direduksi atau diperbesar tidak lebih dari nilai berikut ini:

$$\left(1 - \frac{\rho - \rho'}{\rho_b}\right) \times 20\%$$

Kriteria redistribusi momen untuk komponen struktur beton prategang dapat dilihat pada 20.10.4.

10.4.2 — Momen negatif yang telah dimodifikasi harus digunakan untuk menghitung momen lapangan dari bentang yang ditinjau.

10.4.3 — Redistribusi momen negatif hanya boleh dilakukan bila penampang yang momennya direduksi direncanakan sedemikian hingga $\rho - \rho'$ tidak melebihi $0,50\rho_b$, dimana

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3)$$

S10.4 — Redistribusi momen negatif pada balok lentur non-prategang menerus

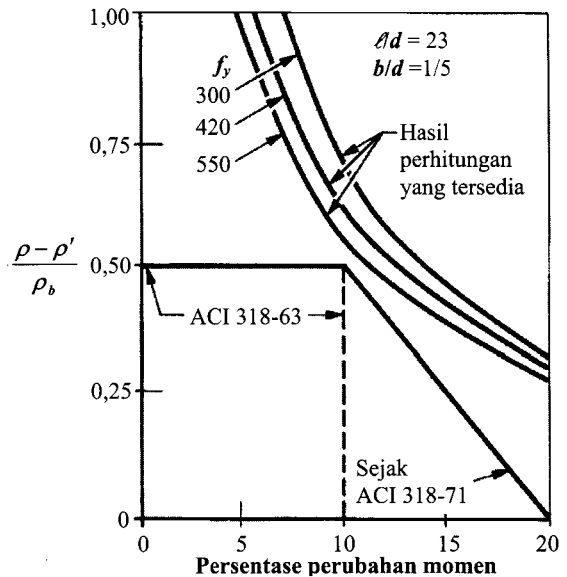
Redistribusi momen tergantung pada daktilitas yang cukup di daerah sendi plastis. Daerah sendi plastis ini terbentuk di titik momen maksimum dan mengakibatkan pergeseran pada diagram momen elastis. Biasanya hasilnya adalah reduksi pada nilai momen positif dari momen positif yang dihitung dengan analisis elastis. Karena momen negatif ditentukan dari sebuah susunan pembebanan dan momen positif dari susunan pembebanan lainnya, setiap penampang mempunyai kapasitas cadangan yang tidak sepenuhnya dimanfaatkan untuk semua kondisi pembebanan. Sendi plastis tersebut memberikan pemanfaatan kapasitas penuh irisan penampang komponen struktur lentur yang lebih banyak pada saat beban ultimat.

Dengan menggunakan nilai regangan beton ultimat yang konservatif dan panjang sendi plastis yang diturunkan dari hasil pengujian yang ekstensif, komponen struktur lentur dengan kapasitas rotasi yang kecil telah dianalisis untuk redistribusi momen yang bervariasi dari 10 sampai 20 persen, tergantung pada rasio tulangannya. Hasilnya didapati konservatif (lihat Gambar S10.4). Studi oleh Cohn^{10.2} dan Mattock^{10.3} mendukung kesimpulan ini dan menunjukkan bahwa retak dan defleksi balok yang didesain untuk redistribusi momen tidak jauh lebih besar pada saat beban layan daripada untuk balok yang didesain dengan distribusi momen teori elastis. Studi ini juga telah menunjukkan bahwa tersedia kapasitas rotasi yang cukup untuk redistribusi momen yang diperkenankan oleh tata cara ini jika komponen struktur tersebut memenuhi persyaratan tata cara ini. Tata cara ini mempertahankan batasan redistribusi yang sama seperti *ACI Code* atau edisi tata cara ini yang sebelumnya.

Redistribusi momen tidak berlaku pada komponen struktur yang didesain dengan metoda desain alternatif dari Pasal 25; juga redistribusi momen tidak dapat digunakan untuk sistem pelat yang didesain dengan Cara Perencanaan Langsung (*Direct Design Method*) (lihat 15.6.1.7).

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S10.4—Redistribusi momen yang diijinkan untuk kapasitas rotasi minimum

10.5 — Modulus elastisitas

Nilai modulus elastisitas beton, baja tulangan, dan tendon ditentukan sebagai berikut:

10.5.1 — Untuk nilai w_c di antara 1500 kg/m^3 dan 2500 kg/m^3 , nilai modulus elastisitas beton E_c dapat diambil sebesar $w_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f'_c}$ (dalam MPa). Untuk beton normal E_c dapat diambil sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$.

10.5.2 — Modulus elastisitas untuk tulangan non-prategang E_s boleh diambil sebesar 200.000 MPa .

10.5.3 — Modulus elastisitas untuk tendon prategang, E_s , ditentukan melalui pengujian atau dari data pabrik.

10.6 — Kekakuan

10.6.1 — Setiap asumsi yang dapat dipertanggungjawabkan boleh digunakan untuk menghitung kekakuan lentur dan torsi dari sistem kolom, dinding, lantai, dan atap. Asumsi tersebut harus digunakan secara konsisten dalam seluruh analisis.

S10.5 — Modulus elastisitas

S10.5.1 — Studi-studi yang membawa pada ekspresi untuk modulus elastisitas beton dalam 10.5.1 diringkas dalam Referensi 10.4 dimana E_c didefinisikan sebagai kemiringan garis yang ditarik dari tegangan nol ke tegangan tekan sebesar $0,45f'_c$. Modulus untuk beton adalah sensitif terhadap modulus agregat dan bisa berbeda dari nilai yang dispesifikasikan. Nilai yang terukur secara tipikal berkisar dari 120 sampai 80 persen dari nilai yang dispesifikasikan. Metoda-metoda untuk menentukan modulus Young untuk beton dijelaskan dalam Referensi 10.5.

S10.6 — Kekakuan

S10.6.1 — Idealnya, kekakuan komponen struktur EI dan GJ harus merefleksikan derajat retak dan aksi inelastis yang telah terjadi disepanjang setiap komponen struktur sebelum leleh. Akan tetapi, kompleksitas yang terlibat dalam pemilihan kekakuan yang berbeda untuk semua komponen struktur rangka akan membuat analisis rangka tidak efisien didalam pekerjaan desain. Asumsi yang lebih

TATA CARA

PENJELASAN

sederhana diperlukan untuk mendefinisikan kekakuan lentur dan torsi/puntir.

Untuk rangka berpengaku (*braced*), nilai kekakuan relatif adalah penting. Dua asumsi yang biasanya adalah dengan menggunakan nilai *EI* bruto (*gross*) untuk semua komponen struktur atau, dengan menggunakan setengah *EI* bruto badan balok untuk balok dan *EI* bruto untuk kolom.

Untuk rangka yang bebas terhadap goyangan, sebuah estimasi *EI* yang realistis adalah diinginkan dan harus digunakan jika analisis orde-kedua dilaksanakan. Panduan untuk pemilihan *EI* untuk kasus ini diberikan dalam komentar untuk 12.11.1.

Dua kondisi yang menentukan apakah perlu untuk memperhitungkan kekakuan torsi didalam analisis suatu struktur tertentu: (1) besaran relatif kekakuan torsi dan lentur, dan (2) apakah torsi disyaratkan untuk kesetimbangan struktur (torsi kesetimbangan) atau akibat puntiran komponen struktur untuk mempertahankan kompatibilitas deformasi (torsi kompatibilitas). Dalam kasus torsi kompatibilitas, kekakuan torsi dapat diabaikan. Untuk kasus yang melibatkan torsi kesetimbangan, kekakuan torsi harus diperhitungkan.

10.6.2 — Pengaruh dari voute harus diperhitungkan dalam menentukan momen dan dalam merencanakan komponen struktur.

S10.6.2 — Kekakuan dan koefisien momen ujung-jepit untuk komponen struktur yang mempunyai hauns (*haunched*) dapat diperoleh dari Referensi 10.6.

10.7 — Panjang bentang

Panjang bentang komponen struktur ditentukan menurut butir-butir berikut:

S10.7 — Panjang bentang

10.7.1 — Panjang bentang dari komponen struktur yang tidak menyatu dengan struktur pendukung dihitung sebagai bentang bersih ditambah dengan tinggi dari komponen struktur. Besarnya bentang tersebut tidak perlu melebihi jarak pusat ke pusat dari komponen struktur pendukung yang ada.

Momen balok yang dihitung di pusat pendukung dapat direduksi menjadi momen di muka pendukung untuk desain balok. Referensi 10.7 menyediakan sebuah metoda yang dapat diterima untuk mereduksi momen di pusat pendukung menjadi momen di muka pendukung.

10.7.2 — Dalam analisis untuk menentukan momen pada rangka atau struktur menerus, panjang bentang harus diambil sebesar jarak pusat ke pusat komponen struktur pendukung.

10.7.3 — Untuk balok yang menyatu dengan komponen struktur pendukung, momen pada bidang muka tumpuan dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan penampang.

10.7.4 — Pelat atau pelat berusuk, yang bentang bersihnya tidak lebih dari 3 m, dan yang dibuat menyatu dengan komponen struktur pendukung dapat dianalisis sebagai pelat menerus di atas banyak tumpuan dengan jarak tumpuan sebesar bentang bersih pelat dan pengaruh lebar struktur balok pendukung dapat diabaikan.

TATA CARA

10.8 — Kolom

10.8.1 — Kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.

10.8.2 — Pada konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentris karena sebab lainnya juga harus diperhitungkan.

10.8.3 — Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu (monolit) dengan komponen struktur lainnya.

10.8.4 — Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai atau atap harus didistribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekangan pada ujung kolom.

10.9 — Pengaturan beban hidup

Beban hidup yang bekerja pada komponen struktur, diatur menurut ketentuan berikut:

10.9.1 — Beban hidup dapat dianggap hanya bekerja pada lantai atau atap yang sedang ditinjau, dan ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut dibuat menyatu (monolit) dengan komponen-struktur lainnya.

10.9.2 — Pengaturan beban hidup dapat dilakukan dengan kombinasi berikut:

10.9.2.1 — Beban mati terfaktor pada semua bentang dengan beban hidup penuh terfaktor yang bekerja pada dua bentang yang berdekatan.

10.9.2.2 — Beban mati terfaktor pada semua bentang dengan beban hidup penuh terfaktor pada bentang yang berselang-seling.

PENJELASAN

S10.8 — Kolom

Pasal 10.8 dibuat dengan maksud untuk memastikan bahwa kombinasi beban aksial dan momen yang paling menentukan dapat diidentifikasi untuk desain.

Pasal 10.8.4 disertakan untuk memastikan bahwa momen pada kolom dapat diketahui dalam desain jika girder telah diproporsikan dengan menggunakan 10.3.3. Momen dalam 10.8.4 mengacu pada perbedaan antara momen dalam bidang vertikal tertentu, yang diterapkan di garis-pusat kolom oleh komponen struktur yang menyatu dengan kolom tersebut.

S10.9 — Pengaturan beban hidup

Untuk menentukan momen dan geser kolom, dinding, dan balok yang diakibatkan oleh beban gravitasi, tata cara ini mengijinkan penggunaan dari sebuah model yang terbatas pada balok di tingkat yang ditinjau dan kolom-kolom di atas dan di bawah tingkat tersebut. Ujung jauh kolom dianggap terjepit untuk tujuan analisis dibawah beban gravitasi. Asumsi ini tidak berlaku pada analisis beban lateral. Akan tetapi dalam analisis untuk beban lateral, metoda penyederhanaan (seperti metoda portal) dapat digunakan untuk mendapatkan momen, geser, dan reaksi untuk struktur yang simetris dan memenuhi asumsi yang digunakan untuk metoda penyederhaan yang seperti itu. Untuk struktur tak simetris dan tingkat tinggi, metoda yang teliti yang mengetahui semua perpindahan struktur harus digunakan.

Perencana diharapkan untuk membuat sekumpulan gaya desain yang paling menentukan dengan menginvestigasi pengaruh-pengaruh beban hidup yang ditempatkan dalam berbagai pola yang kritis.

Kebanyakan metoda analisis pendekatan mengabaikan efek defleksi terhadap geometri dan fleksibilitas aksial. Oleh karena itu, momen balok dan kolom harus dibesarkan untuk kelangsingan kolom sesuai dengan 12.11, 12.12, dan 12.13.

TATA CARA**10.10 — Konstruksi balok-T**

10.10.1 — Pada konstruksi balok-T, bagian sayap dan badan balok harus dibuat menyatu (monolit) atau harus dilekatkan secara efektif sehingga menjadi satu kesatuan.

10.10.2 — Lebar pelat efektif sebagai bagian dari sayap balok-T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

10.10.2.1 — delapan kali tebal pelat, dan

10.10.2.2 — setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

10.10.3 — Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap dari sisi badan tidak boleh lebih dari:

10.10.3.1 — seperduabelas dari bentang balok,

10.10.3.2 — enam kali tebal pelat, dan

10.10.3.3 — setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

10.10.4 — Balok-T tunggal, dimana bentuk T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang dari setengah lebar badan balok, dan lebar efektif sayap tidak lebih dari empat kali lebar badan balok.

10.10.5 — Bila tulangan lentur utama pelat, yang merupakan bagian dari sayap balok-T (terkecuali untuk konstruksi pelat rusuk), dipasang sejajar dengan balok, maka harus disediakan penulangan di sisi atas pelat yang dipasang tegak lurus terhadap balok berdasarkan ketentuan berikut:

10.10.5.1 — Tulangan transversal tersebut harus direncanakan untuk memikul beban terfaktor selebar efektif pelat yang dianggap berperilaku sebagai kantilever. Untuk balok-T tunggal, seluruh lebar dari sayap yang membentang harus diperhitungkan. Untuk balok-T lainnya, hanya bagian pelat selebar efektifnya saja yang perlu diperhitungkan.

10.10.5.2 — Tulangan transversal harus dipasang dengan spasi tidak melebihi lima kali tebal pelat dan juga tidak melebihi 500 mm.

10.11 — Konstruksi pelat rusuk

10.11.1 — Konstruksi pelat rusuk terdiri dari kombinasi monolit sejumlah rusuk dengan jarak beraturan dan pelat atas yang membentang dalam satu arah atau dua arah yang

PENJELASAN**S10.10 — Konstruksi balok-T**

Pasal ini berisi ketentuan yang identik dengan ketentuan *ACI Code* yang terdahulu untuk pembatasan dimensi yang berhubungan dengan perhitungan kekakuan dan lentur. Ketentuan khusus berkaitan dengan balok-T dan komponen struktur berflens lainnya dinyatakan dalam 13.6.1 yang berhubungan dengan torsi.

S10.11 — Konstruksi pelat rusuk

Batasan ukuran dan spasi untuk konstruksi pelat rusuk beton yang memenuhi batasan dari 10.11.1 sampai 10.11.3 didasarkan pada kinerja yang sukses di masa lalu.

TATA CARA

PENJELASAN

ortogonal.

10.11.2 — Rusuk mempunyai lebar minimum 100 mm dan mempunyai tinggi tidak lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya.

10.11.3 — Jarak bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 750 mm.

10.11.4 — Konstruksi pelat rusuk yang tidak memenuhi batasan-batasan pada 10.11.1 hingga 10.11.3 harus direncanakan sebagai pelat dan balok biasa.

10.11.5 — Bila digunakan bahan pengisi permanen berupa lempung bakar atau ubin beton yang mempunyai kuat tekan minimal sama dengan kuat tekan beton yang digunakan pada konstruksi pelat rusuk, maka:

10.11.5.1 — Bagian dinding vertikal dari bahan pengisi yang berhubungan dengan rusuk boleh disertakan dalam perhitungan kuat geser dan kuat lentur negatif. Bagian lain dari bahan pengisi tidak boleh disertakan dalam perhitungan kekuatan.

10.11.5.2 — Tebal pelat di atas bahan pengisi permanen tidak boleh kurang dari seperduabelas jarak bersih antar rusuk dan tidak boleh kurang dari 40 mm.

10.11.5.3 — Pada pelat rusuk satu arah, harus dipasang tulangan pelat dalam arah tegak lurus terhadap rusuk sesuai dengan ketentuan 9.12.

10.11.6 — Bila digunakan cetakan yang dapat dilepaskan atau bahan pengisi tidak memenuhi ketentuan 10.11.5 maka:

10.11.6.1 — Tebal pelat tidak boleh kurang dari seperduabelas jarak bersih antar rusuk dan tidak boleh kurang dari 50 mm.

10.11.6.2 — Tulangan pelat dalam arah tegak lurus terhadap rusuk harus disediakan sesuai dengan perhitungan lentur, dengan memperhatikan beban terpusat, bila ada, tetapi tidak boleh kurang dari jumlah yang diperlukan berdasarkan 9.12.

10.11.7 — Bila ada saluran atau pipa yang ditanam di dalam pelat sesuai dengan ketentuan yang berlaku maka tebal pelat di setiap tempat paling sedikit harus 25 mm lebih besar daripada tebal total saluran atau pipa tersebut. Saluran atau pipa tersebut tidak boleh mengurangi kekuatan konstruksi secara berlebihan.

10.11.8 — Kuat geser beton V_c untuk konstruksi rusuk boleh diambil 10% lebih besar daripada ketentuan yang diberikan

S10.11.3 — Batasan maksimum pada spasi rusuk (*ribs*) diperlukan karena ketentuan khusus mengizinkan kuat geser yang lebih tinggi dan kurangnya perlindungan beton untuk tulangan komponen struktur repetitif yang relatif kecil ini.

S10.11.8 — Kenaikan kuat geser yang diijinkan oleh 10.11.8 dibenarkan dengan dasar dari: (1) kinerja yang

TATA CARA

- Pasal 13. Kuat geser boleh dinaikkan dengan memberi tulangan geser atau dengan memperlebar ujung komponen rusuk.

10.12 — Penutup lantai yang terpisah

Penutup lantai pada komponen struktur diatur sebagai berikut:

10.12.1 — Penutup lantai tidak boleh diperhitungkan sebagai bagian dari komponen struktur bila tidak dipasang secara monolit dengan pelat lantai atau tidak direncanakan sesuai dengan ketentuan Pasal 19.

10.12.2 — Semua penutup lantai beton boleh dianggap sebagai bagian dari selimut beton atau tebal total untuk pertimbangan non-struktural.

PENJELASAN

memuaskan dari konstruksi pelat rusuk dengan kuat geser lebih tinggi yang didesain menurut *ACI Code* yang terdahulu, yang memperbolehkan tegangan geser setara, dan (2) redistribusi beban-lebih lokal ke pelat rusuk disebelahnya.

S10.12 — Penutup lantai yang terpisah

Tata cara ini tidak menetapkan ketebalan tambahan untuk permukaan yang terpakai yang dikenai kondisi pemakaian tidak biasanya. Kebutuhan untuk ketebalan tambahan untuk pemakaian yang tidak biasanya diserahkan kepada keputusan perencana.

Seperti dalam edisi-edisi *ACI Code* yang terdahulu, penyelesaian lantai bisa diperhitungkan untuk tujuan kuat saja jika penyelesaian tersebut dicetak secara monolit dengan pelat lantainya. Ijin diberikan untuk menyertakan penyelesaian yang terpisah pada ketebalan struktur jika aksi komposit yang disediakan sesuai dengan Pasal 19.

Semua penyelesaian lantai dapat dianggap untuk tujuan non-struktural seperti penutup untuk tulangan, perlindungan kebakaran, dll. Akan tetapi, ketentuan harus dibuat untuk menjamin bahwa penyelesaian tidak akan terkelupas, yang mengakibatkan penutup berkurang ketebalannya. Lebih jauh, pertimbangan penyaluran tulangan mensyaratkan penutup beton monolit minimum menurut 9.7.

PASAL 11 — KETENTUAN MENGENAI KEKUATAN DAN KEMAMPUAN LAYAN

TATA CARA

11.1 — Umum

11.1.1 — Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan ketentuan tata cara ini.

11.1.2 — Komponen struktur juga harus memenuhi ketentuan lain yang tercantum dalam tata cara ini untuk menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja.

11.2 — Kuat perlu

11.2.1 — Kuat perlu U untuk menahan beban mati D paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,4D \quad (4)$$

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D , beban hidup L , dan juga beban atap A atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R) \quad (5)$$

11.2.2 — Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D , L , dan W berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:^{1) 2)}

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,6W + 0,5(A \text{ atau } R) \quad (6)$$

Kombinasi beban juga harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup L yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, yaitu:¹⁾

$$U = 0,9D \pm 1,6W \quad (7)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D , L , dan W , kuat perlu U tidak boleh kurang dari Persamaan 5.

PENJELASAN

S11.1 — Umum

Pasal 11 menentukan kondisi-kondisi kuat dasar dan kemampuan layan untuk desain kekuatan komponen-komponen struktur beton.

Syarat dasar untuk desain kekuatan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Kuat rencana} \geq \text{Kuat perlu}$$

$$\phi (\text{Kuat Nominal}) \geq U$$

Pada prosedur desain kekuatan, margin keamanan diadakan dengan mengalikan beban kerja dengan suatu faktor beban dan kuat nominal dengan suatu faktor reduksi kekuatan.

S11.2 — Kuat perlu

Kuat perlu U dinyatakan dalam bentuk-bentuk beban-beban terfaktor, atau momen-momen dan gaya-gaya dalam terkait. Beban-beban terfaktor adalah beban-beban yang ditetapkan oleh tata cara umum pembebanan yang berlaku, kemudian dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai.

Faktor yang dikenakan pada masing-masing beban dipengaruhi oleh tingkat ketelitian sejauh mana pengaruh beban biasanya dapat dihitung dan variasi yang mungkin terjadi pada beban selama umur pakai struktur. Beban mati, karena dapat ditentukan lebih teliti dan tidak terlalu bervariasi, dikenai faktor beban yang lebih rendah daripada beban hidup. Faktor-faktor beban juga memperhitungkan variabilitas dalam analisis struktur yang digunakan untuk menghitung momen-momen dan gaya-gaya geser.

Tata cara ini memberikan faktor-faktor beban untuk kombinasi-kombinasi beban khusus. Dalam memberikan faktor-faktor pada kombinasi beban, beberapa pertimbangan harus diberikan terhadap kemungkinan kejadian yang bersamaan. Walaupun sebagian besar kombinasi beban yang biasanya terjadi sudah tercakup, namun perencana tidak boleh menganggap bahwa semua kasus sudah tercakup.

Perhatian perlu diberikan dalam menentukan U untuk kombinasi-kombinasi pembebanan, dimana sebuah tipe pembebanan dapat menghasilkan pengaruh yang

¹⁾ Faktor beban untuk W boleh dikurangi menjadi 1,3 bilamana beban angin W belum direduksi oleh faktor arah.

²⁾ Faktor beban untuk L boleh direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan, dan semua ruangan yang beban hidup L -nya lebih besar daripada 500 kg/m².

TATA CARA

11.2.3 — Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu U harus diambil sebagai:²⁾

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E \quad (8)$$

atau

$$U = 0,9D \pm 1,0E \quad (9)$$

dalam hal ini nilai E ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI 03-1726-1989-F, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk

PENJELASAN

berlawanan terhadap yang dihasilkan oleh tipe yang lain. Kombinasi-kombinasi beban dengan $0,9D$ secara khusus diperhitungkan untuk kasus dimana beban mati yang lebih tinggi mengurangi pengaruh beban-beban lainnya. Kasus pembebanan ini bisa juga kritis untuk penampang-penampang kolom yang terkendali oleh tegangan tarik. Dalam kasus seperti ini, pengurangan beban aksial dan peningkatan momen dapat menghasilkan kombinasi beban yang kritis.

Pertimbangan harus diberikan pada berbagai kombinasi beban untuk menentukan kondisi desain yang paling kritis. Hal ini menjadi penting bila kekuatan tergantung pada lebih dari satu pengaruh beban, seperti kekuatan untuk kombinasi beban lentur dan aksial atau kuat geser pada komponen-komponen struktur dengan beban aksial.

Bila keadaan khusus memerlukan ketergantungan yang lebih besar pada kekuatan komponen-komponen struktur tertentu daripada yang biasa dijumpai dalam praktik perencanaan pada umumnya, maka pengurangan faktor reduksi kekuatan ϕ yang dipakai atau peningkatan faktor-faktor beban U dapat dilakukan untuk komponen-komponen struktur tersebut.

Persamaan beban angin dalam ASCE 7-98^{1.1} dan IBC 2000^{1.2} memasukkan faktor arah angin yang sama dengan 0,85 untuk bangunan gedung. Faktor beban angin yang terkait dalam persamaan kombinasi beban telah ditingkatkan secara konsisten (yaitu $1,3/0,85 = 1,53$ dan dibulatkan menjadi 1,6). Tata cara ini mengijinkan pemakaian faktor beban sebelumnya yaitu 1,3 bila beban angin rencana diperoleh dari sumber-sumber lain yang tidak memasukkan faktor arah angin.

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung serta referensi lainnya telah merubah gaya-gaya gempa ke tingkat kekuatan, dan telah mengurangi faktor beban gempa menjadi 1,0 (SNI 03-1726-2002^{1.3}; ASCE 7-93^{1.4}; BOCA/NBC 93^{1.5}; SBC 94^{1.6}; UBC 97^{1.7}; dan IBC 2000^{1.2}). Tata cara ini mensyaratkan pemakaian faktor beban yang lain untuk beban gempa, yaitu 1,4, bila gaya gempa yang digunakan adalah gaya gempa pada tingkat layan.

S11.2.3 — Bila pengaruh gempa diperhitungkan dalam perencanaan, maka dipakai Pers. (8) dan (9).

Kombinasi beban untuk gaya gempa tingkat layan adalah

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,4E$$

atau

$$U = 0,9D \pm 1,4E$$

Gaya gempa tingkat kekuatan saat ini ditentukan oleh

TATA CARA

rumah dan gedung”, atau penggantinya.

11.2.4 — Bila ketahanan terhadap tekanan tanah H diperhitungkan dalam perencanaan, maka pada Persamaan 5, 7 dan 9 ditambahkan $1,6H$, kecuali bahwa pada keadaan dimana aksi struktur akibat H mengurangi pengaruh W atau E , maka beban H tidak perlu ditambahkan pada Persamaan 7 dan 9.

11.2.5 — Bila ketahanan terhadap pembebanan akibat berat dan tekanan fluida, F , yang berat jenisnya dapat ditentukan dengan baik, dan ketinggian maksimumnya terkontrol, diperhitungkan dalam perencanaan, maka beban tersebut harus dikalikan dengan faktor beban 1,4, dan ditambahkan pada Persamaan 4, yaitu:

$$U = 1,4(D + F) \quad (10)$$

Untuk kombinasi beban lainnya, beban F tersebut harus dikalikan dengan faktor beban 1,2 dan ditambahkan pada Persamaan 5.

11.2.6 — Bila ketahanan terhadap pengaruh kejut diperhitungkan dalam perencanaan maka pengaruh tersebut harus disertakan pada perhitungan beban hidup L .

PENJELASAN

banyak model tata cara, standar, dan dokumen-dokumen sejenis. Gaya tingkat kekuatan hendaknya tidak langsung dipakai dalam kombinasi beban diatas.

S11.2.4 — Bila pengaruh H akibat tekanan tanah, air tanah, atau tekanan oleh material berbutir dimasukkan dalam perhitungan, persamaan-persamaan kuat perlu menjadi:

$$U = 1,2D + 1,6(L + H) + 0,5(A \text{ atau } R)$$

atau

$$U = 0,9D \pm 1,6W + 1,6H$$

atau

$$U = 0,9D \pm 1,0E + 1,6H$$

dan bila H mengurangi pengaruh W atau E

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R)$$

atau

$$U = 0,9D \pm 1,6W$$

atau

$$U = 0,9D \pm 1,0E$$

S11.2.5 — Pasal ini memberikan aturan untuk memperhitungkan pembebanan akibat berat atau tekanan fluida. Faktor beban untuk pembebanan fluida dengan densitas yang terdefinisi dengan baik dan tinggi maksimum yang dapat dikontrol adalah ekuivalen dengan faktor beban yang dipakai untuk beban mati. Faktor-faktor tereduksi seperti itu tidaklah sesuai bilamana terdapat ketidakpastian yang tinggi pada tekanan, seperti tekanan air tanah, atau ketidakpastian yang berkaitan dengan kedalaman cairan maksimum seperti pada genangan air. Lihat S10.2.

Untuk tekanan fluida yang terdefinisi dengan baik, persamaan kuat perlu menjadi :

$$U = 1,4(D + F)$$

dan untuk kombinasi beban lainnya

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R) + 1,2F$$

S11.2.6 — Bila beban hidup diaplikasikan secara cepat, sebagaimana kasus yang dapat dijumpai pada gedung parkir, lantai dermaga, lantai gudang, ruang lif, dan sebagainya, pengaruh kejut harus diperhitungkan. Dalam semua persamaan, substitusi L menjadi $(L + \text{kejut})$ bila pengaruh kejut harus diperhitungkan.

TATA CARA

11.2.7 — Bila pengaruh struktural T dari perbedaan penurunan fondasi, rangkai, susut, ekspansi beton, atau perubahan suhu sangat menentukan dalam perencanaan, maka kuat perlu U minimum harus sama dengan:

$$U = 1,2(D + T) + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R) \quad (11)$$

Perkiraan atas perbedaan penurunan fondasi, rangkai, susut, ekspansi beton, atau perubahan suhu harus didasarkan pada pengkajian yang realistis dari pengaruh tersebut selama masa pakai.

11.2.8 — Untuk perencanaan daerah pengangkutan pasca tarik harus digunakan faktor beban 1,2 terhadap gaya penarikan tendon maksimum.

11.2.9 — Jika pada bangunan terjadi benturan yang besarnya P , maka pengaruh beban tersebut dikalikan dengan faktor 1,2.

11.3 — Kuat rencana

11.3.1 — Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangannya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dari tata cara ini, dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ dalam 11.3.2.

11.3.2 — Faktor reduksi kekuatan ϕ ditentukan sebagai berikut:

11.3.2.1 — Lentur, tanpa beban aksial0,80

PENJELASAN

S11.2.7 — Perencana harus memperhitungkan pengaruh perbedaan penurunan, rangkai, susut, temperatur, atau penggunaan beton tanpa susut. Penilaian realistis sebaiknya dipakai untuk menentukan nilai yang paling mungkin, dan bukan nilai batas atas, dari variabel yang harus dipakai.

S11.2.8 — Faktor beban 1,2 yang dikenakan pada gaya penarikan maksimum menghasilkan beban desain kira-kira 113% kuat leleh tendon tetapi tidak lebih dari 96% kuat nominal tendon. Hal ini sebanding dengan gaya penarikan maksimum yang dapat dicapai, yang dibatasi oleh faktor efisiensi angkur.

S11.3 — Kuat rencana

S11.3.1 — Istilah kuat rencana suatu komponen struktur, merujuk pada kuat nominal yang dihitung sesuai dengan persyaratan-persyaratan yang dikemukakan dalam tata cara ini dikalikan dengan suatu faktor reduksi ϕ , yang selalu bernilai kurang dari satu.

Tujuan dari faktor reduksi kekuatan ϕ adalah (1) untuk mengakomodasi kemungkinan komponen-komponen struktur yang kurang kuat akibat variasi kuat material dan dimensi, (2) untuk mengakomodasi kekurangtelitian dalam persamaan-persamaan desain, (3) untuk mencerminkan tingkat daktilitas dan keandalan yang disyaratkan dari komponen struktur yang dikenai pengaruh beban terkait, dan (4) untuk mencerminkan keutamaan komponen dalam struktur.^{11.8,11.9} Sebagai contoh, ϕ yang lebih rendah dipakai untuk kolom daripada untuk balok karena kolom pada umumnya mempunyai daktilitas yang lebih rendah, lebih sensitif terhadap variasi dalam kuat beton, dan pada umumnya mendukung luasan terbebani yang lebih besar daripada balok. Lebih jauh, kolom berspiral diberi ϕ yang lebih tinggi daripada kolom bersengkang karena kolom tersebut mempunyai daktilitas atau kekokohan (*toughness*) yang lebih besar.

S11.3.2.1 — Dalam penerapan 11.3.2.1 dan 11.3.2.2, tarik dan tekan aksial yang diperhitungkan adalah yang diakibatkan oleh gaya luar. Pengaruh gaya prategang tidaklah termasuk.

TATA CARA

11.3.2.2 — Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur. (Untuk beban aksial dengan lentur, kedua nilai kuat nominal dari beban aksial dan momen harus dikalikan dengan nilai ϕ tunggal yang sesuai):

- (a) Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur..... 0,80
- (b) Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
Komponen struktur dengan tulangan spiral yang sesuai dengan 12.9.3 0,70
Komponen struktur lainnya..... 0,65

kecuali untuk nilai aksial tekan yang rendah, nilai ϕ boleh ditingkatkan berdasarkan aturan berikut:

Untuk komponen struktur dimana f_y tidak melampaui 400 MPa, dengan tulangan simetris, dan dengan $(h-d'-d_s)/h$ tidak kurang dari 0,70, maka nilai ϕ boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,80 seiring dengan berkurangnya nilai ϕP_n dari $0,10f_c'A_g$ ke nol.

Untuk komponen struktur beton bertulang yang lain, nilai ϕ boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,80 seiring dengan berkurangnya nilai ϕP_n dari nilai terkecil antara $0,10f_c'A_g$ dan ϕP_b ke nol.

11.3.2.3 — Geser dan torsi..... 0,75
kecuali pada struktur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus atau sistem dinding khusus untuk menahan pengaruh gempa:

- (a) Faktor reduksi untuk geser pada komponen struktur penahan gempa yang kuat geser nominalnya lebih kecil dari pada gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya..... 0,55
- (b) Faktor reduksi untuk geser pada diafragma tidak boleh melebihi faktor reduksi minimum untuk geser yang digunakan pada komponen vertikal dari sistem pemikul beban lateral.
- (c) Geser pada hubungan balok-kolom dan pada balok perangkai yang diberi tulangan diagonal..... 0,80

11.3.2.4 — Tumpuan pada beton kecuali untuk daerah pengangkutan pasca tarik 0,65

PENJELASAN

S11.3.2.2 — Untuk komponen-komponen struktur yang terkena beban aksial dan lentur, kuat rencana diperoleh dengan mengalikan baik P_n maupun M_n dengan nilai ϕ yang sama. Untuk komponen-komponen struktur yang terkena lentur dan beban tekan aksial yang relatif kecil, kegagalan diawali dengan pelelehan tulangan tarik dan terjadi dengan cara yang semakin daktail seiring dengan berkurangnya rasio beban aksial terhadap momen. Pada saat yang sama variabilitas kuatnya juga berkurang. Untuk beban aksial yang kecil, nilai ϕ dapat ditingkatkan dari nilai ϕ untuk komponen struktur tekan sampai 0,80 yang diijinkan untuk lentur seiring dengan berkurangnya kuat beban aksial rencana ϕP_n dari nilai tertentu sampai nol.

Untuk komponen-komponen struktur yang memenuhi batasan-batasan yang ditentukan untuk $(h - d' - d_s)/h$ dan f_y , peralihan mulai pada kuat beban aksial rencana, ϕP_n sebesar $0,10f_c'A_g$. Untuk kondisi lainnya, P_b harus dihitung untuk menentukan nilai batas atas kuat beban aksial rencana ϕP_n (yang lebih kecil dari $0,10f_c'A_g$ dan ϕP_b), dibawah nilai batas atas itu peningkatan ϕ dapat dilakukan.

S11.3.2.3 — Faktor reduksi kekuatan pada struktur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus atau sistem dinding khusus untuk menahan pengaruh gempa dalam 11.3.2.3 dimaksudkan untuk mengganti ketidaktentuan dalam estimasi kuat komponen struktur dalam bangunan. Faktor-faktor tersebut didasarkan terutama pada pengalaman dengan beban terapan konstan atau yang meningkat secara tetap. Untuk konstruksi di wilayah resiko gempa tinggi, beberapa faktor reduksi kekuatan telah dimodifikasi dalam 11.3.2.3 untuk memperhitungkan pengaruh simpangan bolak-balik kedalam rentang respons kuat nonlinier.

Pasal 11.3.2.3(a) merujuk pada komponen-komponen struktur getas seperti dinding tingkat-rendah, porsi dinding diantara bukaan, atau diafragma yang tidak praktis untuk ditulangi untuk mencapai kuat geser nominalnya diatas kuat lentur nominal untuk kondisi pembebanan terkait.

Dinding struktural pendek merupakan elemen vertikal utama dari sistem pemikul beban lateral pada kebanyakan gedung parkir yang mengalami kerusakan selama gempa Northridge 1994. Pasal 11.3.2.3(b) mensyaratkan faktor reduksi kekuatan geser untuk diafragma sebesar 0,55 jika faktor reduksi kekuatan geser untuk dinding adalah 0,55.

TATA CARA

11.3.2.5 — Daerah pengankuran pasca tarik..... 0,85

11.3.2.6 — Penampang lentur tanpa beban aksial pada komponen struktur pratarik dimana panjang penanaman *strand*-nya kurang dari panjang penyaluran yang ditetapkan 14.9.1.1 0,75

11.3.3 — Perhitungan panjang penyaluran sesuai dengan Pasal 14 tidak memerlukan faktor reduksi ϕ .

11.3.4 — Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk lentur, tekan, geser dan tumpu pada beton polos struktural (Pasal 24) harus diambil sebesar 0,55.

11.4 — Kuat rencana tulangan

Perencanaan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh tulangan f_y yang melebihi 550 MPa kecuali untuk tendon prategang.

11.5 — Kontrol terhadap lendutan

11.5.1 — Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

PENJELASAN

S11.3.2.5 — Faktor $\phi = 0,85$ mencerminkan penyebaran yang lebar dari hasil studi daerah angkur eksperimental. Karena 20.13.4.2 membatasi kuat tekan nominal beton tak terkekang dalam daerah global sampai $0,7\lambda f_{ci}'$, kuat rencana efektif untuk beton tak terkekang adalah $0,85 \times 0,7\lambda f_{ci}' \approx 0,6\lambda f_{ci}'$.

S11.3.2.6 — Jika penampang kritis terjadi dalam daerah dimana *strand* tidak sepenuhnya disalurkan, kegagalan mungkin terjadi oleh slip lekatan. Kegagalan seperti itu menyerupai kegagalan geser getas; karenanya, disyaratkan ϕ yang tereduksi.

S11.3.4 — Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk desain beton polos struktural adalah sama untuk semua kondisi kekuatan. Karena baik kuat tarik lentur maupun kuat geser untuk beton polos tergantung pada karakteristik kuat tarik beton, tanpa adanya kemungkinan kuat atau daktilitas cadangan akibat tidak adanya tulangan, faktor reduksi kekuatan yang sama baik untuk lentur maupun geser dianggap sesuai.

S11.4 — Kuat rencana tulangan

Sebagai tambahan terhadap batas atas kuat leleh untuk tulangan non-prategang sebesar 550 MPa, terdapat pembatasan-pembatasan kuat leleh di bagian lain tata cara ini.

Dalam 13.5.2, 13.6.3.4, dan 13.7.6, f_y maksimum yang boleh dipakai dalam desain untuk tulangan geser dan torsi adalah 400 MPa, kecuali bahwa f_y sampai 550 MPa boleh dipakai untuk tulangan geser yang memenuhi persyaratan ASTM A 497.

Dalam 21.3.2 dan 23.2.5, f_y maksimum yang dispesifikasikan adalah 400 MPa pada cangkang, pelat lipat, dan struktur-struktur yang diatur oleh ketentuan-ketentuan gempa khusus dari Pasal 23.

Ketentuan lendutan dari 11.5 dan pembatasan-pembatasan pada distribusi tulangan lentur dari 12.6 menjadi semakin kritis bilamana f_y meningkat.

S11.5 — Kontrol terhadap lendutan

S11.5.1 — Ketentuan-ketentuan dari 11.5 hanya berhubungan dengan lendutan atau deformasi yang dapat terjadi pada tingkat beban layan. Bila lendutan jangka panjang dihitung, hanya beban mati dan bagian beban hidup yang tetap perlu ditinjau.

Dua metoda diberikan untuk mengontrol lendutan.^{11.10}

TATA CARA**PENJELASAN**

Untuk balok nonprategang dan slab satu arah, dan untuk komponen struktur komposit, ketentuan tebal keseluruhan minimum sebagaimana disyaratkan oleh Tabel 8 akan memenuhi persyaratan-persyaratan tata cara ini untuk komponen-komponen struktur yang tidak mendukung atau dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lain yang seperti halnya akan rusak akibat lendutan yang besar. Untuk konstruksi dua arah nonprategang, tebal minimum sebagaimana disyaratkan oleh 11.5.3.1, 11.5.3.2, dan 11.5.3.3 akan memenuhi persyaratan-persyaratan tata cara ini.

Untuk komponen-komponen struktur nonprategang yang tidak memenuhi persyaratan-persyaratan tebal minimum ini atau yang mendukung atau dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lain yang seperti halnya akan rusak akibat lendutan yang besar, dan untuk semua komponen struktur lentur beton prategang, lendutan harus dihitung dengan prosedur-prosedur yang diuraikan atau dirujuk dalam bagian yang sesuai dari tata cara ini, dan dibatasi sampai nilai-nilai dalam Tabel 9.

11.5.2 — Konstruksi satu arah (non-prategang)

11.5.2.1 — Tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 8 berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

11.5.2.2 — Bila lendutan harus dihitung, maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metode atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur.

S11.5.2 — Konstruksi satu arah (non-prategang)

S11.5.2.1 — Tebal minimum dari Tabel 8 berlaku untuk balok-balok nonprategang dan pelat satu arah (lihat 11.5.2), dan untuk komponen-komponen struktur komposit (lihat 11.5.5). Ketebalan minimum ini berlaku hanya pada komponen-komponen struktur yang tidak mendukung atau dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lain yang seperti halnya akan rusak akibat lendutan.

Nilai tebal minimum harus dimodifikasi bila selain dari beton normal dan tulangan Mutu 400. Catatan dibawah tabel adalah penting untuk pemakaian komponen struktur beton bertulang yang terbuat dari beton ringan struktural atau dari tulangan yang memiliki kuat leleh selain dari 400 MPa. Bila kedua kondisi ini terjadi, koreksi pada catatan kaki (a) dan (b) keduanya harus diterapkan.

Modifikasi untuk beton ringan di catatan kaki (a) adalah didasarkan atas studi-studi terhadap hasil-hasil dan diskusi-diskusi dalam Referensi 11.11. Tidak ada koreksi diberikan untuk beton berbobot antara 1900 dan 2300 kg/m³ karena faktor koreksinya akan mendekati satu dalam rentang ini.

Modifikasi untuk kuat leleh pada catatan kaki (b) adalah pendekatan tetapi harus memberikan hasil-hasil yang konservatif untuk tipe komponen struktur yang ditinjau dalam tabel, untuk rasio tulangan tipikal, dan untuk nilai-nilai f_y antara 300 dan 550 MPa.

S11.5.2.2 — Untuk perhitungan lendutan seketika komponen struktur prismatik tak retak, metoda atau formula umum untuk lendutan elastis dapat dipakai dengan nilai $E_c I_g$ konstan di sepanjang panjang komponen struktur. Akan tetapi, bila komponen struktur tersebut retak di

TATA CARA

PENJELASAN

sebuah penampang atau lebih, atau bila kedalamannya bervariasi di sepanjang bentangnya, perhitungan yang lebih eksak diperlukan.

TABEL 8—TEBAL MINIMUM BALOK NON-PRATEGANG ATAU PELAT SATU ARAH BILA LENDUTAN TIDAK DIHITUNG

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Terdukung sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	120	124	128	110
Balok atau pelat rusuk satu-arah	116	118,5	121	108

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis di antara 1500 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3 , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana w_c adalah berat jenis dalam kg/m^3 .
 (b) Untuk f_c , selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_c/700)$.

11.5.2.3 — Bila nilai kekakuan tidak dihitung dengan cara analisis yang lebih mendetail dan teliti, maka besarnya lendutan seketika akibat pembebanan harus dihitung dengan menggunakan nilai modulus elastisitas beton E_c sesuai dengan ketentuan pada 10.5.1 (untuk beton normal ataupun beton ringan) dan dengan momen inersia efektif berikut, tapi tidak lebih besar dari I_g .

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \quad (12)$$

$$\text{dengan } M_{cr} = \frac{f_t I_g}{y_t} \quad (13)$$

dan untuk beton normal,

$$f_t = 0,7 \sqrt{f'_c} \quad (14)$$

Bila digunakan beton dengan agregat ringan, maka harus dilakukan salah satu modifikasi berikut:

(a) Bila f_{ct} sudah ditentukan dan betonnya dirancang berdasarkan ketentuan 7.2, maka f_t harus diubah dengan menggantikan $1,8f_{ct}$ untuk $\sqrt{f'_c}$, tapi nilai $1,8f_{ct}$ tidak boleh melebihi $\sqrt{f'_c}$.

(b) Bila f_{ct} tidak ditentukan, maka f_t harus dikalikan dengan 0,75 untuk beton ringan-menyeluruh dan dengan 0,85 untuk beton ringan-pasir. Interpolasi linear boleh digunakan bila dilakukan penggantian pasir secara parsial.

S11.5.2.3 — Prosedur momen inersia efektif yang diuraikan dalam tata cara ini dan dikembangkan dalam Referensi 11.12 dipilih karena cukup teliti untuk pemakaian didalam mengontrol lendutan.^{11.13-11.15} I_e efektif dikembangkan untuk memberikan transisi antara batas atas dan bawah I_g dan I_{cr} sebagai fungsi rasio M_{cr}/M_a . Untuk kebanyakan kasus I_e akan kurang dari I_g .

TATA CARA

11.5.2.4 — Untuk komponen struktur menerus, nilai momen inersia efektifnya boleh diambil sebagai nilai rata-rata yang diperoleh dari Persamaan 12 untuk penampang-penampang dimana momen negatif dan positifnya kritis. Momen inersia efektif untuk komponen struktur prismatis boleh diambil sesuai dengan nilai yang diperoleh dari Persamaan 12 untuk penampang di tengah bentang pada kondisi bentang sederhana dan bentang menerus, dan untuk penampang di daerah tumpuan pada struktur kantilever.

11.5.2.5 — Bila tidak dihitung dengan cara yang lebih mendetail dan teliti, maka penambahan lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut dari komponen struktur lentur (untuk beton normal ataupun beton ringan) harus dihitung dengan mengalikan lendutan seketika, akibat beban tetap yang ditinjau, dengan faktor:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \tag{15}$$

dengan ρ' adalah nilai pada tengah bentang untuk balok sederhana dan balok menerus, dan nilai pada tumpuan untuk balok kantilever. Faktor konstanta ketergantungan waktu ξ untuk beban tetap harus diambil sebesar:

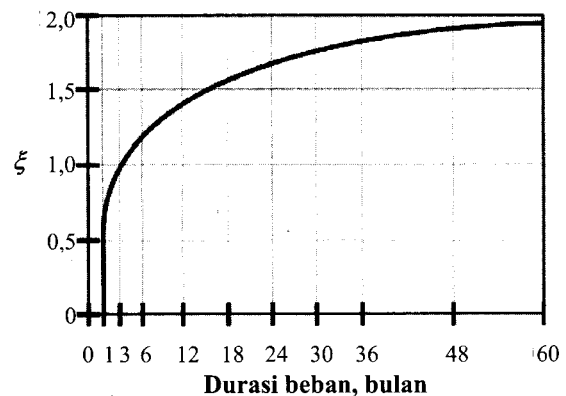
5 tahun atau lebih	2,0
12 bulan	1,4
6 bulan	1,2
3 bulan	1,0

PENJELASAN

S11.5.2.4 — Untuk komponen struktur menerus, prosedur tata cara ini menyarankan perata-rataan sederhana nilai I_e untuk penampang-penampang momen positif dan negatif. Penggunaan properti penampang tengah bentang untuk komponen struktur prismatic menerus dianggap memuaskan dalam perhitungan pendekatan terutama karena kekakuan tengah bentang (termasuk pengaruh retak) memiliki pengaruh dominan pada lendutan, sebagaimana ditunjukkan oleh *ACI Committee 435*^{11,16,11,17} dan SP-43.^{11,10}

S11.5.2.5 — Susut dan rangkai akibat beban tetap mengakibatkan lendutan jangka panjang tambahan melebihi dan diatas yang terjadi saat pertama kali beban dikenakan pada struktur. Lendutan seperti itu dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, kondisi perawatan, umur pada waktu pembebanan, kuantitas tulangan tekan, dan besarnya beban tetap. Perumusan yang diberikan dalam pasal ini dianggap memuaskan untuk penggunaan dengan prosedur tata cara ini untuk perhitungan lendutan seketika, dan dengan batasan-batasan yang diberikan dalam Tabel 9. Lendutan yang dihitung sesuai dengan pasal ini merupakan lendutan jangka panjang tambahan akibat beban mati dan sebagian beban hidup yang akan ditahan dalam jangka waktu yang cukup untuk mengakibatkan lendutan tergantung waktu yang signifikan.

Persamaan (15) dikembangkan dalam Referensi 11.18. Dalam Persamaan (15) pengali ξ memperhitungkan pengaruh tulangan tekan dalam mengurangi lendutan jangka panjang. $\xi = 2,0$ mencerminkan faktor tergantung waktu nominal untuk lama pembebanan 5 tahun. Kurva dalam Gambar S11.5.2.5 boleh dipakai untuk memperkirakan nilai ξ untuk lama pembebanan kurang dari lima tahun.



Gambar S11.5.2.5—Pengali untuk lendutan jangka panjang

Jika diinginkan untuk mempertimbangkan susut dan rangkai secara terpisah, persamaan-persamaan pendekatan yang tersedia dalam Referensi 11.12, 11.13, 11.18, dan

TATA CARA

11.5.2.6 — Lendutan yang dihitung berdasarkan ketentuan dalam 11.5.2.2 hingga 11.5.2.5 tidak boleh melebihi nilai yang ditetapkan dalam Tabel 9.

11.5.3 — Konstruksi dua arah (non-prategang)

11.5.3.1 — 11.5.3 ini menentukan tebal minimum dari pelat atau konstruksi dua-arah lainnya yang direncanakan berdasarkan ketentuan Pasal 15 dan memenuhi ketentuan 15.6.1.2. Tebal pelat tanpa balok interior yang membentang antara tumpuan-tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi salah satu ketentuan dari 11.5.3.2 atau 11.5.3.4. Tebal pelat dengan balok yang membentang antara tumpuan-tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi salah satu ketentuan dari 11.5.3.3 atau 11.5.3.4.

TABEL 9—LENDUTAN IJIN MAKSIMUM

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{\ell^3}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{\ell}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) ^c	$\frac{\ell^3}{480}$
		$\frac{\ell^3}{240}$
<p>a Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase.</p> <p>b Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.</p> <p>c Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5.2.5 atau 11.5.4.2, tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.</p> <p>d Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.</p>		

PENJELASAN

11.19 dapat dipakai.

S11.5.2.6 — Harus dicatat bahwa pembatasan-pembatasan yang diberikan dalam tabel ini hanya terkait dengan elemen-elemen non-struktural yang didukung atau dihubungkan. Untuk struktur-struktur tersebut dimana komponen-komponen strukturalnya seperti dipengaruhi oleh lendutan atau deformasi komponen-komponen struktur dimana komponen-komponen struktural tersebut dihubungkan dengan cara sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh yang merugikan kuat struktur tersebut, lendutan-lendutan dan gaya-gaya yang ditimbulkan tersebut harus dipertimbangkan secara eksplisit didalam analisis dan desain struktur seperti yang disyaratkan oleh 11.5.1 (lihat Referensi 11.15.)

Bila lendutan jangka panjang dihitung, bagian lendutan sebelum penyatuan elemen-elemen non-struktural boleh dikurangi. Dalam melakukan hal ini penggunaan koreksi bisa dilakukan dengan kurva dalam Gambar S11.5.2.5 untuk komponen-komponen struktur dengan ukuran dan bentuk yang umum.

S11.5.3 — Konstruksi dua arah (non-prategang)

TATA CARA

11.5.3.2 — Tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua, harus memenuhi ketentuan Tabel 10 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

(a) Pelat tanpa penebalan seperti yang didefinisikan dalam 15.3.7.1 dan 15.3.7.2120 mm

(b) Pelat dengan penebalan seperti yang didefinisikan dalam 15.3.7.1 dan 15.3.7.2100 mm

PENJELASAN

S11.5.3.2 — Tebal minimum dalam Tabel 10 adalah tebal yang telah dikembangkan selama bertahun-tahun. Slab/lantai yang sesuai dengan batasan-batasan tersebut tidak pernah mengakibatkan masalah yang sistematis terkait dengan kekakuan untuk beban-beban jangka pendek dan panjang. Batasan-batasan ini berlaku hanya untuk lingkup pengalaman yang terdahulu dengan beban, lingkungan, material, kondisi batas, dan bentang.

TABEL 10— TEBAL MINIMUM PELAT TANPA BALOK INTERIOR

Tegangan leleh, f_y^a MPa	Tanpa penebalan ^b			Dengan penebalan ^b		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^c		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^c	
300	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
400	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
500	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

^a Untuk tulangan dengan tegangan leleh di antara 300 MPa dan 400 MPa atau di antara 400 MPa dan 500 MPa, gunakan interpolasi linier.
^b Penebalan panel didefinisikan dalam 15.3.7.1 dan 15.3.7.2.
^c Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi luar. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

11.5.3.3 — Tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

(a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2, harus menggunakan 11.5.3.2;

(b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \tag{16}$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm;

(c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \tag{17}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

(d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Persamaan 16 atau Persamaan 17 harus dinaikan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

S11.5.3.3 — Untuk panel yang memiliki rasio bentang panjang terhadap pendek lebih besar dari 2, pemakaian Pers. (16) dan (17), yang menyatakan tebal minimum sebagai fraksi bentang panjang, bisa memberikan hasil tidak wajar. Untuk panel seperti itu, aturan yang berlaku pada konstruksi satu arah dalam 11.5.2 harus dipakai.

Persyaratan dalam 11.5.3.3(a) untuk α_m sama dengan 0,2 memungkinkan persyaratan tersebut untuk mengeliminasi Pers. (9-13) dari *ACI Code* 1989. Persamaan itu memberikan nilai yang pada dasarnya sama seperti yang tercantum dalam Tabel 10, seperti halnya Pers. (16) untuk nilai α_m sama dengan 0,2.

TATA CARA

11.5.3.4 — Pelat dengan tebal kurang dari tebal minimum yang ditetapkan dalam 11.5.3.1, 11.5.3.2, dan 11.5.3.3 boleh digunakan bila dapat ditunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi batas lendutan yang ditetapkan dalam Tabel 9. Lendutan tersebut harus ditentukan dengan memperhitungkan pengaruh dari ukuran dan bentuk panel, kondisi tumpuan, dan keadaan kekangan pada sisi panel. Untuk perhitungan lendutan, modulus elastisitas E_c beton harus dihitung berdasarkan ketentuan 10.5.1. Momen inersia efektif harus dihitung sesuai dengan Persamaan 12; harga lain boleh dipakai bila perhitungan lendutan yang didapat dengan menggunakan harga tersebut mendekati hasil yang didapat dari pengujian yang menyeluruh dan lengkap. Lendutan jangka panjang tambahan harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5.2.5.

11.5.4 — Konstruksi beton prategang

11.5.4.1 — Lendutan seketika dari komponen struktur lentur yang direncanakan mengikuti ketentuan pada Pasal 20 harus dihitung dengan metode atau formula standar untuk lendutan elastis. Dalam perhitungan ini, momen inersia penampang bruto komponen struktur boleh digunakan untuk penampang yang belum retak.

11.5.4.2 — Lendutan jangka panjang tambahan dari komponen struktur beton prategang harus dihitung dengan memperhatikan pengaruh tegangan dalam beton dan baja akibat beban tetap. Perhitungan lendutan ini harus mencakup pengaruh rangkai dan susut beton dan relaksasi baja.

PENJELASAN

S11.5.3.4 — Perhitungan lendutan untuk pelat adalah rumit bahkan bila perilaku elastis linier dapat diasumsikan. Untuk lendutan seketika, nilai-nilai E_c dan I_e yang ditentukan dalam 11.5.2.3 bisa digunakan.^{11,15} Akan tetapi, prosedur-prosedur lainnya dan nilai kekakuan EI lainnya bisa digunakan jika hasil prediksi lendutannya cukup sesuai dengan hasil uji yang komprehensif.

Karena data yang tersedia mengenai lendutan slab/lantai jangka panjang sangat terbatas untuk memberikan prosedur yang lebih teliti, maka lendutan jangka panjang tambahan untuk konstruksi dua arah disyaratkan untuk dihitung menggunakan faktor pengali yang diberikan dalam 11.5.2.5.

S11.5.4 — Konstruksi beton prategang

Tata cara ini mensyaratkan lendutan untuk semua komponen struktur lentur beton prategang untuk dihitung dan dibandingkan dengan nilai-nilai yang diperkenankan dalam Tabel 9.

S11.5.4.1 — Lendutan seketika komponen struktur beton prategang boleh dihitung dengan metoda atau formula yang biasanya untuk lendutan elastis menggunakan momen inersia penampang beton bruto (tak retak) dan modulus elastisitas untuk beton yang ditentukan dalam 10.5.1. Metoda ini mungkin tidak konservatif untuk komponen struktur yang memiliki tegangan tarik beton yang relatif tinggi seperti diijinkan dalam 20.4.2(d), dan mensyaratkan perhitungan lendutan berdasarkan pada penampang retak transformasi.

Referensi 11.20 menunjukkan metoda I_e dapat dipakai untuk menghitung lendutan komponen struktur prategang parsial yang dibebani diatas beban retak. Untuk kasus ini, momen retak harus memperhitungkan pengaruh prategang. Sebuah metoda untuk memprediksi pengaruh baja tarik non-prategang dalam mereduksi lawan-lendut rangkai diberikan dalam Referensi 11.20 dengan bentuk pendekatan yang dirujuk dalam Referensi 11.15 dan 11.21.

S11.5.4.2 — Perhitungan lendutan jangka panjang komponen struktur lentur beton prategang adalah rumit. Perhitungan harus mempertimbangkan tidak hanya lendutan yang bertambah akibat tegangan lentur, tetapi juga lendutan jangka panjang tambahan yang dihasilkan dari perpendekan tergantung waktu komponen struktur lentur.

Komponen struktur beton prategang memendek lebih besar daripada komponen struktur non-prategang serupa akibat rangkai aksial oleh pratekanan pada pelat atau balok. Rangkai ini bersama dengan susut beton menghasilkan perpendekan komponen struktur lentur yang signifikan yang berlangsung untuk beberapa tahun setelah konstruksi dan harus diperhitungkan didalam desain. Perpendekan ini cenderung mengurangi tegangan tarik dalam tendon

TATA CARA

PENJELASAN

prategang, yang mengurangi pratekanan dalam komponen struktur dan oleh karenanya mengakibatkan peningkatan lendutan jangka panjang.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi lendutan jangka panjang komponen struktur lentur prategang adalah beton atau pasangan batu (*masonry*) didekatnya yang tidak diprategang dalam arah komponen struktur prategang. Ini dapat berupa pelat yang tidak diprategang dalam arah balok yang berdekatan dengan balok prategang atau sistem pelat non-prategang. Sebagaimana komponen struktur prategang cenderung mengalami susut dan rangkai yang lebih besar dari beton non-prategang didekatnya, struktur tersebut akan cenderung mencapai kompatibilitas terhadap pengaruh perpendekannya. Hal ini mengakibatkan pengurangan pratekanan dalam komponen struktur prategang karena beton didekatnya menyerap tekanan tersebut. Pengurangan pratekanan komponen struktur prategang ini dapat terjadi selama bertahun-tahun dan akan mengakibatkan lendutan jangka panjang tambahan serta meningkatkan tegangan tarik dalam komponen struktur prategang.

Semua metoda yang sesuai untuk menghitung lendutan jangka panjang komponen struktur prategang boleh dipakai, asalkan semua pengaruhnya diperhitungkan. Panduan bisa didapatkan dalam Referensi 11.15, 11.22, 11.20, 11.23, dan 11.24.

11.5.4.3 — Lendutan yang dihitung berdasarkan ketentuan 11.5.4.1 dan 11.5.4.2 tidak boleh melebihi batas yang ditetapkan dalam Tabel 9.

11.5.5 — Konstruksi komposit

11.5.5.1 — Konstruksi yang ditopang

Bila selama waktu konstruksi suatu komponen struktur komposit lentur ditahan sedemikian hingga setelah penahan sementara tadi dilepas beban mati yang ada ditahan sepenuhnya oleh keseluruhan penampang komposit, maka untuk perhitungan lendutan, komponen struktur komposit tersebut boleh dianggap setara dengan komponen struktur monolit. Untuk komponen struktur non-prategang, material dari bagian komponen struktur yang tertekan yang akan menentukan apakah nilai-nilai pada Tabel 8 berlaku untuk beton normal atau beton ringan. Jika lendutan diperhitungkan, pengaruh kelengkungan akibat perbedaan susut dari beton pracetak dan beton yang dicor setempat dan pengaruh rangkai aksial dalam suatu komponen struktur beton pratekan harus diperhitungkan.

11.5.5.2 — Konstruksi yang tidak ditopang

Bila tebal komponen struktur lentur pracetak non-prategang memenuhi ketentuan Tabel 8, maka tidak perlu dilakukan perhitungan lendutan. Bila tebal komponen struktur komposit

S11.5.5 — Konstruksi komposit

Karena sedikit uji yang telah dilakukan untuk mempelajari lendutan seketika dan jangka panjang komponen struktur komposit, maka aturan-aturan yang diberikan dalam 11.5.5.1 dan 11.5.5.2 adalah didasarkan pada kebijaksanaan *ACI Committee 318* dan pada pengalaman.

Jika semua bagian komponen struktur komposit diprategang atau jika komponen struktur tersebut diprategang setelah komponen-komponennya dicetak, maka ketentuan-ketentuan dari 11.5.4 berlaku dan lendutan harus dihitung. Untuk komponen struktur komposit non-prategang, lendutan perlu dihitung dan dibandingkan dengan nilai-nilai batas dalam Tabel 9 hanya bila tebal komponen struktur atau bagian komponen struktur pracetak tersebut kurang dari tebal minimum yang diberikan dalam Tabel 8. Pada konstruksi yang tidak ditopang (*unshored*) tebal yang perlu diperhatikan tergantung pada apakah lendutan sebelum atau sesudah pencapaian aksi komposit efektif yang diperhitungkan. (Dalam Pasal 19 dinyatakan bahwa tidak perlu adanya perbedaan antara komponen struktur yang ditopang (*shored*) dan tidak ditopang. Hal ini merujuk pada perhitungan kuat, bukan untuk lendutan).

TATA CARA**PENJELASAN**

non-prategang memenuhi ketentuan Tabel 8, maka lendutan yang terjadi setelah komponen struktur menjadi komposit tidak perlu dihitung. Tetapi, lendutan jangka panjang pada komponen struktur pracetak akibat besar dan lamanya beban yang bekerja sebelum aksi komposit terjadi harus ditinjau.

11.5.5.3 — Lendutan yang dihitung berdasarkan ketentuan 11.5.5.1 dan 11.5.5.2 tidak boleh melampaui batas yang ditentukan dalam Tabel 9.

PASAL 12 — BEBAN LENTUR DAN AKSIAL

TATA CARA

PENJELASAN

12.1 — Umum

Ketentuan dalam Pasal 12 berlaku untuk perencanaan komponen struktur terhadap beban lentur atau aksial atau kombinasi dari beban lentur dan aksial.

12.2 — Asumsi dalam perencanaan

Dalam merencanakan komponen struktur terhadap beban lentur atau aksial atau kombinasi dari beban lentur dan aksial, digunakan asumsi sebagai berikut:

12.2.1 — Perencanaan kekuatan komponen struktur untuk beban lentur dan aksial didasarkan pada asumsi yang diberikan dalam 12.2.2 hingga 12.2.7 dan pada pemenuhan kondisi keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan yang berlaku.

12.2.2 — Regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral, kecuali, untuk komponen struktur lentur tinggi dengan rasio tinggi total terhadap bentang bersih yang lebih besar dari 2/5 untuk bentang menerus dan lebih besar dari 4/5 untuk bentang-sederhana, harus digunakan distribusi regangan non-linier. Lihat 12.7.

12.2.3 — Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diambil sama dengan 0,003.

12.2.4 — Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kuat leleh f_y , harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y .

S12.2 — Asumsi dalam perencanaan

S12.2.1 — Kuat komponen struktur yang dihitung dengan metoda desain kekuatan tata cara ini mensyaratkan bahwa dua kondisi dasar perlu dipenuhi: (1) keseimbangan statik, dan (2) kompatibilitas regangan. Keseimbangan saat kuat nominal harus dipenuhi antara gaya tekan dan tarik yang bekerja pada penampang. Kompatibilitas antara tegangan dan regangan beton dan tulangan saat kondisi kuat nominal juga harus terjadi dengan asumsi desain yang diperkenankan oleh 12.2.

S12.2.2 — Banyak percobaan telah memastikan bahwa distribusi regangan pada dasarnya adalah linier sepanjang penampang beton bertulang, bahkan didekat kuat ultimatnya.

Regangan baik dalam tulangan maupun dalam beton diasumsikan secara langsung proporsional dengan jarak dari sumbu netral. Asumsi ini sangatlah penting dalam desain untuk menentukan regangan dan tegangan yang sesuai dalam tulangan.

S12.2.3 — Regangan tekan beton maksimum saat hancurnya beton telah diamati dalam berbagai macam uji yang didapatkan bervariasi dari 0,003 sampai lebih tinggi dari 0,008 pada kondisi khusus. Akan tetapi, regangan pada saat terjadinya momen ultimat untuk komponen struktur dengan proporsi dan material normal biasanya berkisar antara 0,003 sampai 0,004.

S12.2.4 — Untuk tulangan ulir, cukup akurat memakai asumsi bahwa tegangan dalam tulangan adalah proporsional dengan regangan dibawah kuat leleh f_y . Kenaikan kekuatan akibat pengaruh pengerasan regangan (*strain hardening*) tulangan diabaikan untuk perhitungan kekuatan. Dalam perhitungan kekuatan, gaya yang terjadi dalam tulangan tarik atau tekan dihitung sebagai berikut,

bila $\epsilon_s < \epsilon_y$ (regangan leleh)

$$A_s f_s = A_s E_s \epsilon_s$$

TATA CARA

PENJELASAN

12.2.5 — Dalam perhitungan aksial dan lentur beton bertulang, kuat tarik beton harus diabaikan, kecuali bila ketentuan 20.4 dipenuhi.

12.2.6 — Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton boleh diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola, atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik bila dibandingkan dengan hasil pengujian.

12.2.7 — Ketentuan 12.2.6 dapat dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut:

12.2.7.1 — Tegangan beton sebesar $0,85f'_c$ diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.

bila $\epsilon_s \geq \epsilon_y$,

$$A_s f_s = A_s f_y$$

dimana ϵ_s adalah harga dari diagram regangan di lokasi tulangan. Untuk desain, modulus elastisitas tulangan baja E_s dapat diambil sebesar 200.000 MPa (lihat 10.5.2).

S12.2.5 — Kuat tarik beton terhadap lentur (modulus pecah) merupakan properti yang lebih bervariasi dari kuat tekannya dan berkisar antara 10 sampai 15 persen kuat tekannya. Kuat tarik beton terhadap lentur diabaikan didalam desain kekuatan. Untuk komponen struktur dengan persentase tulangan normal, asumsi ini sangatlah sesuai dengan hasil uji. Untuk persentase tulangan yang sangat kecil, pengabaian kuat tarik saat ultimat biasanya adalah tepat.

Akan tetapi, kuat beton terhadap tarik adalah penting didalam perhitungan retak dan lendutan saat beban layan.

S12.2.6 — Asumsi ini memperhatikan distribusi tegangan inelastis beton pada tegangan yang tinggi. Ketika mendekati tegangan maksimum, hubungan tegangan-regangan beton tidak berbentuk garis lurus tetapi kurva (tegangan tidak proporsional dengan regangan). Bentuk umum kurva tegangan-regangan pada dasarnya merupakan fungsi kuat beton dan terdiri dari kurva naik dari nol sampai maksimum pada regangan tekan antara 0,0015 dan 0,002 yang diikuti oleh kurva turun sampai regangan ultimat (hancurnya beton) dari 0,003 sampai lebih tinggi dari 0,008. Seperti didiskusikan dalam S12.2.3, tata cara ini menetapkan regangan maksimum yang dapat dipakai untuk desain adalah 0,003.

Distribusi aktual tegangan tekan beton adalah kompleks dan biasanya tidak diketahui secara eksplisit. Riset telah menunjukkan bahwa sifat-sifat penting distribusi tegangan beton dapat diperkirakan dengan mendekati menggunakan salah satu dari beberapa asumsi yang berbeda yang berkaitan dengan bentuk distribusi tegangan. Tata cara ini mengijinkan semua distribusi tegangan tertentu diasumsikan dalam desain jika ditunjukkan menghasilkan prediksi kuat ultimat yang cukup sesuai dengan hasil uji yang komprehensif. Banyak distribusi tegangan telah diusulkan. Tiga yang paling umum adalah parabola, trapesium, dan persegi.

S12.2.7 — Untuk desain, tata cara ini membolehkan penggunaan distribusi tegangan tekan persegi ekuivalen (blok tegangan) untuk menggantikan distribusi tegangan beton yang lebih eksak. Dalam blok tegangan persegi ekuivalen, tegangan rata-rata sebesar $0,85f'_c$ digunakan dengan persegi berkedalaman $a = \beta_1 c$. β_1 sebesar 0,85 untuk beton dengan $f'_c \leq 30$ MPa dan telah ditentukan secara eksperimental nilainya berkurang 0,05 untuk setiap kenaikan 7 MPa dari f'_c yang melebihi 30 MPa.

TATA CARA

12.2.7.2 — Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.

12.2.7.3 — Faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan di atas 30 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

12.3 — Prinsip perencanaan

Dalam merencanakan komponen struktur yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus dipenuhi ketentuan berikut:

12.3.1 — Perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas tegangan dan regangan dengan menggunakan asumsi dalam 12.2.

12.3.2 — Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh f_y pada saat yang bersamaan dengan tercapainya regangan batas 0,003 pada bagian beton yang tertekan.

12.3.3 — Untuk komponen struktur lentur, dan untuk komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kuat rencana ϕP_n kurang dari nilai yang terkecil antara $0,10f'_cA_g$ dan ϕP_b , maka rasio tulangan ρ yang ada tidak boleh melampaui $0,75\rho_b$, yang merupakan rasio tulangan yang menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk penampang yang mengalami lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamai oleh tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan faktor 0,75.

PENJELASAN

Dalam *ACI Code* 1976 yang melengkapi *ACI Code* 1971, batasan yang lebih rendah sebesar β_1 sama dengan 0,65 telah diadopsi untuk kuat beton yang lebih besar dari 55 MPa. Data riset dari uji dengan beton kuat tinggi^{12.1,12.2} mendukung blok tegangan persegi ekuivalen untuk kuat beton melebihi 55 MPa, dengan β_1 sama dengan 0,65. Penggunaan distribusi tegangan persegi ekuivalen yang dispesifikasikan dalam *ACI Code* 1971, tanpa batasan β_1 yang lebih rendah, mengakibatkan desain yang tidak konsisten untuk beton mutu tinggi untuk komponen struktur yang dikenai kombinasi beban lentur dan aksial.

Distribusi tegangan persegi ekuivalen tidak mewakili distribusi tegangan aktual dalam zona tekan saat ultimat, tetapi pada dasarnya memberikan hasil yang sama seperti yang diperoleh dalam hasil uji.^{12.3}

S12.3 — Prinsip perencanaan

S12.3.1 — Persamaan kuat desain/rencana diturunkan untuk komponen struktur yang dikenai lentur atau kombinasi lentur dan beban aksial dalam makalah, "*Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design*."^{12.3} Referensi 12.3 dan edisi komentar *ACI* yang terdahulu juga memberikan penurunan persamaan kuat untuk penampang selain persegi panjang.

S12.3.2 — Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika regangan maksimum di serat yang paling tertekan tepat mencapai 0,003 bersamaan dengan regangan leleh pertama f_y/E_s pada tulangan tarik. Rasio tulangan ρ_b , yang menghasilkan kondisi seimbang akibat lentur, tergantung pada bentuk penampang dan lokasi tulangannya.

S12.3.3 — Jumlah maksimum tulangan tarik dalam komponen struktur lentur dibatasi untuk menjamin tingkat perilaku yang daktail.

Kuat lentur ultimat komponen struktur tercapai bilamana regangan pada serat yang paling tertekan mencapai regangan ultimat (hancur) beton. Pada saat regangan ultimat beton, regangan tulangan tarik bisa tepat mencapai regangan leleh pertama, kurang dari regangan leleh (elastis), atau melebihi regangan lelehnya (inelastis). Kondisi regangan baja yang mana yang terjadi saat regangan beton ultimat tergantung pada proporsi relatif baja terhadap beton dan kuat material f'_c dan f_y . Jika $\rho(f_y/f'_c)$ cukup rendah, regangan baja tarik akan jauh melebihi regangan lelehnya ketika regangan beton mencapai ultimatnya, dengan defleksi yang besar dan peringatan yang cukup terhadap kegagalan yang hampir

TATA CARA

PENJELASAN

12.3.4 — Peningkatan kekuatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan.

12.3.5 — Kuat tekan rencana ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut:

12.3.5.1 — Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral yang sesuai dengan 9.10.4 atau komponen struktur komposit yang sesuai dengan 12.16.

$$\phi P_{n(\text{maks})} = 0,85\phi [0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (18)$$

12.3.5.2 — Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan sengkang pengikat yang sesuai dengan 9.10.5.

$$\phi P_{n(\text{maks})} = 0,80\phi [0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (19)$$

12.3.5.3 — Untuk komponen struktur prategang, kuat tekan rencana ϕP_n tidak boleh diambil lebih besar dari 0,85 (untuk komponen struktur dengan tulangan spiral) atau 0,80 (untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang pengikat) dari kuat tekan rencana pada eksentrisitas nol ϕP_o .

12.3.6 — Komponen struktur yang dibebani aksial tekan harus direncanakan terhadap momen maksimum yang mungkin menyertai beban aksial tersebut. Beban aksial terfaktor P_u dengan eksentrisitas yang ada, tidak boleh melampaui nilai yang ditentukan dalam 12.3.5. Momen

terjadi (kondisi kegagalan daktail). Dengan $\rho(f_y/f'_c)$ yang lebih besar, regangan baja tarik bisa tidak mencapai regangan lelehnya ketika regangan beton mencapai ultimatnya, dengan konsekuensi defleksi yang kecil dan peringatan yang sedikit terhadap kegagalan yang hampir terjadi (kondisi kegagalan getas). Untuk desain dianggap lebih konservatif untuk membatasi kondisi kuat ultimat supaya pola kegagalan daktail dapat diharapkan.

Kecuali jika disyaratkan nilai daktilitas yang tidak biasa, batasan $0,75\rho_b$ akan memberikan perilaku yang daktail untuk kebanyakan desain. Sebuah kondisi dimana perilaku daktail yang lebih besar disyaratkan adalah dalam desain untuk redistribusi momen pada komponen struktur yang menerus atau rangka. Pasal 10.4 mengizinkan redistribusi momen negatif. Karena redistribusi momen tergantung pada daktilitas yang cukup di daerah sendi, jumlah tulangan tarik di daerah persendian dibatasi sampai $0,5\rho_b$.

Untuk perilaku daktail balok dengan tulangan tekan, hanya bagian baja tarik total yang diimbangi oleh tekan beton perlu dibatasi; bagian baja tarik dimana gaya totalnya diimbangi oleh tulangan tekan tidak perlu dibatasi dengan faktor 0,75.

S12.3.5 dan S12.3.6 — Eksentrisitas desain minimum yang disertakan dalam *ACI Code* 1963 dan 1971 telah dihapus dari *ACI Code* 1977 kecuali untuk peninjauan pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan dengan momen ujung terhitung yang kecil atau nol (lihat 12.12.3.2). Eksentrisitas minimum tertentu aslinya dimaksudkan untuk bertindak sebagai cara untuk mereduksi kuat desain penampang oleh beban aksial akibat tekan murni untuk memperhitungkan eksentrisitas tak terduga yang tidak diperhitungkan dalam analisis yang bisa timbul pada komponen struktur tekan, dan menerima bahwa kuat beton bisa kurang dari f'_c oleh beban tetap yang tinggi. Tujuan utama persyaratan eksentrisitas minimum adalah untuk membatasi kuat komponen struktur tekan oleh beban aksial desain maksimum. Hal ini sekarang dipenuhi secara langsung dalam 12.3.6 dengan pembatasan kuat penampang oleh beban aksial desain akibat tekan murni sampai 80 atau 85 persen kekuatan nominalnya. Harga persentase ini mendekati kuat beban aksial pada rasio e/h sebesar 0,05 dan 0,10, yang dispesifikasikan dalam *ACI Code* terdahulu berturut-turut untuk komponen struktur bertulangan spiral dan pengikat/sengkang (*tied*). Batasan beban aksial yang sama berlaku pada kedua komponen struktur tekan cetak-setempat dan pracetak. Alat bantu desain dan program komputer berdasarkan pada persyaratan eksentrisitas minimum *ACI Code* 1963 dan 1971 sama-sama bisa dipakai.

TATA CARA

maksimum terfaktor M_u harus diperbesar untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan sesuai dengan 12.10.

PENJELASAN

Untuk komponen struktur prategang, kuat beban aksial desain terhadap tekan murni dihitung dengan metoda desain kekuatan dari Pasal 12, termasuk pengaruh gaya prategangnya.

Momen ujung komponen struktur tekan harus diperhitungkan dalam desain komponen struktur lentur yang berbatasan. Pada rangka tak-bergoyang, pengaruh pembesaran momen ujung tidak perlu ditinjau dalam desain balok yang berbatasan. Pada rangka bergoyang, momen ujung yang dibesarkan harus ditinjau dalam mendesain komponen struktur lentur, seperti disyaratkan dalam 12.13.7.

Kolom sudut dan lainnya yang dikenai oleh momen yang diketahui terhadap masing-masing sumbunya secara serentak harus didesain untuk lentur biaksial dan beban aksial. Metoda-metoda yang memuaskan tersedia dalam *ACI Design Handbook*^{12.4} dan *CRSI Handbook*.^{12.5} Metoda beban terbalik^{12.6} dan metoda kontur beban^{12.7} merupakan metoda-metoda yang dipakai dalam kedua buku pegangan tersebut. Riset^{12.8,12.9} menunjukkan bahwa penggunaan ketentuan blok tegangan persegi ekuivalen dari 12.2.7 menghasilkan estimasi kuat yang memuaskan untuk penampang yang simetris pada kedua sumbu tegak lurusnya. Sebuah estimasi kuat nominal P_{ni} yang sederhana dan sedikit konservatif bisa diperoleh dari hubungan beban terbalik^{12.6}

$$\frac{1}{P_{ni}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o}$$

dimana:

P_{ni} = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas tertentu di sepanjang kedua sumbu

P_o = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol

P_{nx} = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas tertentu di sepanjang sumbu-x

P_{ny} = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas tertentu di sepanjang sumbu-y

Hubungan ini adalah yang paling sesuai bila harga P_{nx} dan P_{ny} lebih besar dari gaya aksial seimbang P_b untuk sumbu tertentu tersebut.

12.4 — Jarak antara pendukung lateral untuk komponen struktur lentur

12.4.1 — Spasi pendukung lateral untuk suatu balok tidak boleh melebihi 50 kali lebar terkecil b dari sayap atau muka yang tertekan.

12.4.2 — Pengaruh eksentrisitas lateral dari beban harus diperhitungkan dalam menentukan spasi pendukung lateral.

S12.4 — Jarak antara pendukung lateral untuk komponen struktur lentur

Hasil uji^{12.10,12.11} telah menunjukkan bahwa balok beton bertulang tak berpengaku (*unbraced*) lateral dengan segala dimensi yang wajar, bahkan bilamana sangat tinggi dan sempit, tidak akan runtuh secara prematur oleh tekuk lateral asalkan balok tersebut dibebani tanpa eksentrisitas lateral yang mengakibatkan torsi.

TATA CARA

12.5 — Tulangan minimum pada komponen struktur lentur

12.5.1 — Pada setiap penampang dari suatu komponen struktur lentur, kecuali seperti yang ditetapkan pada 12.5.2 sampai dengan 12.5.4, dimana berdasarkan analisis diperlukan tulangan tarik, maka luas A_s yang ada tidak boleh kurang dari:

$$A_{s,min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \quad (20)$$

dan tidak lebih kecil dari:

$$A_{s,min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (21)$$

12.5.2 — Pada balok-T statis tertentu dengan bagian sayap tertarik sebagaimana dapat dijumpai pada balok kantilever, $A_{s,min}$ tidak boleh kurang dari nilai terkecil di antara:

$$A_{s,min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{2f_y} b_w d \quad (22)$$

dan

$$A_{s,min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_f d \quad (23)$$

dengan b_f adalah lebar bagian sayap penampang.

12.5.3 — Sebagai alternatif, untuk komponen struktur yang besar dan masif, luas tulangan yang diperlukan pada setiap penampang, positif atau negatif, paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan analisis.

12.5.4 — Untuk pelat dan fondasi telapak struktural dengan tebal seragam, luas minimum tulangan tarik dalam arah bentang yang ditinjau harus memenuhi kebutuhan tulangan untuk susut dan suhu sesuai dengan 9.12. Spasi maksimum antar tulangan tersebut tidak boleh melebihi nilai terkecil dari

PENJELASAN

Balok tak berpengaku seringkali dibebani diluar pusatnya (eksentrisitas lateral) atau dengan sedikit inklinasi. Tegangan dan deformasi yang dihasilkan oleh pembebanan seperti itu menjadi berbahaya untuk balok tinggi yang sempit, lebih-lebih bilamana panjang yang tak didukung meningkat. Pendukung lateral berspasi lebih dekat dari 50*b* mungkin diperlukan oleh kondisi pembebanan.

S12.5 — Tulangan minimum pada komponen struktur lentur

Ketentuan untuk jumlah tulangan minimum berlaku untuk komponen struktur lentur, yang oleh alasan arsitektural atau lainnya, penampangnya dibuat lebih besar daripada yang diperlukan untuk kekuatannya. Dengan jumlah tulangan tarik yang sangat kecil, bila kuat momen yang dihitung dengan menggunakan analisis penampang retak menjadi lebih kecil dari kuat momen penampang beton tak bertulang yang sama yang dihitung berdasarkan atas modulus pecahnya (*modulus of rupture*). Kegagalan dalam kasus seperti itu bisa terjadi secara tiba-tiba.

Untuk mencegah kegagalan seperti itu, jumlah tulangan tarik minimum disyaratkan oleh 12.5.1. Hal ini disyaratkan baik dalam daerah momen positif maupun negatif. Nilai $1,4/f_y$ yang digunakan terdahulu aslinya diturunkan untuk menyediakan minimum yang sama dengan 0,5 persen (untuk baja mutu lunak) seperti yang disyaratkan dalam edisi-edisi *ACI Code* terdahulu. Bilamana kuat beton yang digunakan lebih tinggi dari sekitar 35 MPa, harga $1,4/f_y$ yang digunakan sebelumnya mungkin tidak cukup. Nilai yang diberikan oleh Pers. (20) memberikan jumlah yang sama sebesar $1,4/f_y$ bila f'_c sama dengan 31,36 MPa. Bila flens/sayap (*flange*) penampang-T berada dalam tarik, jumlah tulangan tarik yang diperlukan untuk menghasilkan kuat penampang beton bertulang sama dengan jumlah tulangan tarik untuk penampang tak bertulang adalah sekitar dua kali jumlah tulangan tarik untuk penampang persegi atau jumlah tulangan tarik pada penampang-T dengan flens/sayap tertekan. Disimpulkan bahwa jumlah yang lebih tinggi ini diperlukan, terutama untuk kantilever dan situasi-situasi statis tertentu lainnya dimana flens/sayap berada dalam tarik.

S12.5.3 — Tulangan minimum yang disyaratkan oleh Pers. (20) sampai (23) harus disediakan bilamana tulangan diperlukan, kecuali bila tulangan tersebut adalah sedikitnya sepertiga lebih besar dari yang disyaratkan oleh analisis. Perkecualian ini memberikan tulangan tambahan yang cukup dalam komponen struktur yang besar dimana jumlah yang disyaratkan oleh 12.5.1 atau 12.5.2 akan berlebihan.

S12.5.4 — Tulangan minimum yang disyaratkan untuk pelat harus sama dengan jumlah yang sama seperti yang disyaratkan oleh 9.12 untuk tulangan susut dan temperatur.

Pelat pendukung tanah seperti pelat diatas permukaan tanah

TATA CARA

tiga kali tebal pelat dan 450 mm.

12.6 — Distribusi tulangan lentur pada balok dan pelat satu arah

12.6.1 — Butir ini memuat aturan untuk mendistribusikan tulangan lentur dengan tujuan membatasi retak lentur pada balok dan pelat satu arah (pelat yang diberi tulangan untuk menahan tegangan lentur hanya dalam satu arah).

12.6.2 — Distribusi tulangan lentur pada pelat dua arah harus mengikuti ketentuan 15.3.

12.6.3 — Tulangan tarik lentur harus didistribusikan dengan

PENJELASAN

(*grade*) tidak dianggap sebagai pelat struktur dalam konteks pasal ini, kecuali jika pelat tersebut mentransmisikan beban vertikal dari bagian struktur lainnya ke tanah. Tulangan, jika ada, dalam pelat pendukung tanah harus diproporsikan dengan pertimbangan akibat semua gaya desain. Fondasi pelat penuh (*mat foundation*) dan pelat lainnya yang membantu mendukung struktur secara vertikal harus memenuhi persyaratan pasal ini.

Dalam mengevaluasi ulang perlakuan terhadap 12.5, spasi maksimum untuk tulangan dalam pelat struktural [termasuk telapak (*footings*)] direduksi dari $5h$ untuk tulangan temperatur dan susut menjadi nilai kompromi sebesar $3h$, dimana sedikit lebih besar dari batasan $2h$ dari 15.3.2 untuk sistem pelat dua arah.

S12.6 — Distribusi tulangan lentur pada balok dan pelat satu arah

S12.6.1 — Banyak struktur yang didesain dengan metoda tegangan kerja dan dengan tegangan baja rendah memenuhi fungsi yang dikehendaki dengan retak lentur yang sangat terbatas. Akan tetapi, bila baja tulangan mutu tinggi digunakan pada tegangan dengan beban layan/kerja yang tinggi, retak-retak yang dapat dilihat dapat terjadi, dan harus diambil langkah-langkah didalam pendetailan tulangan untuk mengendalikan retak. Untuk perlindungan tulangan terhadap korosi, dan untuk alasan estetika, lebih diinginkan banyak retak rambut halus daripada beberapa retak yang lebar.

Pengendalian retak adalah sangat penting bila digunakan tulangan dengan kuat leleh lebih dari 300 MPa. Praktek pendetailan yang baik saat ini biasanya akan membawa pada pengendalian retak yang cukup bahkan bilamana digunakan tulangan dengan kuat leleh 420 MPa.

Pekerjaan laboratorium yang ekstensif^{12.12-12.14} melibatkan batang ulir telah mengkonfirmasi bahwa lebar retak pada saat beban layan/kerja adalah proporsional dengan tegangan baja. Telah ditemukan variabel penting yang merefleksikan pendetailan baja berupa tebal penutup beton dan luasan beton dalam daerah tarik maksimum yang mengelilingi setiap batang tulangan secara individual.

Lebar retak bersifat sangat acak bahkan ditemui dalam pekerjaan laboratorium yang dilakukan secara hati-hati dan dipengaruhi oleh susut dan pengaruh lain yang tergantung-waktu. Kontrol retak yang baik didapati bilamana tulangan baja didistribusikan dengan baik sepanjang daerah tarik beton maksimum.

S12.6.3 — Beberapa batang dengan spasi sedang jauh

TATA CARA

baik dalam daerah tarik lentur maksimum dari suatu penampang komponen struktur sebagaimana yang ditentukan dalam 12.6.4.

12.6.4 — Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai z yang diberikan oleh

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (24)$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Tegangan pada tulangan akibat beban kerja f_s (MPa) harus dihitung sebagai momen maksimum tak terfaktor dibagi dengan hasil kali luas tulangan baja dengan lengan momen dalam. Bila tidak dihitung dengan cara di atas, f_s boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh f_y yang disyaratkan.

Sebagai alternatif terhadap perhitungan nilai z , dapat dilakukan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh

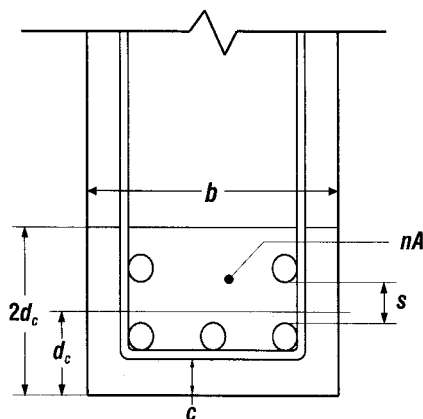
$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (25)$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang di dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Luas tarik efektif beton total, yaitu nA , dapat dilihat pada Gambar 4.

Selain itu, spasi tulangan yang berada paling dekat dengan permukaan tarik tidak boleh melebihi

$$s = \frac{95.000}{f_s} - 2,5c_c \quad (26)$$

tetapi tidak boleh lebih besar dari $300(252/f_s)$



Gambar 4—Luas tarik efektif beton

PENJELASAN

lebih efektif didalam mengendalikan retak daripada sebuah atau dua batang yang lebih besar dengan luasan ekuivalen.

S12.6.4 — Pasal ini mengganti persyaratan faktor z dari edisi *ACI Code* 1995 dan yang terdahulu. Spasi batang maksimum sekarang dispesifikasikan secara langsung.^{12.15,12.16,12.17} Untuk kasus balok biasa dengan tulangan Mutu 420 dan penutup bersih 50 mm untuk tulangan utama, dengan $f_s = 252$ MPa, spasi batang maksimum adalah 250 mm.

Lebar retak pada struktur adalah sangat bervariasi. Dalam *ACI Code* yang terdahulu, ketentuan diberikan untuk distribusi tulangan yang didasarkan pada persamaan empirik menggunakan lebar retak maksimum yang dihitung sebesar 0,4 mm. Ketentuan baru untuk spasi dimaksudkan untuk mengendalikan retak permukaan sampai retak yang secara umum dalam praktek dapat diterima tetapi dapat bervariasi sekali pada struktur tertentu.

Peran retak dalam korosi tulangan adalah kontroversi. Riset^{12.18,12.19} menunjukkan bahwa korosi tidak secara jelas berkorelasi dengan lebar retak permukaan didalam rentang yang diperoleh secara normal dari tegangan tulangan saat tingkat beban layan/kerja. Untuk alasan ini, perbedaan sebelumnya antara eksposur interior dan eksterior telah dihapus.

Batas numerik $z = 30$ dan 25 MN/m untuk berturut-turut eksposur interior dan eksterior, sesuai dengan batas lebar retak 0,4 dan 0,33 mm.

TATA CARA

12.6.5 — Ketentuan 12.6.4 pada dasarnya kurang memadai untuk struktur yang terkena paparan lingkungan yang merusak atau untuk struktur yang direncanakan kedap air. Untuk struktur ini diperlukan langkah pengkajian dan pencegahan khusus.

12.6.6 — Bila sayap dari balok-T mengalami tarik, sebagian tulangan tarik lentur harus didistribusikan ke seluruh lebar efektif sayap seperti yang didefinisikan pada 10.10, atau ke suatu lebar yang sama dengan $1/10$ bentang, diambil nilai terkecil. Bila lebar efektif sayap melebihi $1/10$ bentang, maka harus disediakan beberapa tulangan longitudinal tambahan pada bagian luar dari bagian sayap tersebut.

12.6.7 — Bila tinggi efektif d dari badan balok melampaui 0,9 m, maka harus dipasang tulangan longitudinal sisi yang didistribusikan merata pada kedua sisi samping penampang dalam rentang jarak $d/2$ dari tulangan lentur tarik terdekat. Spasi maksimum dari tulangan-tulangan sisi ini tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/6$, 300 mm, dan $(1000)A_s/(d - 750)$. Tulangan tersebut boleh diperhitungkan dalam analisis kekuatan penampang, bila perhitungan tegangan dari masing-masing tulangan didasarkan pada analisis kompatibilitas regangan. Luas total tulangan sisi pada kedua sisi penampang tidak perlu lebih dari setengah tulangan tarik lentur perlu.

12.7 — Komponen struktur lentur tinggi

Perencanaan penampang komponen struktur lentur tinggi harus memenuhi ketentuan berikut:

12.7.1 — Komponen struktur lentur dengan rasio tinggi total terhadap bentang bersih yang lebih dari $2/5$ untuk bentang menerus, atau $4/5$ untuk bentang sederhana, harus direncanakan sebagai komponen struktur lentur tinggi dengan memperhitungkan distribusi regangan non-linier dan tekuk lateral. (Lihat 13.8.1 dan 14.10.6).

12.7.2 — Kuat geser komponen struktur lentur tinggi harus mengikuti ketentuan 13.8.

12.7.3 — Tulangan tarik lentur minimum harus memenuhi ketentuan 12.5.

12.7.4 — Tulangan horizontal dan vertikal minimum pada sisi samping komponen struktur lentur tinggi harus diambil sebagai nilai terbesar dari ketentuan 13.8.8, 13.8.9 dan 13.8.10 atau 16.3.2 dan 16.3.3.

PENJELASAN

S12.6.5 — Meskipun sejumlah studi telah dilakukan, bukti jelas eksperimental terkait lebar retak tidak tersedia dimana bahaya korosi akan terjadi bila lebar retak tersebut dilampaui. Uji eksposur menunjukkan kualitas beton, pemadatan yang cukup, dan penutup beton yang memadai bisa merupakan hal yang lebih penting untuk perlindungan korosi daripada lebar retak di permukaan beton.

S12.6.6 — Pada kebanyakan balok-T, distribusi tulangan negatif untuk kontrol retak harus memperhitungkan dua pertimbangan: (1) spasi tulangan yang lebar sepanjang lebar sayap efektif penuh dapat mengakibatkan terbentuknya beberapa retak yang lebar pada pelat didekat badan dan, (2) spasi yang berdekatan didekat badan membiarkan daerah luar sayap tidak terlindung. Pembatasan sepersepuluh adalah untuk melindungi terhadap spasi yang terlalu lebar, dengan beberapa tulangan tambahan yang diperlukan untuk melindungi bagian luar sayap.

S12.6.7 — Untuk komponen struktur lentur yang relatif tinggi, beberapa tulangan harus ditempatkan didekat muka vertikal daerah tarik untuk mengendalikan retak pada badan.^{12,16} Tanpa tulangan baja tambahan tersebut, lebar retak pada badan bisa melebihi lebar retak di ketinggian tulangan tarik lentur.

Bila ketentuan untuk balok tinggi, dinding, panel pracetak membutuhkan tulangan baja lebih banyak, ketentuan itu (bersama dengan persyaratan spasinya) akan menentukan.

S12.7 — Komponen struktur lentur tinggi

Tata cara ini tidak mencakup persyaratan detail untuk mendesain balok tinggi terhadap lentur kecuali bahwa harus dipertimbangkan ketidaklinieran distribusi regangan dan tekuk lateral.

Saran-saran untuk desain balok tinggi terhadap lentur diberikan dalam Referensi 12.20, 12.21, dan 12.22.

TATA CARA

12.8 — Dimensi rencana untuk komponen struktur tekan

12.8.1 — Komponen struktur tekan terisolir dengan dua atau lebih spiral

Batas luar penampang efektif dari suatu komponen struktur tekan terisolir dengan dua atau lebih spiral yang saling berkaitan harus diambil pada suatu jarak di luar batas terluar dari spiral sejauh tebal selimut beton minimum yang ditentukan dalam 9.7.

12.8.2 — Komponen struktur tekan yang dibuat monolit dengan dinding

Batas luar penampang efektif dari suatu komponen struktur tekan dengan tulangan spiral atau sengkang pengikat yang dibuat monolit dengan suatu dinding atau pilar beton tidak boleh diambil lebih dari 40 mm di luar batas tulangan spiral atau sengkang pengikat.

12.8.3 — Komponen struktur tekan bulat ekuivalen

Bila dalam perencanaan suatu komponen struktur tekan dengan penampang persegi, oktagonal, atau bentuk lainnya tidak digunakan luas bruto penuh penampang yang ada, maka sebagai alternatif penampang tersebut boleh dianggap sebagai suatu penampang bulat ekuivalen dengan diameter yang sama dengan dimensi lateral terkecil dari bentuk penampang sesungguhnya. Luas bruto yang diperhitungkan, persentase tulangan perlu, dan kuat rencana harus didasarkan pada penampang bulat tersebut.

12.8.4 — Batasan penampang

Penentuan tulangan dan kuat rencana minimum dari suatu komponen struktur tekan dengan penampang yang lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan peninjauan pembebanan yang ada boleh dilakukan dengan menggunakan suatu luas efektif penampang yang direduksi A_g yang nilainya tidak kurang dari setengah luas total penampang yang ada. Ketentuan ini tidak berlaku pada wilayah dengan resiko gempa tinggi.

12.9 — Pembatasan untuk tulangan komponen struktur tekan

12.9.1 — Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas bruto penampang A_g .

PENJELASAN

S12.8 — Dimensi rencana untuk komponen struktur tekan

Dengan *ACI Code* 1971, ukuran minimum untuk komponen struktur tekan dihapus untuk memungkinkan pemanfaatan yang lebih luas terhadap komponen struktur tekan beton bertulang pada struktur yang berukuran lebih kecil dengan beban ringan, seperti hunian tingkat rendah dan bangunan kantor ringan. Insinyur harus menyadari kebutuhan untuk pelaksanaan yang hati-hati, begitu juga peningkatan tegangan susut yang signifikan dengan penampang kecil.

S12.8.2, S12.8.3, dan S12.8.4 — Untuk desain kolom,^{12.23} ketentuan tata cara ini untuk kuantitas tulangan, baik vertikal maupun spiral, didasarkan pada luasan bruto kolom dan luasan inti, dan desain kekuatan kolom didasarkan pada luasan bruto penampang kolom. Namun, dalam beberapa kasus, luas bruto ternyata lebih besar dari yang diperlukan untuk memikul beban terfaktor. Dasar dari 12.8.2, 12.8.3, dan 12.8.4 adalah memuaskan untuk mendesain kolom dengan ukuran yang cukup untuk memikul beban terfaktor dan kemudian secara mudah menambahkan beton disekeliling penampang desain tanpa menambah tulangan untuk memenuhi persentase minimum yang disyaratkan oleh 12.9.1. Beton tambahan harus tidak diperhitungkan sebagai pemikul beban; akan tetapi, pengaruh beton tambahan pada kekakuan komponen struktur harus disertakan dalam analisis struktur. Pengaruh beton tambahan juga harus diperhitungkan dalam desain bagian struktur lainnya yang berinteraksi dengan komponen struktur yang berukuran lebih besar.

S12.9 — Pembatasan untuk tulangan komponen struktur tekan

S12.9.1 — Pasal ini menetapkan pembatasan pada jumlah tulangan longitudinal untuk komponen struktur tekan non-komposit. Jika penggunaan rasio tulangan yang tinggi akan menyulitkan pelaksanaan pengecoran beton, maka harus dipertimbangkan pemakaian persentase tulangan yang lebih rendah dan karena itu perlu kolom yang lebih besar, atau beton atau tulangan dengan mutu lebih tinggi (lihat S11.4). Persentase tulangan pada kolom biasanya harus tidak

TATA CARA

PENJELASAN

melebihi 4 persen jika batang tulangan kolom disyaratkan pakai sambungan lewatan (*lap spliced*).

Tulangan minimum — Karena metoda desain untuk kolom mencakup ketentuan yang terpisah untuk beban yang dipikul oleh beton dan oleh tulangan, maka perlu untuk menentukan suatu jumlah tulangan minimum untuk memastikan bahwa hanya kolom beton bertulang didesain dengan prosedur ini. Tulangan diperlukan untuk menyediakan tahanan terhadap lentur, yang mungkin ada baik perhitungan menunjukkan ada atau tidaknya lentur, dan untuk mereduksi pengaruh rangkakan dan susut beton akibat tegangan tekan yang tetap. Hasil uji telah menunjukkan bahwa rangkakan dan susut cenderung untuk mentransfer beban dari beton ke tulangan, dengan konsekuensi kenaikan tegangan pada tulangan, dan peningkatan ini akan lebih besar bila rasio tulangan menurun. Kecuali jika batasan bawah rasio ini diadakan, tegangan pada tulangan dapat meningkat sampai tingkat leleh akibat beban layan tetap. Fenomena ini ditekankan dalam laporan dari *ACI Committee 105*^{12,24} dan rasio tulangan minimum sebesar 0,01 dan 0,005 direkomendasikan berturut-turut untuk kolom berspiral dan bersengkang. Akan tetapi, dalam semua edisi *ACI Code* sejak 1936, rasio minimum telah menjadi 0,01 untuk kedua tipe kolom bertulangan lateral.

Tulangan maksimum — Hasil uji yang ekstensif pada investigasi kolom *ACI*^{12,24} melibatkan rasio tulangan yang tidak lebih besar dari 0,06. Meskipun hasil uji lainnya dengan tulangan sebanyak 17 persen dalam bentuk batang memberikan hasil yang serupa dengan yang diperoleh sebelumnya, namun perlu dicatat bahwa beban dalam hasil uji ini diterapkan melalui pelat tumpuan pada ujung kolom dan karena itu permasalahan transfer jumlah proporsional beban ke batang tulangan telah diminimumkan atau dihindari. Rasio maksimum sebesar 0,08 dan 0,03 direkomendasikan oleh *ACI Committee 105*^{12,24} berturut-turut untuk kolom berspiral dan berpengikat. Dalam *ACI Code 1936*, batasan ini dibuat berturut-turut 0,08 dan 0,04. Dalam *ACI Code 1956*, batasan untuk kolom berpengikat dengan lentur dinaikkan menjadi 0,08. Sejak *ACI Code 1963*, telah disyaratkan bahwa lentur diperhitungkan dalam desain semua kolom dan rasio maksimum sebesar 0,08 telah diterapkan pada kedua tipe kolom. Batasan ini dapat dianggap suatu maksimum yang praktis untuk tulangan dalam segi ekonomi dan persyaratan untuk pengecoran.

12.9.2 — Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segi empat atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segi tiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dilingkupi oleh spiral yang memenuhi 12.9.3.

S12.9.2 — Untuk komponen struktur tekan, minimum empat batang longitudinal disyaratkan bila batang dilingkupi oleh pengikat persegi atau lingkaran. Untuk bentuk lainnya, sebuah batang harus disediakan pada setiap sudut dan disediakan tulangan lateral yang tepat. Sebagai contoh, kolom segitiga berpengikat memerlukan tiga batang tulangan longitudinal, sebuah di setiap sudut pengikat segitiga. Untuk batang yang dilingkupi oleh spiral, diperlukan enam batang.

TATA CARA

12.9.3 — Rasio tulangan spiral ρ_s tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh persamaan:

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \quad (27)$$

dengan f_y adalah kuat leleh tulangan spiral, tapi tidak boleh diambil lebih dari 400 MPa.

12.10 — Pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan

12.10.1 — Kecuali sebagaimana yang diperbolehkan pada 12.10.2, perencanaan komponen struktur tekan, balok pengekang, dan komponen struktur pendukung lainnya harus berdasarkan pada gaya dalam dan momen terfaktor hasil analisis orde-dua yang memperhitungkan non-linieritas bahan dan retak, serta pengaruh kelengkungan komponen tekan dan goyangan lateral, durasi beban, rangkai dan susut, dan interaksi dengan fondasi pendukung. Apabila ukuran-ukuran penampang dari komponen struktur yang digunakan pada analisis berbeda 10% atau lebih dari ukuran-ukuran pada gambar rencana akhir, maka analisis harus diulang. Prosedur analisis yang digunakan harus sudah pernah memperlihatkan hasil yang menunjukkan korelasi yang baik dengan hasil pengujian pada kolom beton bertulang statis tak tentu.

PENJELASAN

Bilamana jumlah batang tulangan dalam susunan lingkaran kurang dari delapan, orientasi batang tulangan akan mempengaruhi kuat momen kolom yang terbebani secara eksentris dan harus diperhatikan dalam desain.

S12.9.3 — Pengaruh tulangan spiral dalam meningkatkan kekuatan beton didalam intinya tidak akan terwujud sampai setelah kolom tersebut dikenai beban dan deformasi yang cukup membuat cangkang (*shell*) beton diluar intinya terkelupas (*spall off*). Jumlah tulangan spiral yang disyaratkan oleh Pers. (27) dimaksudkan untuk menyediakan tambahan kekuatan pada kolom yang terbebani secara konsentris yang sama dengan atau sedikit lebih besar dari kuat yang hilang pada saat cangkangnya terkelupas. Prinsip ini telah direkomendasikan oleh *ACI Committee 105*^{12,24} dan telah menjadi bagian dari *ACI Code* sejak 1963. Derivasi dari Pers. (27) diberikan dalam laporan *ACI Committee 105*. Hasil uji dan pengalaman menunjukkan bahwa kolom yang mengandung jumlah tulangan spiral yang disyaratkan oleh pasal ini menunjukkan kekokohan (*toughness*) dan daktilitas yang cukup besar.

S12.10 — Pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan

Ketentuan untuk pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan dan rangka telah direvisi dalam *ACI Code* 1995 untuk memahami secara lebih baik penggunaan analisis orde kedua dan untuk memperbaiki tatanan ketentuan yang berhubungan dengan rangka bergoyang (tak berpengaku) dan tak bergoyang (berpengaku).^{12,25} Penggunaan analisis orde-kedua non-linier yang teliti diijinkan dalam 12.10.1. Pasal 12.11, 12.12, dan 12.13 menyajikan metoda desain pendekatan berdasarkan pada metoda pembesaran momen tradisional. Untuk rangka bergoyang, momen goyangan yang diperbesar δM_s dapat dihitung menggunakan analisis elastis orde kedua, dengan pendekatan untuk analisis seperti itu, atau dengan pembesaran momen goyangan tradisional.

S12.10.1 — Dua batasan diberikan pada penggunaan analisis orde kedua yang diperbaiki. Pertama, struktur yang dianalisis harus mempunyai komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur pada struktur akhir. Jika komponen struktur pada struktur akhir mempunyai dimensi penampang berbeda lebih dari 10 persen dari dimensi yang diasumsikan dalam analisis, sifat komponen struktur yang baru harus dihitung dan analisis diulang. Kedua, prosedur analisis orde kedua yang diperbaiki harus sudah terbukti dapat memprediksi beban ultimat dengan selisih kurang dari 15 persen dari yang dilaporkan dalam hasil uji struktur beton bertulang tak-tentu. Paling sedikit, perbandingan harus menyertakan hasil uji kolom pada bidang rangka tak bergoyang, rangka bergoyang, rangka dengan kekakuan kolom yang bervariasi. Untuk membolehkan variabilitas pada sifat komponen struktur aktual dan dalam analisis,

TATA CARA

12.10.2 — Sebagai alternatif, perencanaan komponen struktur tekan, balok pengekang, dan komponen pendukung dapat dilakukan dengan menggunakan nilai gaya aksial dan momen hasil analisis yang diuraikan pada 12.11.

12.11 — Perbesaran momen — Umum

12.11.1 — Gaya-gaya aksial terfaktor, P_u , momen terfaktor M_1 dan M_2 pada ujung-ujung kolom dan bilamana diperlukan simpangan relatif antar lantai, Δ_o , harus dihitung dengan analisis elastis rangka orde-satu, dimana besaran-besaran penampang ditentukan dengan memperhatikan pengaruh beban aksial, adanya retak sepanjang bentang komponen struktur, dan pengaruh durasi beban. Sebagai alternatif, nilai-nilai besaran di bawah ini boleh digunakan untuk komponen-komponen struktur pada bangunan yang ditinjau:

(a) Modulus elastisitas	E_c dari 10.5.1
(b) Momen inersia	
Balok.....	$0,35I_g$
Kolom	$0,70I_g$
Dinding—Tak retak.....	$0,70I_g$
—Retak	$0,35I_g$
Pelat datar dan slab datar.....	$0,25I_g$
(c) Luas.....	$1,0A_g$

Nilai momen inersia tersebut harus dibagi dengan $(1 + \beta_d)$:

- (a) bila beban lateral yang bekerja bersifat tetap, atau

PENJELASAN

sifat komponen struktur yang digunakan dalam analisis harus dikalikan dengan faktor reduksi kekakuan ϕ_K kurang dari satu. Untuk konsistensi dengan analisis orde kedua dalam 12.13.4.1, faktor reduksi kekakuan ϕ_K dapat diambil sebesar 0,80. Konsep faktor reduksi kekakuan ϕ_K didiskusikan dalam S12.12.3.

S12.10.2 — Sebagai alternatif untuk analisis orde kedua yang diperbaiki dari 12.10.1, desain dapat didasarkan pada analisis elastis dan pendekatan pembesaran momen.^{12.26,12.27} Momen goyangan yang diperbesar untuk rangka bergoyang dapat dihitung menggunakan analisis elastis orde kedua berdasarkan pada harga kekakuan yang realistis. Lihat S12.13.4.1.

S12.11 — Perbesaran momen — Umum

Pasal ini menjelaskan prosedur desain pendekatan yang menggunakan konsep pembesaran momen untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan. Momen yang dihitung menggunakan analisis rangka orde pertama yang biasa dikalikan dengan pembesaran momen yang merupakan fungsi dari beban aksial terfaktor P_u dan beban tekuk kritis P_c untuk kolom. Rangka tak bergoyang dan bergoyang diperlakukan secara terpisah dalam 12.12 dan 12.13. Ketentuan yang dapat diterapkan pada kedua kolom tak bergoyang dan bergoyang diberikan dalam 12.11. Analisis rangka orde pertama adalah analisis elastis yang tidak menyertakan pengaruh gaya internal yang dihasilkan dari defleksi.

S12.11.1 — Kekakuan EI yang digunakan dalam analisis elastis yang dipakai untuk desain kekuatan harus mewakili kekakuan komponen struktur sesaat sebelum kegagalan. Hal ini adalah sangat benar untuk analisis orde kedua yang harus memprediksi defleksi lateral pada saat beban mendekati ultimat. Nilai EI harus tidak secara total didasarkan pada hubungan momen-kurvatur untuk penampang yang terbebani paling tinggi disepanjang panjang setiap komponen struktur. Sebagai gantinya, nilai EI tersebut harus sesuai dengan hubungan momen-rotasi ujung untuk komponen struktur yang lengkap.

Nilai alternatif E_c , I_g , dan A_g yang diberikan dalam 12.11.1 telah dipilih dari hasil uji dan analisis rangka dan menyertakan tambahan untuk variabilitas defleksi yang dihitung. Modulus elastisitas E_c didasarkan pada kuat beton yang ditetapkan sementara defleksi goyangan merupakan fungsi dari kuat beton rata-rata, yang lebih tinggi. Momen inersia diambil sebesar 0,875 kali momen inersia dalam Referensi 12.28. Dua pengaruh ini menghasilkan estimasi defleksi orde kedua yang berlebihan didalam rentang 20 sampai 25 persen, sesuai dengan faktor reduksi kekakuan implisit ϕ_K sebesar 0,80 sampai 0,85 pada perhitungan stabilitas. Konsep faktor reduksi kekakuan ϕ_K didiskusikan dalam S12.12.3.

TATA CARA

(b) untuk pengecekan stabilitas sesuai dengan 12.13.6.

PENJELASAN

Momen inersia balok-T harus didasarkan pada lebar sayap efektif yang didefinisikan dalam 10.10. Pada umumnya cukup akurat untuk mengambil I_g balok-T sebesar dua kali I_g untuk badan, $2(b_w h^3/12)$.

Jika momen dan geser terfaktor dari analisis berdasarkan pada momen inersia dinding yang diambil sama dengan $0,70I_g$ menunjukkan bahwa dinding akan retak oleh lentur, berdasarkan pada modulus pecah, di tingkat-tingkat dimana retak diprediksi akan terjadi oleh beban terfaktor analisis harus diulang dengan $I = 0,35I_g$.

Nilai alternatif momen inersia yang diberikan dalam 12.11.1 diturunkan untuk komponen struktur non-prategang. Untuk komponen struktur prategang, momen inersia bisa berbeda dari nilai dalam 12.11.1 tergantung pada jumlah, lokasi, dan tipe tulangan dan derajat retak sebelum ultimat. Nilai kekakuan untuk komponen struktur beton prategang harus menyertakan cadangan untuk variabilitas kekakuan.

Pasal 12.11 sampai 12.13 menyediakan persyaratan untuk kekuatan dan mengasumsikan analisis rangka akan dilakukan menggunakan beban terfaktor. Analisis defleksi, vibrasi, dan perioda bangunan diperlukan pada berbagai tingkat beban layan (tak terfaktor)^{12.29,12.30} untuk menentukan kemampuan layan struktur dan mengestimasi gaya angin didalam laboratorium terowongan angin (*wind tunnel*). Geser dasar gempa juga didasarkan pada perioda vibrasi beban layan/kerja. Beban layan dan defleksi yang diperbesar dengan analisis orde kedua harus juga dihitung menggunakan beban layan. Oleh karenanya, momen inersia komponen struktur dalam analisis beban layan harus representatif terhadap derajat retak pada berbagai tingkat beban layan yang diinvestigasi. Kecuali tersedia estimasi derajat retak yang lebih akurat pada desain tingkat beban layan, dipandang memuaskan untuk menggunakan $1/0,70 = 1,43$ kali momen inersia yang diberikan dalam 12.11.1 untuk analisis beban layan.

Bagian terakhir dalam 12.11.1 merujuk pada kasus beban lateral tetap yang tidak biasa. Kasus seperti itu mungkin terjadi, sebagai contoh, jika terdapat beban lateral permanen yang dihasilkan dari tekanan tanah yang tidak sama pada kedua sisi sebuah bangunan.

12.11.2 — Radius girasi

Radius girasi r boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, untuk komponen struktur tekan persegi, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya, r boleh dihitung dari penampang beton bruto.

TATA CARA

PENJELASAN

12.11.3 — Panjang bebas (tak tertopang) dari komponen tekan

12.11.3.1 — Panjang bebas, ℓ_u , dari sebuah komponen tekan harus diambil sama dengan jarak bersih antara pelat lantai, balok, atau komponen lain yang mampu memberikan tahanan lateral dalam arah yang ditinjau.

12.11.3.2 — Bila terdapat kepala kolom atau perbesaran balok, maka panjang bebas harus diukur terhadap posisi terbawah dari kepala kolom atau perbesaran balok dalam bidang yang ditinjau.

12.11.4 — Kolom dan tingkat pada struktur, harus dikelompokkan sebagai tidak bergoyang atau bergoyang. Kolom atau tingkat pada rangka tak bergoyang harus direncanakan menurut 12.12, sedangkan kolom atau tingkat pada rangka bergoyang harus direncanakan menurut 12.13.

12.11.4.1 — Kolom suatu struktur boleh dianggap tak bergoyang bila perbesaran momen-momen ujung akibat pengaruh orde-dua tidak melebihi 5% dari momen-momen ujung orde-satu.

12.11.4.2 — Suatu tingkat pada struktur boleh dianggap tidak bergoyang bila nilai:

$$Q = \sum P_u \Delta_o / (V_u \ell_c) \quad (28)$$

tidak lebih besar dari 0,05, dengan $\sum P_u$ dan V_u masing-masing adalah beban vertikal total dan gaya geser lantai total pada tingkat yang ditinjau, dan Δ_o adalah simpangan relatif antar tingkat orde-pertama pada tingkat yang ditinjau akibat V_u .

12.11.5 — Ketentuan 12.10.1 harus digunakan untuk menghitung gaya-gaya dan momen pada rangka, apabila komponen-komponen struktur tekan tunggal pada rangka yang ditinjau memiliki kelangsingan, $k \ell_u / r$ lebih besar daripada 100.

S12.11.4 — Metoda desain pembesaran momen mensyaratkan perencana untuk membedakan antara rangka tak bergoyang, yang didesain menurut 12.12, dan rangka bergoyang, yang didesain menurut 12.13. Seringkali ini dapat diperiksa dengan membandingkan kekakuan kolom lateral total di suatu tingkat dengan kekakuan elemen pengaku (*bracing*). Suatu komponen struktur tekan bisa diasumsikan tak bergoyang dengan pemeriksaan jika komponen struktur tersebut berlokasi di suatu tingkat dimana elemen pengaku (dinding geser, rangka batang (*truss*) geser, atau tipe pengaku lateral lainnya) mempunyai kekakuan lateral yang cukup besar untuk menahan defleksi lateral tingkat itu sehingga semua defleksi lateral yang dihasilkan tidak cukup besar untuk banyak mempengaruhi kuat kolomnya. Jika tidak jelas terlihat dengan pemeriksaan, 12.11.4.1 dan 12.11.4.2 memberikan dua cara yang mungkin untuk melakukan ini. Dalam 12.11.4.1, suatu tingkat pada sebuah rangka dikatakan sebagai tak bergoyang jika kenaikan momen beban lateral yang dihasilkan dari pengaruh $P\Delta$ tidak melebihi 5 persen dari momen orde pertama.^{12,28} Pasal 12.11.4.2 memberikan metoda alternatif untuk menentukan ini berdasarkan pada indeks stabilitas Q untuk suatu tingkat. Dalam perhitungan Q , $\sum P_u$ harus sesuai dengan kasus pembebanan lateral dimana $\sum P_u$ adalah yang terbesar. Rangka bisa mengandung baik tingkat yang tak bergoyang maupun bergoyang. Uji ini tidak akan cocok jika V_u adalah nol.

Jika defleksi beban lateral rangka telah dihitung menggunakan beban layan dan momen inersia beban layan memakai sesuai 12.11.1, maka diijinkan untuk menghitung Q dalam Pers. (28) menggunakan 1,2 kali jumlah beban gravitasi layan, beban geser layan tingkat, dan 1,43 kali defleksi order pertama suatu tingkat beban layan.

S12.11.5 — Suatu batasan atas diberikan pada rasio kelangsingan kolom yang didesain dengan metoda pembesaran momen dari 12.11 sampai 12.13. Tidak ada batasan serupa diberikan jika desain dilakukan menurut 12.10.1. Batasan $k \ell_u / r = 100$ mewakili rentang atas dari uji-uji aktual komponen struktur tekan langsung pada rangka.

TATA CARA

12.11.6 — Pada komponen struktur tekan yang mengalami lentur terhadap kedua arah sumbu utamanya, besarnya momen terhadap masing-masing sumbu harus diperbesar secara terpisah berdasarkan kondisi pengekangan pada masing-masing sumbu yang ditinjau.

12.12 — Perbesaran momen — Rangka portal tak bergoyang

12.12.1 — Faktor panjang efektif, k , untuk komponen struktur tekan dari rangka tak bergoyang, harus diambil sama dengan dengan 1,0 kecuali ditunjukkan lain oleh analisis. Perhitungan k harus berdasarkan pada nilai-nilai E dan I pada 12.11.1 dengan menggunakan Gambar 5.

PENJELASAN

S12.11.6 — Bila lentur biaksial terjadi pada komponen struktur tekan, maka momen yang dihitung terhadap setiap sumbu utamanya harus diperbesar. Faktor pembesaran δ dihitung dengan memperhitungkan beban tekuk P_c terhadap setiap sumbunya secara terpisah berdasarkan pada panjang efektif $k\ell_u$ dan kekakuan EI yang sesuai. Jika kapasitas tekuk terhadap kedua sumbunya berbeda, maka akan dihasilkan faktor pembesaran yang berbeda.

S12.12 — Perbesaran momen — Rangka portal tak bergoyang

S12.12.1 — Persamaan pembesaran momen diturunkan untuk kolom dengan ujung tersendi dan harus dimodifikasi untuk memperhitungkan pengaruh kekangan ujung. Hal ini dilakukan dengan menggunakan panjang efektif $k\ell_u$ didalam perhitungan P_c .

Alat bantu desain primer untuk mengestimasi faktor panjang efektif k adalah *Jackson dan Moreland Alignment Chart* (Gambar 5), yang memungkinkan penentuan k secara grafis untuk kolom dengan penampang konstan pada suatu rangka dengan bentang banyak.^{12.31,12.32}

Panjang efektif merupakan fungsi kekakuan relatif di setiap ujung komponen struktur tekan. Studi-studi telah menunjukkan bahwa pengaruh persentase tulangan balok dan kolom yang bervariasi dan retak balok harus ditinjau dalam penentuan kekakuan ujung relatif. Dalam penentuan ψ yang dipakai untuk mengevaluasi faktor panjang efektif k , kekakuan komponen struktur lentur bisa dihitung berdasarkan $0,35I_g$ untuk memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan relatif komponen struktur lentur, dan $0,70I_g$ untuk komponen struktur tekan.

Persamaan-persamaan yang disederhanakan berikut bisa dipakai untuk menghitung faktor panjang efektif untuk komponen struktur tak bergoyang dan bergoyang. Pers. (A), (B), dan (E) diambil dari *British Standard Code of Practice 1972*.^{12.33,12.34} Pers. (C) dan (D) untuk komponen struktur bergoyang telah dikembangkan dalam Referensi 12.32.

Untuk komponen struktur tekan pada rangka tak bergoyang, batas atas untuk faktor panjang efektif dapat diambil yang lebih kecil dari dua persamaan berikut:

$$k = 0,7 + 0,05(\psi_A + \psi_B) \leq 1,0 \quad (A)$$

$$k = 0,85 + 0,05\psi_{min} \leq 1,0 \quad (B)$$

dimana ψ_A dan ψ_B adalah nilai-nilai ψ di kedua ujung kolom dan ψ_{min} adalah yang lebih kecil dari kedua nilai tersebut.

Untuk komponen struktur tekan pada rangka bergoyang,

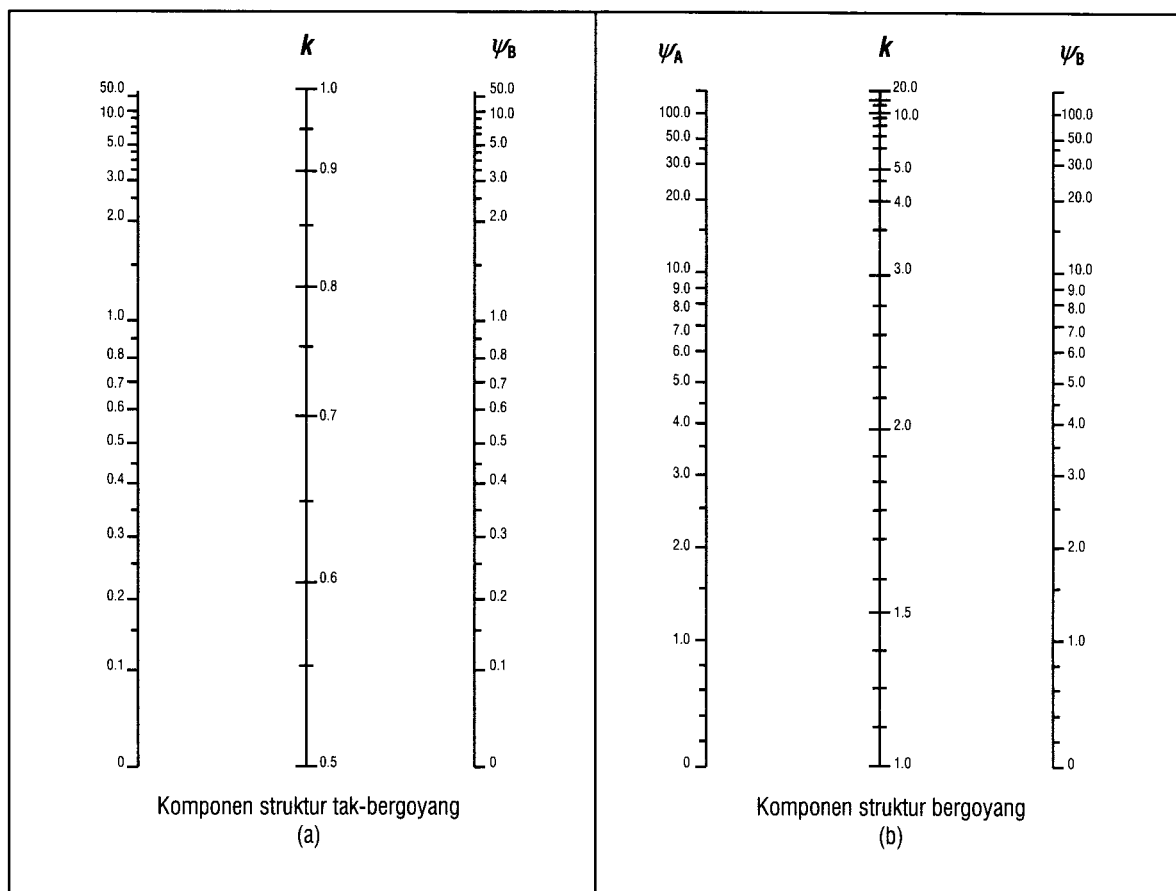
TATA CARA

PENJELASAN

yang dikekang pada kedua ujungnya, faktor panjang efektif dapat diambil sebagai berikut:

Untuk $\psi_m < 2$

$$k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m} \quad (C)$$

**CATATAN:**

ψ rasio $\Sigma(EI/\ell)$ dari komponen struktur tekan terhadap $\Sigma(EI/\ell)$ dari komponen struktur lentur pada salah satu ujung komponen struktur tekan yang dihitung dalam bidang rangka yang ditinjau.

ℓ panjang bentang dari komponen struktur lentur yang diukur dari pusat ke pusat *joint*.

ψ_A dan ψ_B nilai-nilai ψ pada kedua ujung kolom.

Gambar 5—Faktor panjang efektif, k

TATA CARA

PENJELASAN

Untuk $\psi_m \geq 2$

$$k = 0,9\sqrt{1 + \psi_m} \quad (D)$$

dimana ψ_m adalah rata-rata nilai ψ di kedua ujung komponen struktur tekan.

Untuk komponen struktur tekan pada rangka bergoyang, yang tersendi di satu ujungnya, faktor panjang efektif dapat diambil:

$$k = 2,0 + 0,3\psi \quad (E)$$

dimana ψ adalah nilai di ujung yang terkekang.

Penggunaan grafik dalam Gambar 5, atau persamaan-persamaan dalam pasal ini, bisa dianggap memenuhi persyaratan tata cara ini yang membenarkan k kurang dari 1,0.

12.12.2 — Pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan boleh diabaikan pada rangka tak bergoyang apabila dipenuhi :

$$\frac{k\ell_u}{r} \leq 34 - 12\left(\frac{M_1}{M_2}\right) \quad (29)$$

dengan suku $[34 - 12(M_1/M_2)]$ tidak boleh diambil lebih besar dari 40. Suku M_1/M_2 bernilai positif bila kolom melentur dengan kelengkungan tunggal dan bernilai negatif bila kolom melentur dengan kelengkungan ganda.

12.12.3 — Komponen struktur tekan harus direncanakan dengan menggunakan beban aksial terfaktor P_u dan momen terfaktor yang diperbesar, M_c , yang didefinisikan sebagai :

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \quad (30)$$

dengan,

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} \geq 1,0 \quad (31)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k\ell_u)^2} \quad (32)$$

Bila tidak menggunakan perhitungan yang lebih akurat, EI dalam Persamaan 32 boleh diambil sebesar

$$EI = \frac{(0,2E_c I_g + E_s I_{se})}{1 + \beta_d} \quad (33)$$

S12.12.2 — Pers. (29) diturunkan dari Pers. (31) dengan mengasumsikan bahwa kenaikan momen 5 persen akibat kelangsingan bisa diterima.^{12.26} Derivasi tersebut tidak menyertakan ϕ didalam perhitungan pembesaran momen. Sebagai pendekatan pertama, k bisa diambil sama dengan 1,0 dalam Pers. (29).

S12.12.3 — Faktor- ϕ yang dipakai dalam desain kolom langsing mewakili dua sumber variabilitas yang berbeda. Pertama, faktor reduksi kekakuan ϕ dalam persamaan pembesaran pada *ACI Code* 1989 dan yang terdahulu dimaksudkan untuk memperhitungkan variabilitas kekakuan EI dan analisis pembesaran momen. Kedua, variabilitas kuat penampang diperhitungkan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 0,70 untuk kolom bersengkang dan 0,75 untuk kolom berspiral. Studi-studi yang dilaporkan dalam Referensi 12.35 menunjukkan bahwa faktor reduksi kekakuan ϕ_K , dan faktor reduksi kekuatan ϕ penampang tidak mempunyai nilai yang sama, kebalikan dengan asumsi dalam *ACI Code* 1989 dan yang terdahulu. Studi-studi ini menyarankan faktor reduksi kekakuan ϕ_K untuk kolom yang terisolasi harus sebesar 0,75 baik untuk kolom bersengkang maupun berspiral. Faktor 0,75 dalam Pers. (31) dan (40) adalah faktor reduksi kekakuan ϕ_K dan mengganti faktor ϕ dalam persamaan-persamaan ini pada *ACI Code* 1989 dan yang terdahulu. Hal ini telah dilakukan untuk menghindari kerancuan antara faktor reduksi kekakuan ϕ_K dalam Pers. (31) dan (40), dan faktor reduksi kekuatan ϕ penampang.

TATA CARA

atau secara lebih konservatif

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d} \quad (34)$$

12.12.3.1 — Untuk komponen struktur tanpa beban transversal di antara tumpuannya, C_m dalam Persamaan 31 harus diambil sebesar

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \quad (35)$$

dengan M_1/M_2 bernilai positif bila kolom melentur dengan kelengkungan tunggal. Untuk komponen struktur dengan beban transversal di antara tumpuannya, C_m harus diambil sama dengan 1,0.

12.12.3.2 — Momen terfaktor M_2 dalam Persamaan 30 tidak boleh diambil lebih kecil dari:

$$M_{2,\min} = P_u(15 + 0,03h) \quad (36)$$

untuk masing-masing sumbu yang dihitung secara terpisah, dimana satuan h adalah milimeter. Untuk komponen struktur dengan $M_{2,\min} > M_2$, maka nilai C_m dalam Persamaan 35 harus

PENJELASAN

Dalam menentukan beban kritis, permasalahan utamanya adalah pemilihan kekakuan EI yang cukup mendekati variasi kekakuan akibat retak, rangkai, dan ketidaklinieran kurva tegangan-regangan beton. Pers. (33) diturunkan untuk rasio eksentrisitas yang kecil dan tingkat beban aksial yang tinggi dimana pengaruh kelangsingan menonjol sekali.

Rangkai akibat beban tetap akan meningkatkan defleksi lateral kolom dan karenanya terjadi pembesaran momen. Untuk desain, hal ini didekati dengan mereduksi kekakuan EI yang digunakan untuk menghitung P_c dan kemudian δ_{ms} dengan membagi EI dengan $(1 + \beta_d)$. Hal ini merefleksikan pelelehan prematur baja dalam kolom yang dikenai beban tetap.

Baik Pers. (33) maupun (34) bisa dipakai untuk menghitung EI . Pers. (34) adalah pendekatan yang disederhanakan dari Pers. (33). Pers. (34) kurang akurat dibandingkan Pers. (33).^{12,36} Pers. (34) dapat disederhanakan lebih jauh dengan mengasumsikan $\beta_d = 0,6$. Bila hal ini dilakukan Pers. (34) menjadi

$$EI = 0,25E_c I_g \quad (F)$$

Istilah β_d didefinisikan berbeda untuk rangka tak bergoyang dan bergoyang. Lihat Lampiran (Normatif) Daftar Notasi. Untuk rangka tak bergoyang, β_d adalah rasio beban tetap aksial terfaktor maksimum dengan beban aksial terfaktor maksimum.

S12.12.3.1 — Faktor C_m adalah faktor koreksi momen ekuivalen. Derivasi pembesaran momen mengasumsikan bahwa momen maksimum berada di atau dekat tengah ketinggian kolom. Jika momen maksimum terjadi di satu ujung kolom, desain harus didasarkan pada momen seragam ekuivalen $C_m M_2$ yang akan memberikan momen maksimum yang sama bilamana dibesarkan.^{12,26}

Dalam kasus komponen struktur tekan yang dikenai pembebanan transversal diantara pendukungnya, momen maksimum mungkin akan terjadi pada penampang diluar ujung komponen struktur. Jika hal ini terjadi, nilai momen terbesar yang dihitung yang terjadi dimana saja sepanjang komponen struktur harus digunakan untuk nilai M_2 dalam Pers. (30). Menurut kalimat terakhir dari 12.12.3.1, C_m diambil sebesar 1,0 untuk kasus ini.

S12.12.3.2 — Dalam tata cara ini, kelangsingan diperhitungkan dengan pembesaran momen ujung kolom. Jika momen kolom terfaktor sangat kecil atau nol, desain kolom langsing harus didasarkan pada eksentrisitas minimum yang diberikan dalam pasal ini. Eksentrisitas minimum tidak dimaksudkan untuk diterapkan terhadap kedua sumbu secara serentak.

Momen ujung kolom terfaktor dari analisis struktur

TATA CARA

ditentukan:

- (a) sama dengan 1,0, atau
- (b) berdasarkan pada rasio antara M_1 dan M_2 yang dihitung.

12.13 — Perbesaran momen — Rangka portal bergoyang

12.13.1 — Untuk komponen tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping, faktor panjang efektif, k , harus ditentukan dengan menggunakan nilai-nilai E dan I yang sesuai dengan 12.11.1, dan harus lebih besar dari 1,0.

12.13.2 — Untuk komponen tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan apabila kL_u/r lebih kecil dari 22.

12.13.3 — Momen M_1 dan M_2 pada ujung-ujung komponen struktur tekan harus diambil sebesar:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (37)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (38)$$

dengan $\delta_s M_{1s}$ dan $\delta_s M_{2s}$ harus dihitung menurut 12.13.4.

PENJELASAN

digunakan dalam Pers. (35) dalam menentukan rasio M_1/M_2 untuk kolom bilamana desain harus didasarkan pada eksentrisitas minimum. Hal ini mengeliminasi terjadinya diskontinuitas antara kolom dengan eksentrisitas yang dihitung kurang dari eksentrisitas minimum dan kolom dengan eksentrisitas yang dihitung sama dengan atau lebih besar dari eksentrisitas minimum.

S12.13 — Perbesaran momen — Rangka portal bergoyang

Desain rangka bergoyang untuk kelangsingan direvisi dalam *ACI Code* 1995. Prosedur yang direvisi terdiri dari tiga langkah:

- (1) Momen goyangan yang dibesarkan $\delta_s M_s$ dihitung. Hal ini harus dilakukan dengan satu dari tiga cara berikut. Pertama, analisis rangka elastis orde kedua bisa dipakai (12.13.4.1). Kedua, pendekatan pada analisis tersebut (12.13.4.2) bisa dipakai. Pilihan ketiga adalah menggunakan pembesar goyangan δ_s dari edisi-edisi *ACI Code* yang terdahulu (12.13.4.3);
- (2) Momen goyangan yang dibesarkan $\delta_s M_s$ ditambahkan pada momen tak bergoyang yang tidak dibesarkan M_{ns} di setiap ujung dari setiap kolom (12.13.3). Momen tanpa goyangan bisa dihitung menggunakan analisis elastis orde pertama;
- (3) Jika kolom tersebut langsing dan dikenai beban berat, maka kolom tersebut diperiksa untuk mengetahui apakah momen di titik-titik antara ujung-ujung kolom melebihi yang di ujung kolom. Seperti dispesifikasikan dalam 12.13.5 hal ini dilakukan menggunakan pembesaran rangka tak bergoyang δ_{ns} dengan P_c yang dihitung mengasumsikan $k = 1,0$ atau kurang.

S12.13.1 — Lihat S12.12.1.

S12.13.3 — Analisis yang dijelaskan dalam pasal ini hanya berkaitan dengan rangka bidang yang dikenai beban yang mengakibatkan defleksi dalam bidang itu. Jika ada perpindahan puntir signifikan, analisis orde kedua tiga dimensi harus digunakan.

TATA CARA

12.13.4 — Cara menghitung $\delta_s M_s$

12.13.4.1 — Momen-momen goyangan yang diperbesar, $\delta_s M_s$, harus diambil sebesar momen-momen ujung kolom yang dihitung dengan menggunakan analisis elastis orde-dua berdasarkan nilai kekakuan komponen struktur yang diberikan pada 12.11.1.

12.13.4.2 — Sebagai alternatif, $\delta_s M_s$ boleh diambil sebesar

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} \geq M_s \quad (39)$$

Apabila nilai δ_s yang dihitung dengan cara ini lebih besar dari 1,5, maka $\delta_s M_s$ harus dihitung dengan menggunakan ketentuan pada 12.13.4.1 atau 12.13.4.3.

PENJELASAN

S12.13.4 — Cara menghitung $\delta_s M_s$

S12.13.4.1 — Analisis orde kedua adalah analisis rangka yang menyertakan pengaruh gaya internal yang dihasilkan dari defleksi. Bila analisis elastis orde kedua digunakan untuk menghitung $\delta_s M_s$, maka defleksi harus mewakili tingkat sesaat sebelum beban ultimat. Untuk alasan ini nilai $E_c I_g$ tereduksi yang diberikan dalam 12.11.1 harus digunakan didalam analisis orde kedua.

Istilah β_d didefinisikan berbeda untuk rangka tak bergoyang dan bergoyang. Lihat Lampiran A—Daftar Notasi. Defleksi goyangan akibat beban jangka pendek seperti angin atau gempa merupakan fungsi kekakuan kolom jangka pendek yang mengikuti perioda beban gravitasi tetap. Untuk kasus ini definisi β_d dalam Lampiran A—Daftar Notasi memberikan $\beta_d = 0$. Dalam kasus rangka bergoyang yang tidak biasa dimana beban lateral bersifat tetap, β_d tidak akan nol. Hal ini mungkin terjadi jika bangunan diatas lapangan yang miring dikenai tekanan tanah pada satu sisinya tetapi tidak dikenai pada sisi lainnya.

Dalam analisis orde kedua beban aksial dalam semua kolom yang bukan merupakan bagian elemen penahan beban lateral dan tergantung pada elemen-elemen ini untuk stabilitasnya harus disertakan.

Dalam *ACI Code* 1989 dan yang terdahulu, persamaan pembesaran momen untuk δ_b dan δ_s menyertakan faktor reduksi kekakuan ϕ_k untuk menampung variabilitas dalam perhitungan stabilitas. Metoda analisis orde kedua didasarkan pada nilai E dan I dari 12.11.1. Hal ini memberikan estimasi defleksi lateral yang berlebihan 20 sampai 25 persen yang sesuai dengan faktor reduksi kekakuan ϕ_k antara 0,80 dan 0,85 pada momen $P\Delta$. Tidak diperlukan faktor- ϕ tambahan dalam perhitungan stabilitas. Setelah momen diperoleh, pemilihan penampang kolom melibatkan faktor reduksi kekuatan ϕ dari 11.3.2.2.

S12.13.4.2 — Analisis iteratif $P\Delta$ untuk momen orde kedua bisa diwakili dengan rangkaian yang tak hingga. Penyelesaian rangkaian ini diberikan oleh Pers. (39).^{12,28} Referensi 12.37 menunjukkan bahwa Pers. (39) memprediksi secara mendekati momen orde kedua dalam rangka bergoyang sampai δ_s melebihi 1,5.

Diagram momen $P\Delta$ untuk kolom yang terdefleksi adalah melengkung, dengan Δ terkait dengan bentuk kolom yang terdefleksi. Pers. (39) dan kebanyakan analisis rangka orde kedua komersial yang tersedia telah diturunkan dengan mengasumsikan bahwa momen $P\Delta$ yang dihasilkan dari gaya-gaya yang sama dan berlawanan sebesar $P\Delta/\ell_c$ yang diterapkan di ujung bawah dan atas tingkat. Gaya-gaya ini memberikan diagram momen $P\Delta$ garis lurus. Diagram momen $P\Delta$ yang melengkung menghasilkan perpindahan lateral sekitar 15 persen lebih besar daripada perpindahan

TATA CARA

PENJELASAN

lateral dari diagram momen $P\Delta$ garis lurus. Pengaruh ini bisa diikutkan dalam Pers. (39) dengan memakai penyebut sebesar $(1 - 1,15Q)$ daripada $(1 - Q)$. Faktor 1,15 telah ditanggalkan dari Pers. (39) untuk menjaga konsistensi dengan program komputer yang tersedia.

Jika defleksi telah dihitung menggunakan beban layan, Q dalam Pers. (39) harus dihitung dengan cara yang dijelaskan dalam S12.11.4.

Dalam *ACI Code* 1989 dan yang terdahulu, persamaan pembesaran momen untuk δ_b dan δ_s menyertakan faktor reduksi kekakuan ϕ_k untuk memasukkan variabilitas dalam perhitungan stabilitas. Analisis faktor Q didasarkan pada defleksi yang dihitung menggunakan nilai E_c dan I_g dari 12.11.1, yang menyertakan ekuivalen dari faktor reduksi kekakuan ϕ_k seperti dijelaskan dalam S12.13.4.1. Sebagai akibatnya, tidak diperlukan faktor- ϕ tambahan dalam perhitungan stabilitas. Setelah momen diperoleh menggunakan Pers. (39), pemilihan penampang kolom melibatkan faktor reduksi kekuatan ϕ dari 11.3.2.2.

12.13.4.3 — Sebagai alternatif lainnya, $\delta_s M_s$ boleh dihitung sebagai berikut :

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq M_s \quad (40)$$

dengan ΣP_u adalah jumlah seluruh beban vertikal terfaktor yang bekerja pada suatu tingkat, dan ΣP_c adalah jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada suatu tingkat. P_c dihitung dengan Persamaan 32 menggunakan k dari 12.13.1 dan EI dari 12.12.3.

S12.13.4.3 — Untuk memeriksa pengaruh stabilitas tingkat, δ_s dihitung sebagai nilai rata-rata untuk keseluruhan tingkat yang bersangkutan berdasarkan pada penggunaan $\Sigma P_u / \Sigma P_c$. Hal ini merefleksikan interaksi semua kolom penahan goyangan pada tingkat tersebut oleh pengaruh $P\Delta$ karena defleksi lateral semua kolom pada tingkat tersebut harus sama, dengan tiadanya perpindahan torsi terhadap sumbu vertikal. Sebagai tambahan, ada kemungkinan kolom individual yang sangat langsing pada rangka bergoyang bisa mempunyai defleksi yang besar di tengah ketinggian meskipun defleksi ujung lateral telah ditahan secara cukup oleh kolom lainnya pada tingkat tersebut. Kolom seperti itu akan mempunyai L_u/r lebih besar dari nilai yang diberikan dalam Pers. (41) dan harus diperiksa menggunakan 12.13.5.

Jika defleksi beban lateral melibatkan perpindahan torsi yang signifikan, pembesaran momen pada kolom yang terjauh dari pusat puntir mungkin akan terestimasi lebih rendah oleh prosedur pembesaran momen. Dalam kasus seperti itu, analisis orde kedua tiga dimensi harus dipertimbangkan.

0,75 dalam penyebut Pers. (40) merupakan faktor reduksi kekakuan ϕ_k seperti dijelaskan dalam S12.12.3.

Dalam perhitungan EI , β_d normalnya akan bernilai nol untuk rangka bergoyang karena beban lateral pada umumnya berdurasi singkat. (Lihat S12.13.4.1).

12.13.5 — Sebuah komponen struktur tekan dengan kelangsingan

S12.13.5 — Momen tak bergoyang yang tidak dibesarkan di ujung-ujung kolom ditambahkan pada momen bergoyang yang dibesarkan di titik-titik yang sama. Umumnya, satu dari momen ujung yang dihasilkan merupakan momen maksimum pada kolom. Akan tetapi,

TATA CARA

$$\frac{\ell_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c A_g}}} \quad (41)$$

harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor P_u dan momen M_c yang dihitung menurut 12.12.3 dimana M_1 dan M_2 dihitung menurut 12.13.3, β_d ditentukan sesuai dengan kombinasi beban yang digunakan, dan k ditentukan menurut 12.12.1.

12.13.6 — Selain memperhitungkan kasus-kasus pembebanan yang melibatkan beban lateral, harus pula diperhitungkan kekuatan dan stabilitas struktur sebagai satu kesatuan akibat beban gravitasi terfaktor:

(a) Apabila $\delta_s M_s$ dihitung menurut ketentuan dalam 12.13.4.1, maka rasio defleksi lateral orde-dua terhadap defleksi lateral orde-satu untuk kasus pembebanan **1,2D** dan **1,6L** ditambah beban lateral yang bekerja pada struktur, tidak boleh melebihi 2,5.

(b) Apabila $\delta_s M_s$ dihitung menurut ketentuan dalam 12.13.4.2, maka nilai Q yang dihitung menggunakan ΣP_u untuk pembebanan **1,2D** ditambah **1,6L**, tidak boleh melebihi 0,60.

(c) Apabila $\delta_s M_s$ dihitung menurut ketentuan dalam 12.13.4.3, maka δ_s yang dihitung menggunakan ΣP_u dan ΣP_c akibat beban mati dan beban hidup terfaktor, harus bernilai positif dan tidak boleh melebihi 2,5.

Dalam kasus (a), (b), dan (c) di atas, β_d harus diambil sama dengan rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial total terfaktor maksimum.

PENJELASAN

untuk kolom langsing dengan beban aksial yang tinggi, titik momen maksimum dapat berada diantara ujung-ujung kolom sehingga momen ujung bukan lagi momen maksimum. Jika ℓ_u/r kurang dari nilai yang diberikan oleh Pers. (41) momen maksimum di semua titik sepanjang ketinggian kolom tersebut akan kurang dari 1,05 kali momen ujung maksimum. Bila ℓ_u/r melebihi nilai yang diberikan oleh Pers. (41), momen maksimum akan terjadi di titik antara ujung-ujung kolom dan akan melebihi momen ujung maksimum dengan lebih dari 5 persen.^{12,25} Dalam kasus seperti itu, momen maksimum dihitung dengan membesarkan momen ujung menggunakan Pers. (30).

S12.13.6 — Kemungkinan ketidakstabilan goyangan samping (*sidesway*) akibat beban gravitasi saja harus diinvestigasi. Bila menggunakan analisis orde kedua untuk menggabungkan $\delta_s M_s$ (12.13.4.1), rangka harus dianalisis dua kali untuk kasus beban gravitasi terfaktor ditambah beban lateral yang diterapkan pada rangka. Beban ini dapat berupa beban lateral yang digunakan dalam desain atau beban tersebut dapat berupa beban lateral tunggal yang dikenakan pada bagian teratas rangka. Analisis pertama harus berupa analisis orde pertama; analisis kedua harus berupa analisis orde kedua. Defleksi dari analisis orde kedua harus tidak melebihi 2,5 kali defleksi dari analisis orde pertama. Jika suatu tingkat jauh lebih fleksibel daripada yang lainnya, rasio defleksi harus dihitung pada tingkat itu. Beban lateral harus cukup besar untuk memberikan defleksi yang besarnya bisa dibandingkan secara akurat. Pada rangka tak simetris yang berdefleksi lateral akibat beban gravitasi saja, beban lateral harus bekerja dalam arah dimana beban lateral itu akan meningkatkan defleksi lateral.

Bila menggunakan 12.13.4.2 untuk menghitung $\delta_s M_s$, nilai Q yang dievaluasi menggunakan beban gravitasi terfaktor harus tidak melebihi 0,60. Ini adalah ekuivalen dengan $\delta_s = 2,5$. Nilai V_u dan Δ_o yang digunakan untuk menghitung Q dapat dihasilkan dari asumsi sembarang kumpulan beban lateral riil atau beban lateral apapun asalkan V_u dan Δ_o keduanya dari pembebanan yang sama. Jika Q seperti dihitung dalam 12.11.4.2 adalah 0,2 atau kurang, maka pemeriksaan stabilitas dalam 12.13.6 dipenuhi.

Bila $\delta_s M_s$ dihitung menggunakan Pers. (40), batas atas sebesar 2,5 dikenakan pada δ_s . Untuk nilai δ_s yang lebih tinggi, rangka akan menjadi sangat rentan terhadap variasi EI dan rotasi pondasi. Jika δ_s melebihi 2,5, rangka harus diperkaku untuk mereduksi δ_s . ΣP_u harus menyertakan beban aksial pada semua kolom dan dinding termasuk kolom yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan beban lateral. Nilai $\delta_s = 2,5$ adalah pengali yang sangat tinggi. Nilai tersebut telah dipilih untuk mengganti sifat konservatif dalam prosedur pembesaran momen.

Untuk rangka tak bergoyang, β_d adalah rasio dari beban

TATA CARA

12.13.7 — Pada rangka portal bergoyang, komponen-komponen lentur (balok) harus direncanakan terhadap momen-momen ujung total yang diperbesar dari komponen-komponen tekan yang bertemu dengan komponen-komponen lentur tersebut pada titik kumpul (*joint*).

12.14 — Komponen struktur dengan beban aksial yang mendukung sistem pelat

Komponen struktur dengan beban aksial yang mendukung suatu sistem pelat yang tercakup dalam ruang lingkup 15.1 harus direncanakan menurut ketentuan dalam Pasal 12 dan sesuai dengan persyaratan tambahan dari Pasal 15.

12.15 — Penyaluran beban kolom melalui sistem pelat lantai

Bila kuat tekan beton yang disyaratkan pada suatu kolom melebihi 1,4 kali kuat tekan yang disyaratkan pada sistem pelat lantai, maka penyaluran beban melalui sistem pelat lantai tersebut harus dimungkinkan berdasarkan salah satu ketentuan berikut:

12.15.1 — Beton yang dicor pada pelat lantai di lokasi kolom harus mempunyai kekuatan yang sama dengan kuat tekan beton yang ditentukan untuk kolom. Permukaan atas beton yang dicor pada kolom harus menjorok sejauh 600 mm ke dalam pelat lantai diukur dari muka kolom. Beton kolom harus menyatu dengan baik pada beton pelat lantai dan harus dicor mengikuti ketentuan 8.4.5 dan 8.4.6.

PENJELASAN

tetap aksial terfaktor terhadap beban aksial terfaktor maksimum.

S12.13.7 — Kuat rangka bergoyang ditentukan oleh stabilitas kolom dan oleh derajat kekangan ujung yang disediakan oleh balok dalam rangka tersebut. Jika sendi plastis terbentuk dalam balok pengekang, struktur tersebut mendekati mekanisme kegagalan dan kapasitas beban aksialnya secara drastis tereduksi. Pasal 12.13.7 menentukan bahwa perencana memastikan komponen struktur lentur yang mengekang mempunyai kapasitas untuk menahan momen kolom yang diperbesar.

S12.15 — Penyaluran beban kolom melalui sistem pelat lantai

Persyaratan pasal ini didasarkan pada makalah mengenai pengaruh kekuatan lantai beton pada kekuatan kolom.^{12,38} Ketentuan tersebut bermaksud bahwa bila kekuatan kolom beton tidak melampaui kekuatan lantai beton dengan lebih dari 40 persen, tidak perlu dilakukan pengamanan khusus. Untuk kekuatan kolom beton yang lebih tinggi, metoda dalam 12.15.1 atau 12.15.2 harus digunakan untuk kolom sudut atau tepi. Metoda dalam 12.15.1, 12.15.2, atau 12.15.3 harus digunakan untuk kolom interior dengan kekangan yang cukup pada semua empat sisinya.

S12.15.1 — Penerapan prosedur pengecoran beton yang dijelaskan dalam 12.15.1 mensyaratkan pengecoran dua campuran beton yang berbeda dalam sistem lantai. Campuran dengan kekuatan yang lebih rendah harus sudah dicor sewaktu beton dengan kekuatan yang lebih tinggi masih plastis dan harus divibrasi/digetar secara cukup untuk memastikan beton tersebut terintegrasi dengan baik. Hal ini memerlukan koordinasi pengiriman beton secara hati-hati dan kemungkinan pemakaian bahan penghambat (*retarder*). Dalam beberapa kasus, pelayanan inspeksi tambahan akan diperlukan bilamana prosedur ini digunakan. Hal yang penting adalah bahwa beton dengan kekuatan yang lebih tinggi pada lantai di daerah kolom dicor sebelum beton dengan kekuatan yang lebih rendah dicor pada sisa lantai untuk mencegah beton dengan kekuatan rendah yang tidak disengaja dicor di daerah kolom. Perencana bertanggung jawab untuk menunjukkan di gambar dimana ditempatkan beton yang akan dicor mempunyai kekuatan yang tinggi dan rendah.

Dengan *ACI Code* 1983, jumlah beton kolom yang harus

TATA CARA

12.15.2 — Kekuatan suatu kolom yang menembus suatu sistem pelat lantai harus didasarkan pada nilai kuat tekan beton yang lebih kecil dengan pasak vertikal dan spiral yang dipasang sesuai keperluan yang ada.

12.15.3 — Untuk kolom yang ditumpu secara lateral pada keempat sisinya oleh balok-balok yang tingginya kira-kira sama atau oleh pelat, kekuatan kolom boleh didasarkan pada kuat beton yang diasumsikan di daerah joint kolom, yaitu sama dengan 75% kuat beton kolom ditambah dengan 35% kuat beton pelat lantai. Pada penerapan ketentuan ini dalam perencanaan, rasio kuat beton kolom terhadap kuat beton pelat lantai tidak boleh diambil lebih besar daripada 2,5.

12.16 — Komponen struktur tekan komposit

12.16.1 — Komponen struktur tekan komposit mencakup semua komponen struktur yang ditulangi dalam arah longitudinal dengan baja profil struktural, pipa, atau tabung, dengan atau tanpa batang tulangan longitudinal.

12.16.2 — Kekuatan suatu komponen struktur komposit harus dihitung berdasarkan kondisi batas yang sama dengan kondisi batas yang berlaku untuk komponen struktur beton bertulang biasa.

12.16.3 — Setiap kuat dukung beban aksial yang didistribusikan pada beton dari suatu komponen struktur komposit harus disalurkan ke beton melalui komponen struktur atau konsol yang menumpu langsung pada bagian beton dari komponen struktur komposit.

12.16.4 — Semua kuat dukung beban aksial yang tidak didistribusikan pada beton dari suatu komponen struktur komposit harus disalurkan melalui hubungan langsung pada baja profil struktural, pipa, atau tabung.

12.16.5 — Untuk keperluan evaluasi dari pengaruh kelangsingan, radius girasi suatu penampang komposit tidak boleh lebih besar dari nilai yang diberikan oleh

PENJELASAN

dicor pada lantai dinyatakan secara sederhana sebagai perpanjangan 600 mm dari muka kolom. Karena persyaratan pengecoran beton harus dilakukan di lapangan, hal tersebut sekarang dinyatakan dengan cara yang lebih jelas untuk pekerja. Persyaratan yang baru juga akan menempatkan permukaan interaksi antara beton kolom dan lantai yang makin jauh ke lantai, menjauh dari daerah dengan geser yang sangat tinggi.

S12.15.3 — Riset^{12.39} telah menunjukkan bahwa pelat yang terbebani berat tidak menghasilkan pengekanan sebesar pelat yang terbebani ringan bila rasio kekuatan beton kolom terhadap kekuatan beton pelat melebihi sekitar 2,5. Konsekuensinya, suatu batasan diberikan pada rasio kuat beton yang diasumsikan dalam desain.

S12.16 — Komponen struktur tekan komposit

S12.16.1 — Kolom komposit didefinisikan tanpa referensi untuk klasifikasi kombinasi, komposit, atau kolom pipa yang diisi beton. Referensi untuk metal/logam lainnya yang digunakan untuk tulangan telah diabaikan karena metal lainnya tersebut jarang digunakan dalam konstruksi beton.

S12.16.2 — Aturan yang sama yang digunakan untuk perhitungan kekuatan interaksi beban-momen untuk penampang beton bertulang bisa diterapkan untuk penampang komposit. Grafik interaksi untuk tabung (*tube*) yang diisi beton akan mempunyai bentuk yang identik dengan bentuk dari ACI SP-7^{12.40} dan *ACI Design Handbook*^{12.32} tetapi dengan γ sedikit lebih besar dari 1,0.

S12.16.3 dan S12.16.4 — Tumpuan langsung atau hubungan langsung untuk mentransfer gaya antara baja dan beton dapat dibentuk melalui tuas (*lugs*), pelat, atau batang tulangan yang dilas pada profil struktural (*structural shape*) atau tabung (*tubing*) sebelum beton dicetak. Tegangan tekan lentur tidak perlu diperhitungkan sebagai bagian dari beban tekan langsung yang dibentuk oleh tumpuan. Pembungkus beton disekeliling profil baja struktural (*structural steel shape*) bisa memperkaku bentuknya, tetapi tidak mesti meningkatkan kekuatannya.

S12.16.5 — Pers. (42) diberikan karena aturan dari 12.11.2 untuk mengestimasi radius girasi terlalu konservatif untuk tabung (*tubing*) yang diisi beton dan tidak bisa diterapkan untuk komponen struktur dengan profil struktural (*structural shapes*) yang terbungkus. Pada kolom beton bertulang yang dikenai beban tetap,

TATA CARA

$$r = \sqrt{\frac{(E_c I_g / 5) + E_s I_t}{(E_c A_g / 5) + E_s A_t}} \quad (42)$$

Bila tidak menggunakan perhitungan yang lebih akurat, EI pada Persamaan 32 boleh ditentukan menurut Persamaan 33 atau

$$EI = \frac{(E_c I_g / 5)}{1 + \beta_d} + E_s I_t \quad (43)$$

12.16.6 — Inti beton yang berselubung baja struktural harus memenuhi ketentuan berikut:

12.16.6.1 — Untuk suatu komponen struktur komposit dengan inti beton yang berselubung baja struktural, tebal dari baja selubung tidak boleh kurang dari

$$b \sqrt{\frac{f_y}{3E_s}} \text{ untuk tiap sisi dengan lebar } b$$

ataupun

$$h \sqrt{\frac{f_y}{8E_s}} \text{ untuk penampang bulat berdiameter } h$$

12.16.6.2 — Batang tulangan longitudinal yang berada di dalam inti beton yang terselubungi boleh diperhitungkan dalam menghitung A_t dan I_t .

12.16.7 — Suatu komponen struktur komposit dengan suatu inti baja struktural yang dibungkus oleh beton bertulang berspiral harus memenuhi ketentuan berikut:

12.16.7.1 — Kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c tidak boleh kurang dari 17,5 MPa.

12.16.7.2 — Kuat leleh rencana inti baja struktural harus diambil sama dengan kuat leleh minimum yang disyaratkan untuk mutu baja struktural yang dipakai tetapi tidak boleh lebih dari 350 MPa.

12.16.7.3 — Tulangan spiral harus mengikuti ketentuan 12.9.3.

12.16.7.4 — Batang tulangan longitudinal yang terletak di dalam daerah lilitan spiral tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas netto penampang beton.

12.16.7.5 — Batang tulangan longitudinal yang terletak di dalam daerah lilitan spiral boleh diperhitungkan dalam

PENJELASAN

rangkai mentransfer sebagian beban dari beton ke baja, yang meningkatkan tegangan baja. Dalam kasus kolom bertulangan ringan, transfer beban ini dapat mengakibatkan baja tekan meleleh secara prematur, mengakibatkan kehilangan EI efektifnya. Sesuai dengannya, kedua suku beton dan baja dalam Pers. (33) direduksi untuk memperhitungkan rangkai. Untuk kolom bertulangan berat atau untuk kolom komposit dimana pipa atau profil struktural memberikan persentase penampang yang besar, transfer beban akibat rangkai tidak signifikan. Sesuai dengannya, Pers. (43) telah direvisi dalam *ACI Code Supplement* 1980 sehingga hanya EI beton yang direduksi untuk pengaruh beban tetap.

S12.16.6 — Inti beton yang berselubung baja struktural

Penampang beton yang berselubung baja harus mempunyai tebal dinding metal yang cukup besar untuk mencapai tegangan leleh longitudinal sebelum tertekuk keluar.

S12.16.7 — Beton yang secara lateral dikembang dengan spiral telah meningkatkan kuat pemikul bebannya, dan ukuran spiral yang disyaratkan bisa diatur berdasarkan kuat beton diluar spiral, alasan yang sama berlaku untuk kolom yang hanya ditulangi dengan batang longitudinal. Tekanan radial yang diberikan oleh spiral memastikan interaksi antara beton, batang tulangan, dan inti baja sehingga batang longitudinal selain akan memperkaku juga akan memperkuat penampangnya.

TATA CARA

menentukan A_i dan I_i .

12.16.8 — Suatu komponen struktur komposit dengan suatu inti baja struktural yang dibungkus oleh beton yang diikat secara lateral harus memenuhi ketentuan berikut:

12.16.8.1 — Kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c tidak boleh kurang dari 17,5 MPa.

12.16.8.2 — Kuat leleh rencana inti baja struktural harus diambil sama dengan kuat leleh minimum yang disyaratkan untuk mutu baja struktural yang dipakai tetapi tidak boleh lebih dari 350 MPa.

12.16.8.3 — Sengkang pengikat lateral harus dipasang sepenuhnya menerus di sekeliling inti baja struktural.

12.16.8.4 — Sengkang pengikat harus mempunyai diameter tidak kurang dari 1/50 kali dimensi sisi terbesar dari komponen struktur komposit. Namun, diameter sengkang pengikat tersebut tidak boleh lebih kecil dari D-10 dan tidak perlu lebih besar dari D-16. Jaring kawat las yang mempunyai luas ekuivalen boleh juga digunakan sebagai sengkang pengikat.

12.16.8.5 — Spasi vertikal antara sengkang pengikat lateral tidak boleh melebihi 16 diameter batang tulangan longitudinal, 48 diameter batang sengkang pengikat, atau 1/2 kali dimensi sisi terkecil dari komponen struktur komposit.

12.16.8.6 — Batang tulangan longitudinal yang dipasang di dalam daerah yang dilingkupi sengkang pengikat tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas netto penampang beton.

12.16.8.7 — Pada setiap sudut penampang persegi harus dipasang satu batang tulangan longitudinal, dan tulangan longitudinal lainnya dipasang dengan spasi yang tidak lebih dari setengah dimensi sisi terkecil dari komponen struktur komposit.

12.16.8.8 — Batang tulangan longitudinal yang dipasang di dalam daerah yang dilingkupi sengkang pengikat boleh diperhitungkan dalam menentukan A_i untuk perhitungan kekuatan tetapi tidak boleh diperhitungkan dalam menentukan I_i untuk memeriksa pengaruh kelangsingan.

12.17 — Kuat tumpu

Kuat tumpu rencana dibatasi oleh ketentuan-ketentuan berikut:

12.17.1 — Kuat tumpu rencana pada beton tidak boleh melebihi $\phi(0,85 f'_c A_i)$, kecuali dalam hal berikut:

12.17.1.1 — Bila permukaan penumpu lebih lebar dari

PENJELASAN

S12.16.8 — Beton yang secara lateral dikembang dengan batang pengikat cenderung sedikit tipis disepanjang paling sedikit satu muka penampang inti baja. Maka dari itu, interaksi lengkap antara inti, beton dan semua tulangan memanjang harus tidak diasumsikan. Beton mungkin akan terpisah dari muka inti baja yang licin. Untuk mempertahankan beton disekeliling inti baja struktural, wajar untuk mensyaratkan pengikat lateral yang lebih dari yang diperlukan untuk kolom beton bertulang biasa. Karena kemungkinan pemisahan pada regangan tinggi antara inti baja dan beton, batang longitudinal akan menjadi tidak efektif dalam memperkaku penampang walaupun baja longitudinal berguna didalam menahan gaya tekan. Kuat leleh inti baja harus dibatasi sampai tegangan yang terjadi pada regangan yang dibawah regangan yang dapat ditahan tanpa terjadinya pengelupasan (*spalling*) beton. Beton yang tertekan secara aksial telah diasumsikan tidak akan terkelupas pada regangan yang kurang dari 0,0018. Kuat lelehnya sebesar $0,0018 \times 200.000$ atau 360 MPa, yang mewakili batas atas tegangan baja maksimum yang berguna.

S12.17 — Kuat tumpu

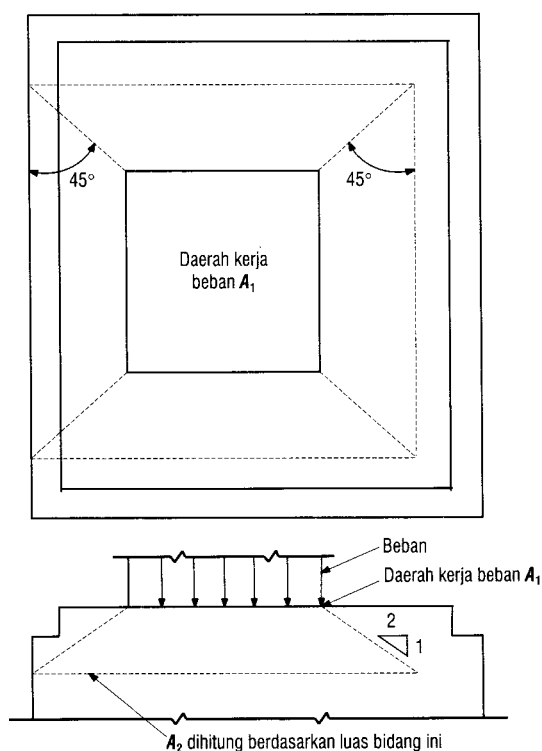
S12.17.1 — Pasal ini membahas kuat tumpu pendukung beton. Tegangan tumpu yang diijinkan sebesar $0,85 f'_c$ didasarkan pada uji-uji yang dilaporkan dalam Referensi 12.41. (Lihat juga 17.8).

Bilamana luasan pendukung lebih lebar dari luasan yang

TATA CARA

permukaan beban pada semua sisinya, kuat tumpu rencana di daerah yang dibebani boleh dikalikan dengan $\sqrt{A_2/A_1}$, tetapi tidak lebih dari 2 (Gambar 6).

12.17.1.2 — Bila permukaan penumpu miring atau berundak, A_2 boleh diambil sebagai luas dari dasar yang lebih bawah dari *frustum* (piramida terpancung) terbesar dari suatu piramida tegak lurus atau konus yang semuanya tercakup di dalam penumpu dengan permukaan pembebanan sebagai dasar atas, dan dengan kemiringan sisi sebesar 1 vertikal berbanding 2 horizontal (Gambar 6).



Gambar 6—Penentuan A_2 pada permukaan penumpu miring atau berundak

12.17.2 — 12.17 tidak berlaku untuk angkur pasca tarik.

PENJELASAN

dibebani pada semua sisinya, beton disekelilingnya yang mengekang luasan tumpu, menghasilkan peningkatan kuat tumpu. Tidak ada ketentuan tebal minimum untuk komponen struktur pendukung. Tebal minimum pendukung akan dikontrol oleh persyaratan geser dari 13.12.

Bilamana bagian teratas pendukung dimiringkan atau berundak, keuntungan masih bisa diperoleh pada kondisi dimana komponen struktur pendukungnya lebih besar dari luasan yang dibebani, asalkan komponen struktur pendukungnya tidak miring dengan sudut yang terlalu besar. Gambar 6 menggambarkan penerapan piramida terpancung (*frustum*) untuk mencari A_2 . Piramida terpancung tersebut harus tidak rancu dengan alur penyebaran beban yang berjalan ke bawah melalui pendukungnya. Alur beban tersebut akan mempunyai sisi yang lebih tajam. Akan tetapi, piramida terpancung yang digambarkan itu mempunyai sedikit kemiringan sisi datarnya untuk memastikan adanya beton yang langsung mengelilingi daerah tegangan tinggi pada tumpuan. A_1 adalah luasan yang dibebani tetapi tidak lebih besar dari pelat tumpu atau luasan penampang tumpunya.

S12.17.2 — Angkur pasca tarik biasanya ditulangi secara lateral, sesuai dengan 20.13.

PASAL 13 — GESER DAN PUNTIR

TATA CARA

13.1 — Kuat geser

13.1.1 — Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (44)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (45)$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton sesuai dengan 13.3 atau 13.4, dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser sesuai dengan 13.5.6;

Dalam menentukan kuat geser harus dipenuhi:

13.1.1.1 — Dalam penentuan kuat geser V_n , pengaruh dari setiap bukaan pada komponen struktur harus diperhitungkan.

13.1.1.2 — Dalam penentuan kuat geser V_c , pengaruh tarik aksial yang disebabkan oleh rangkai dan susut pada komponen struktur yang dikekang deformasinya harus diperhitungkan. Pengaruh tekan lentur miring pada komponen struktur lentur yang tingginya bervariasi boleh diperhitungkan.

13.1.2 — Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan di dalam pasal ini tidak boleh melebihi 25/3 MPa, kecuali seperti yang diizinkan di dalam 13.1.2.1.

PENJELASAN

Pasal ini termasuk ketentuan mengenai geser dan torsi baik untuk komponen struktur beton bukan prategang maupun prategang. Konsep geser-friksi (13.7) khususnya dipakai untuk desain detail tulangan pada struktur pracetak. Ketentuan khusus termasuk untuk komponen struktur lentur tinggi (13.8), konsol pendek (13.9), dan dinding (13.10). Ketentuan geser untuk plat dan pondasi telapak diberikan di Pasal 13.12.

S13.1 — Kuat geser

Kuat geser didasarkan pada tegangan geser rata-rata pada penampang efektif penuh $b_w d$. Dalam komponen struktur tanpa tulangan geser, geser diasumsikan ditahan oleh beton. Dalam komponen struktur dengan tulangan geser, porsi kuat geser diasumsikan disumbangkan oleh beton dan sisanya oleh tulangan geser.

Kuat geser yang diberikan oleh V_c diasumsikan sama untuk balok dengan dan tanpa tulangan geser dan dianggap sebagai geser yang mengakibatkan retak miring yang berarti. Asumsi ini didiskusikan dalam Referensi 13.1, 13.2, dan 13.3.

S13.1.1.1 — Bukaan pada web/badan komponen struktur dapat mereduksi kekuatan gesernya. Pengaruh bukaan didiskusikan dalam Pasal 6.7 dari Referensi 13.1 dan dalam Referensi 13.4 dan 13.5.

S13.1.1.2 — Dalam komponen struktur dengan ketinggian yang bervariasi, geser internal pada suatu penampang dinaikkan atau diturunkan oleh komponen vertikal tegangan lentur miring. Metoda perhitungan diuraikan secara garis besar di dalam berbagai buku teks dan dalam *Joint Committee Report* 1940.^{13.6}

S13.1.2 — Jumlah hasil uji^{13.7,13.8} yang terbatas dari balok beton bertulang yang dari beton mutu tinggi (f'_c lebih besar dari 55 MPa) menyarankan bahwa beban yang menimbulkan retak miring meningkat lebih kecil daripada yang disarankan oleh Pers. (46) atau (48). Pengurangan ini disebabkan oleh peningkatan efektivitas dari sengkang dibandingkan dengan taksiran kekuatan oleh Pers. (58), (59), dan (60). Hasil uji lain^{13.9} pada girder beton mutu tinggi dengan penulangan web yang minimum menunjukkan bahwa jumlah tulangan web yang minimum ini tidak cukup untuk menghindarkan kegagalan getas oleh geser ketika terjadi retak miring. Belum ada data hasil uji dari kuat geser pelat beton mutu tinggi dua arah atau kuat

TATA CARA

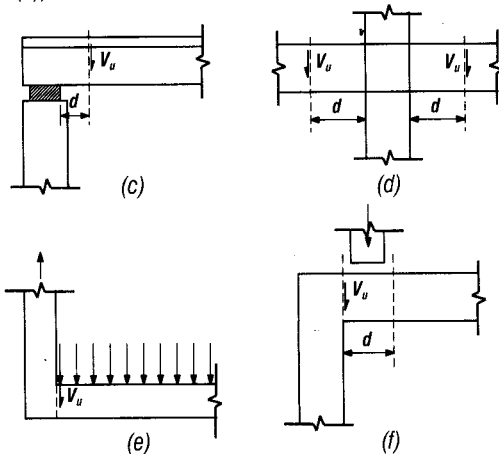
PENJELASAN

13.1.2.1 — Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang lebih besar daripada 25/3 MPa diperbolehkan pada perhitungan V_c , V_{ci} , dan V_{cw} untuk balok beton bertulang atau prategang dan konstruksi balok usuk beton yang mempunyai tulangan geser minimum yang sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan menurut 13.5.5.3 dan 13.5.5.4 atau 13.6.5.2.

13.1.3 — Gaya geser terfaktor maksimum V_u pada tumpuan dapat dihitung menurut 13.1.3.1 atau 13.1.3.2 apabila dipenuhi kedua ketentuan berikut:

- Reaksi tumpuan, dalam arah bekerjanya gaya geser, menimbulkan tekan pada daerah ujung komponen struktur, dan
- Beban bekerja pada atau dekat permukaan atas komponen struktur,
- Tidak ada beban terpusat bekerja di antara muka tumpuan dan lokasi penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.1.3.1 atau 13.1.3.2.

13.1.3.1 — Untuk komponen struktur non-prategang, penampang yang jaraknya kurang daripada d dari muka tumpuan boleh direncanakan terhadap gaya geser V_u yang nilainya sama dengan gaya geser yang dihitung pada penampang sejarak d dari muka tumpuan. (Lihat Gambar 7(c) dan (d)).



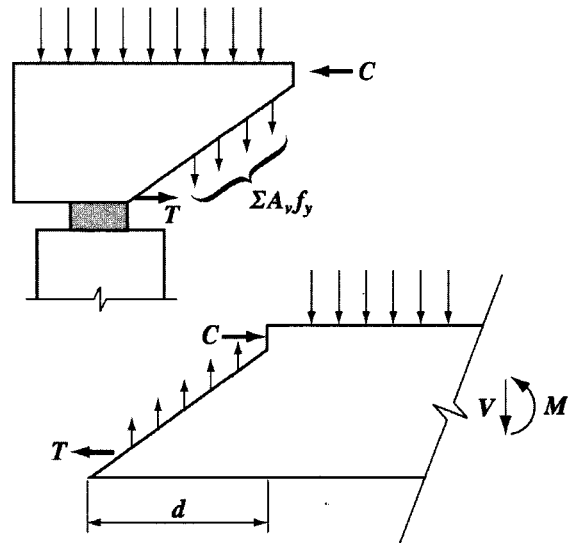
Gambar 7—Lokasi geser maksimum untuk perencanaan

puntir/torsi. Sampai diperoleh lebih banyak pengalaman dengan balok dan pelat yang dibuat dari beton dengan mutu lebih besar dari 69 MPa, dipandang lebih hati-hati untuk membatasi $\sqrt{f'_c}$ sampai 25,3 MPa dalam perhitungan kuat geser dan panjang penyaluran. Untuk balok dengan sengkang yang memadai untuk memiliki kapasitas pasca retak batasan ini tidak berlaku.

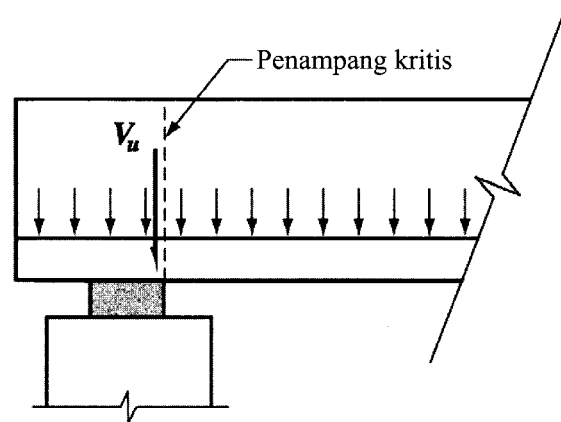
S13.1.3.1 — Retak miring terdekat dari tumpuan balok dalam Gambar S13.1.3.1(a) akan menerus menuju keatas dari muka tumpuan mencapai zona tekan sekitar d dari muka tumpuan. Jika beban diterapkan pada sisi atas balok ini, sengkang yang terpotong oleh retak ini ditegangkan oleh beban yang bekerja pada bagian bawah *freebody* Gambar S13.1.3.1(a). Beban yang bekerja pada balok antara muka kolom dan titik sejarak d dari muka kolom ditransfer secara langsung ke tumpuan oleh tekanan pada web diatas retak. Sesuai ini, tata cara mengijinkan desain untuk gaya geser terfaktor maksimum V_u pada jarak d dari tumpuan untuk komponen struktur nonprategang, dan pada jarak $h/2$ untuk komponen struktur prategang. Dua hal ditekankan: pertama, sengkang disyaratkan memotong retak potensial yang didesain untuk geser sepanjang d dari tumpuan, dan kedua, gaya tarik terjadi dalam tulangan longitudinal di muka tumpuan.

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S13.1.3.1(a)—Diagram badan-bebas (free-body) ujung balok



Gambar S13.1.3.1(b)—Lokasi penampang kritis untuk geser pada komponen struktur yang dibebani dekat bagian terbawah

Dalam Gambar S13.1.3.1(b), beban ditunjukkan bekerja dekat sisi terbawah balok. Dalam kasus ini, penampang kritis diambil di muka tumpuan. Beban yang bekerja dekat tumpuan haruslah ditransfer memotong retak miring yang terus naik keatas dari muka tumpuan. Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis harus termasuk semua beban yang bekerja dibawah retak miring potensial.

Kondisi tumpuan tipikal dimana gaya geser pada jarak d dari tumpuan dapat digunakan termasuk: (1) komponen struktur yang didukung oleh tumpuan di dasar komponen

TATA CARA

PENJELASAN

struktur, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(a); dan (2) komponen struktur yang menjadi satu rangka secara monolit kedalam komponen struktur lainnya seperti digambarkan dalam Gambar 7(d).

Kondisi tumpuan dimana ketentuan ini seharusnya tidak berlaku termasuk: (1) Komponen struktur yang menjadi satu dengan komponen struktur pendukung berbentuk tarik, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(e). Untuk kasus ini, penampang kritis untuk geser harus diambil di muka tumpuan. Geser dalam pertemuan dua komponen itu harus juga diinvestigasi dan tulangan sudut khusus harus disediakan. (2) Komponen struktur dimana beban tidak bekerja di atau dekat bagian teratas komponen struktur. Ini adalah kondisi yang diacu dalam Gambar S13.1.3.1(b). Untuk kasus seperti itu penampang kritis diambil di muka pendukung. Beban yang bekerja dekat pendukung haruslah ditransfer melintas retak miring memanjang keatas dari muka pendukung. Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis harus termasuk semua beban yang diterapkan dibawah retak miring potensial. (3) Komponen struktur yang dibebani sehingga geser di penampang antara tumpuan dan jarak d dari tumpuan berbeda secara radikal dari geser di jarak d . Ini umumnya terjadi pada braket (*brackets*) dan pada balok dimana beban terpusat bekerja dengan tumpuan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(f) atau pada pondasi telapak (*footings*) yang didukung diatas tiang. Dalam kasus ini harus digunakan geser di muka pendukung.

13.1.3.2 — Untuk komponen struktur prategang, penampang yang jaraknya kurang daripada $h/2$ dari muka tumpuan boleh direncanakan terhadap gaya geser V_u yang nilainya sama dengan gaya geser yang dihitung pada penampang sejarak $h/2$ dari muka tumpuan.

S13.1.3.2 — Karena d seringkali bervariasi pada komponen struktur prategang, lokasi penampang kritis diambil secara bebas berjarak sebesar $h/2$ dari muka pendukung.

13.1.4 — Untuk komponen struktur lentur tinggi, konsol pendek, dinding, dan pelat serta fondasi telapak, berlaku ketentuan khusus yang tercantum dalam 13.8 hingga 13.12.

13.2 — Beton ringan

Ketentuan mengenai kuat geser dan torsi pada dasarnya hanya berlaku untuk beton normal. Bila digunakan beton agregat ringan, maka salah satu dari beberapa modifikasi berikut harus diberlakukan terhadap nilai $\sqrt{f'_c}$ di keseluruhan Pasal 13, kecuali 13.5.4.3, 13.5.6.9, 13.6.3.1, 13.12.3.2, dan 13.12.4.8.

13.2.1 — Jika f_{ct} dipersyaratkan dan campuran beton direncanakan sesuai dengan 7.2, maka $1,8f_{ct}$ harus menggantikan $\sqrt{f'_c}$, tetapi nilai $1,8f_{ct}$ tidak boleh melebihi $\sqrt{f'_c}$.

S13.2 — Beton ringan

Dua prosedur alternatif disediakan untuk memodifikasi ketentuan untuk geser dan torsi bila digunakan beton agregat ringan. Modifikasi beton ringan berlaku hanya pada bagian yang mengandung $\sqrt{f'_c}$ dalam persamaan dari Pasal 13.

S13.2.1 — Alternatif pertama pakai dasar modifikasi dari uji laboratorium yang menentukan hubungan antara kuat tarik belah f_{ct} dan kuat tekan f'_c untuk beton ringan yang digunakan. Untuk beton normal, kuat tarik belah f_{ct} kira-kira sama dengan $\sqrt{f'_c}/1,8$.^{13,10,13,11}

TATA CARA

13.2.2 — Jika f_{ct} tidak dipersyaratkan, maka semua harga $\sqrt{f'_c}$ harus dikalikan dengan 0,75 untuk beton ringan-total, dan 0,85 untuk beton ringan-pasir. Jika dilakukan penggantian pasir secara parsial maka faktor pengali bisa didapatkan dengan menggunakan interpolasi linier dari kedua harga tersebut di atas.

13.3 — Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang

13.3.1 — Kuat geser V_c harus dihitung menurut ketentuan pada 13.3.1.1 hingga 13.3.1.3, kecuali bila dihitung secara lebih rinci sesuai dengan ketentuan 13.3.2.

13.3.1.1 — Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku,

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (46)$$

13.3.1.2 — Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial,

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (47)$$

Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa.

13.3.1.3 — Untuk komponen struktur yang dibebani oleh gaya tarik aksial yang cukup besar, tulangan geser harus direncanakan untuk memikul gaya geser total yang terjadi, kecuali bila dihitung secara lebih rinci sesuai dengan ketentuan 13.3.2.3.

13.3.2 — Kuat geser V_c boleh dihitung dengan perhitungan yang lebih rinci menurut 13.3.2.1 hingga 13.3.2.3.

13.3.2.1 — Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja,

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \quad (48)$$

tetapi tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,3\sqrt{f'_c}b_w d$. Dalam perhitungan V_c menggunakan Persamaan 48, besaran $V_u d/M_u$ tidak boleh diambil melebihi 1,0, dimana M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

PENJELASAN

S13.2.2 — Alternatif kedua pakai dasar modifikasi dengan asumsi bahwa kuat tarik beton ringan adalah suatu fraksi tetap kuat tarik beton normal.^{13.11} Pengali didasarkan pada data dari uji^{13.10} banyak tipe beton agregat ringan struktur.

S13.3 — Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang

S13.3.1.1 — Lihat S13.3.2.1.

S13.3.1.2 dan S13.3.1.3 — Lihat S13.3.2.2.

S13.3.2.1 — Pers. (48) merupakan perumusan dasar untuk kuat geser komponen struktur tanpa tulangan geser.^{13.3} Perencana harus menyadari bahwa tiga variabel dalam Pers. (48), $\sqrt{f'_c}$ (sebagai ukuran kuat tarik beton), ρ_w , dan $V_u d/M_u$, diketahui mempengaruhi kuat geser, meskipun beberapa data riset^{13.1,13.12} menunjukkan bahwa Pers. (48) mengestimasi berlebihan pengaruh f'_c dan mengestimasi rendah pengaruh ρ_w dan $V_u d/M_u$. Informasi lebih lanjut^{13.13} telah menunjukkan bahwa kuat geser menurun dengan adanya peningkatan ketinggian komponen struktur.

Nilai minimum M_u sama dengan $V_u d$ dalam Pers. (48)

TATA CARA

13.3.2.2 — Untuk komponen struktur yang dibebani gaya aksial tekan, Persamaan 48 boleh digunakan untuk menghitung V_c dengan nilai M_m menggantikan nilai M_u dan nilai $V_u d/M_u$ boleh diambil lebih besar daripada 1,0, dengan

$$M_m = M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8} \quad (49)$$

Tetapi dalam hal ini, V_c tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$V_c = 0,3 \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0,3N_u}{A_g}} \quad (50)$$

Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa. Bila M_m yang dihitung dengan Persamaan 49 bernilai negatif, maka V_c harus dihitung dengan Persamaan 50.

13.3.2.3 — Untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar,

$$V_c = \left(1 + \frac{0,3N_u}{A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (51)$$

tapi tidak kurang daripada nol, dengan N_u adalah negatif untuk tarik. Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa.

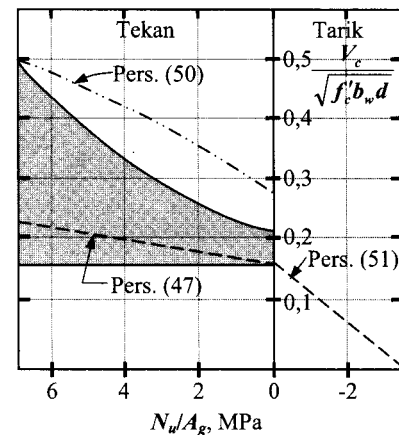
PENJELASAN

adalah untuk membatasi V_c dekat titik balik.

Kebanyakan desain, merasa lebih mudah mengasumsi bagian kedua dari Pers. (48) sama dengan $0,02 \sqrt{f'_c}$ dan memakai V_c sama dengan $(1/6) \sqrt{f'_c} b_w d$ seperti diijinkan dalam Pasal 13.3.1.1.

S13.3.2.2 — Pers. (49) dan (50), yang dipakai untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial disamping kena geser dan lentur diperoleh dari laporan *ACI-ASCE Committee 326*.^{13.3} Bila N_u meningkat, harga V_c yang dihitung dengan Pers. (48) dan (49) akan melampaui batas atas yang diberikan oleh Pers. (50) sebelum nilai M_m yang diberikan oleh Pers. (49) menjadi negatif. Nilai V_c yang diperoleh dari Pers. (48) tidak mempunyai manfaat fisik jika nilai negatif M_m disubstitusikan. Untuk kondisi ini, Pers. (50) atau Pers. (47) harus digunakan untuk menghitung V_c . Nilai V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan beban aksial digambarkan dalam Gambar 13.3.2.2. Latarbelakang untuk persamaan ini telah didiskusikan dan telah dibuat perbandingan dengan data uji dalam Referensi 13.2.

Daerah arsiran menunjukkan rentang harga pendekatan yang didapat dari Pers. (48) dan Pers. (49).



Gambar S13.3.2.2—Perbandingan persamaan kuat geser untuk komponen struktur yang dikenai beban aksial

Karena Pers. (48) dan (49) sangat kompleks, maka ketentuan desain alternatif, Pers. (47), diijinkan.

S13.3.2.3 — Pers. (51) dapat digunakan untuk menghitung V_c komponen struktur yang terkena tarik aksial yang signifikan. Tulangan geser kemudian dapat didesain untuk $V_n - V_c$. Istilah signifikan digunakan untuk mengakui bahwa pendesain harus menggunakan pertimbangan dalam memutuskan apakah tarik aksial perlu diperhitungkan. Tingkat tarik aksial yang rendah seringkali terjadi akibat perubahan volume, tetapi tidak penting pada struktur dengan join ekspansi yang cukup dan tulangan minimum.

TATA CARA

13.3.3 — Untuk komponen struktur bundar, luas yang digunakan untuk menghitung V_c harus diambil sebagai hasil kali dari diameter dan tinggi efektif penampang. Tinggi efektif penampang boleh diambil sebagai 0,8 kali diameter penampang beton.

13.4 — Kuat geser yang disumbangkan beton pada komponen struktur prategang

13.4.1 — Bila tidak dihitung secara rinci menurut ketentuan 13.4.2, maka kuat geser beton V_c komponen struktur dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40% kuat tarik tulangan lentur dapat dihitung dari:

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} + 5 \frac{V_u}{M_u} d \right) b_w d \quad (52)$$

tetapi V_c tidak perlu kurang daripada $(1/6)\sqrt{f'_c} b_w d$ dan juga V_c tidak boleh lebih daripada $0,4\sqrt{f'_c} b_w d$ ataupun lebih daripada nilai yang diberikan dalam 13.4.3 atau 13.4.4. Besaran $V_u d/M_u$ tidak boleh diambil lebih besar daripada 1,0, dengan M_u adalah momen terfaktor yang terjadi secara bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau. Pada Persamaan 52, variabel d dalam suku $V_u d/M_u$ adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang.

PENJELASAN

Mungkin lebih dikehendaki untuk mendesain tulangan geser utuk memikul seluruh geser jika ada ketidakpastian mengenai besaran tarik aksial.

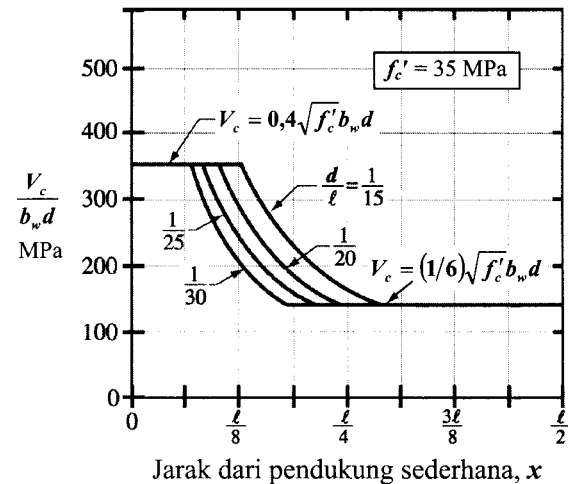
S13.3.3 — Hasil uji geser komponen struktur dengan penampang bundar menunjukkan bahwa luasan efektif dapat diambil sama dengan luasan bruto penampang atau sebagai luasan persegi ekuivalen.^{13.1,13.14,13.15}

S13.4 — Kuat geser yang disumbangkan beton pada komponen struktur prategang

S13.4.1 — Pers. (52) menyajikan cara sederhana menghitung V_c untuk balok beton prategang.^{13.2} Ini dapat dipakai untuk balok yang mempunyai tulangan prategang saja, atau untuk komponen struktur yang pakai kombinasi tulangan prategang dan batang ulir nonprategang. Pers. (52) adalah paling cocok diterapkan untuk komponen struktur yang dikenai pembebanan seragam dan dapat memberikan hasil konservatif bila diterapkan pada girder komposit untuk jembatan.

Dalam memakai Pers. (52) pada komponen struktur sederhana yang kena beban seragam $V_u d/M_u$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{V_u d}{M_u} = \frac{d(\ell - 2x)}{x(\ell - x)}$$



Gambar S13.4.1 — Penerapan Pers. (52) untuk komponen struktur prategang yang dibebani secara seragam

dimana ℓ adalah panjang bentang dan x adalah jarak dari penampang yang diinvestigasi ke tumpuan. Untuk beton

TATA CARA

13.4.2 — Kuat geser V_c boleh dihitung berdasarkan ketentuan 13.4.2.1 dan 13.4.2.2, dengan V_c harus diambil sebagai nilai yang terkecil di antara V_{ci} atau V_{cw} .

13.4.2.1 — Kuat geser V_{ci} harus dihitung dari,

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}} \quad (53)$$

tetapi V_{ci} tidak perlu diambil kurang daripada $\frac{\sqrt{f'_c}}{7} b_w d$, dengan

$$M_{cr} = (I/y_t) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \quad (54)$$

dan nilai-nilai M_{max} dan V_i harus dihitung dari kombinasi beban yang menimbulkan momen maksimum pada penampang yang ditinjau.

13.4.2.2 — Kuat geser V_{cw} harus dihitung dari,

$$V_{cw} = 0,3 \left(\sqrt{f'_c} + f_{pc} \right) b_w d + V_p \quad (55)$$

Sebagai alternatif, V_{cw} boleh dihitung sebagai gaya geser yang berkaitan dengan beban mati ditambah beban hidup yang menimbulkan tegangan tarik utama sebesar $(1/3)\sqrt{f'_c}$ pada sumbu pusat komponen struktur, atau pada perpotongan sayap dan badan jika sumbu pusat berada dalam daerah sayap. Pada komponen struktur komposit, tegangan tarik utama harus dihitung dengan menggunakan besaran penampang melintang yang memikul beban hidup.

13.4.2.3 — Nilai d dalam Persamaan 53 dan 55 harus diambil sebagai nilai yang paling besar di antara besaran jarak dari serat tekan terluar ke pusat baja prategang dan $0,8h$.

PENJELASAN

dengan f'_c sama dengan 35 MPa. V_c dari 13.4.1 bervariasi seperti ditunjukkan dalam Gambar S13.4.1. Alat bantu desain berdasarkan pada persamaan ini diberikan dalam Referensi 13.16.

S13.4.2 — Dua tipe retak miring terjadi pada balok beton: retak geser-web dan retak geser-lentur. Dua tipe retak miring ini digambarkan di Gambar S13.4.2.

Retak geser-web mulai dari titik interior komponen struktur bila tegangan tarik utama melebihi kuat tarik beton. Retak geser-lentur diawali dengan retak lentur. Bila retak lentur terjadi, tegangan geser pada beton di atas retak meningkat. Retak geser-lentur terbentuk bila kombinasi tegangan geser dan tarik melampaui kuat tarik beton.

Pers. (53) dan (55) dapat digunakan untuk menentukan gaya geser yang mengakibatkan berturut-turut retak geser-lentur dan geser-badan. Kuat geser yang disediakan oleh beton V_c diasumsikan sama dengan yang lebih kecil dari V_{ci} dan V_{cw} . Derivasi Pers. (53) dan (55) diringkas dalam Referensi 13.17.

Dalam menurunkan Pers. (53) diasumsikan bahwa V_{ci} adalah jumlah geser yang diperlukan untuk mengakibatkan retak lentur di titik yang ditinjau yang diberikan oleh:

$$V = \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}}$$

ditambah tambahan peningkatan geser yang diperlukan untuk mengubah retak lentur menjadi retak geser-lentur. Beban terfaktor eksternal, yang dipakai untuk menentukan V_i dan M_{max} termasuk beban mati tambahan, tekanan tanah, dan beban hidup. Dalam perhitungan M_{cr} untuk substitusi kedalam Pers. (53), I dan y_t memakai sifat-sifat penampang yang menahan beban eksternal.

Untuk komponen struktur komposit, dimana sebagian beban mati ditahan hanya oleh sebagian penampang, sifat penampang yang sesuai harus digunakan untuk menghitung f_d . Geser akibat beban mati, V_d dan yang akibat beban lainnya V_i dalam kasus ini dipisahkan. V_d kemudian adalah gaya geser total akibat beban mati tak-terfaktor yang bekerja pada bagian penampang yang memikul beban mati yang bekerja sebelum aksi komposit plus beban mati tambahan tak-terfaktor bekerja pada komponen struktur komposit. Istilah V_i dan M_{max} dapat diambil sebagai:

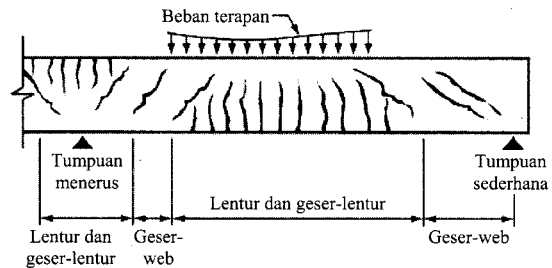
$$V_i = V_u - V_d$$

$$M_{max} = M_u - M_d$$

dimana V_u dan M_u adalah geser dan momen terfaktor akibat beban terfaktor total, dan M_d adalah momen akibat beban mati tak-terfaktor (momen yang berhubungan dengan f_d).

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S13.4.2—Tipe retak pada balok beton

Untuk balok bukan komposit yang kena beban seragam, penampang total menahan semua geser dan diagram gaya geser beban hidup dan mati adalah serupa. Dalam kasus ini Pers. (53) tereduksi menjadi:

$$V_{cr} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w d + \frac{V_u M_{cr}}{M_u}$$

dimana:

$$M_{cr} = (I/y_t) (\sqrt{f'_c} + f_{pe})$$

Simbol M_{cr} dalam kedua persamaan diatas mewakili momen total, termasuk beban mati, yang diperlukan untuk mengakibatkan retak di serat tarik. Ini tidak sama seperti M_{cr} dalam tata cara Pers. (53) dimana momen retak adalah yang akibat semua beban kecuali beban mati. Dalam Pers. (53) geser beban mati ditambahkan sebagai unsur yang terpisah.

M_u adalah momen terfaktor pada balok di penampang yang ditinjau, dan V_u adalah gaya geser terfaktor yang terjadi bersamaan dengan M_u . Karena sifat penampang yang sama diterapkan baik pada tegangan beban mati maupun hidup, dipandang tidak perlu menghitung tegangan beban mati dan geser secara terpisah. Momen retak M_{cr} merefleksikan perubahan tegangan dari prategang efektif menjadi tarik sebesar $\sqrt{f'_c}/2$, yang dianggap mengakibatkan retak lentur.

Pers. (55) didasarkan pada asumsi bahwa retak geser-web terjadi akibat geser yang mengakibatkan tegangan tarik utama sebesar kira-kira $(1/3)\sqrt{f'_c}$ di sumbu pusat penampang. V_p dihitung dari gaya prategang efektif tanpa faktor beban.

13.4.3 — Bila pada suatu komponen struktur pratarik terdapat keadaan dimana penampang yang berjarak $h/2$ dari muka tumpuan berada lebih dekat ke ujung komponen struktur daripada jarak panjang penyaluran tendon prategang, maka dalam menghitung V_{cw} pengaruh dari gaya prategang harus didasarkan pada nilai gaya prategang yang telah dikurangi. Nilai

S13.4.3 dan S13.4.4 — Efek prategang tereduksi dekat ujung balok pratarik yang pada kuat gesernya harus diperhitungkan. Pasal 13.4.3 menghubungkan kuat geser penampang sejarak panjang transfer baja prategang bilamana lekatan baja prategang menerus sampai ujung komponen struktur.

TATA CARA

V_{cw} ini harus pula diambil sebagai batas maksimum untuk Persamaan 52. Gaya prategang boleh dianggap bervariasi secara linier dari nol pada ujung tendon hingga harga maksimum pada titik sejarak panjang penyaluran tendon, yang dapat diambil sebesar 50 kali diameter untuk tendon jenis *strand* dan 100 kali diameter untuk tendon jenis kawat tunggal.

13.4.4 — Bila pada suatu komponen struktur pratarik terdapat keadaan dimana lekatan dari sebagian tendon tidak sepenuhnya ada hingga ujung komponen struktur, maka pada saat menghitung V_c berdasarkan ketentuan 13.4.1 atau 13.4.2, pengaruh dari gaya prategang harus didasarkan pada nilai gaya prategang yang telah dikurangi. Nilai V_{cw} yang dihitung berdasarkan nilai gaya prategang yang telah dikurangi tersebut harus diambil sebagai batas maksimum untuk Persamaan 52. Gaya prategang pada tendon yang lekatannya tidak sampai ke ujung komponen struktur dapat dianggap bervariasi secara linier dari nol pada titik dimana lekatannya mulai bekerja hingga suatu harga maksimum pada titik sejarak panjang penyaluran tendon, yaitu sebesar 50 kali diameter untuk tendon jenis *strand* dan 100 kali diameter untuk tendon jenis kawat tunggal.

13.5 — Kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser

13.5.1 — Jenis tulangan geser

13.5.1.1 — Tulangan geser dapat terdiri dari:

- (a) Sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur,
- (b) Jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur,
- (c) Spiral, sengkang ikat bundar atau persegi.

13.5.1.2 — Untuk komponen struktur non-prategang, tulangan geser dapat juga terdiri dari:

- (a) Sengkang yang membuat sudut 45° atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal.
- (b) Tulangan longitudinal dengan bagian yang ditekuk untuk mendapatkan sudut sebesar 30° atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal.
- (c) Kombinasi dari sengkang dan tulangan longitudinal yang ditekuk.
- (d) Spiral.

13.5.2 — Kuat leleh rencana tulangan geser tidak boleh diambil lebih daripada 400 MPa, kecuali bila digunakan jaring

PENJELASAN

Pasal 13.4.4 menghubungkan kuat geser di penampang sepanjang panjang baja prategang yang tidak dilekatkan dengan beton, atau sepanjang panjang transfer baja prategang di mana lekatan tidak menerus sampai ujung balok.

S13.5 — Kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser

S13.5.2 — Pembatasan kuat leleh desain tulangan geser sampai 420 MPa memberi kendali pada lebar retak diagonal. Dalam *ACI Code* 1995, pembatasan pada kuat

TATA CARA

kawat baja las, kuat leleh rencananya tidak boleh lebih daripada 550 MPa.

13.5.3 — Sengkang dan batang atau kawat tulangan lain yang digunakan sebagai tulangan geser harus diteruskan sejauh jarak d dari serat tekan terluar dan harus dijangkar pada kedua ujungnya menurut ketentuan 14.13 agar mampu mengembangkan kuat leleh rencananya.

13.5.4 — Batas spasi tulangan geser

13.5.4.1 — Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ untuk komponen struktur non-prategang dan $0,75h$ untuk komponen struktur prategang, atau 600 mm.

13.5.4.2 — Sengkang miring dan tulangan longitudinal yang ditekuk miring harus dipasang dengan spasi sedemikian hingga setiap garis miring 45° ke arah perletakan yang ditarik dari tengah tinggi komponen struktur $d/2$ ke lokasi tulangan tarik longitudinal harus memotong paling sedikit satu garis tulangan geser.

13.5.4.3 — Bila V_s melebihi $(1/3)\sqrt{f'_c}b_wd$, maka spasi maksimum yang diberikan dalam 13.5.4.1 dan 13.5.4.2 harus dikurangi setengahnya.

13.5.5 — Tulangan geser minimum

13.5.5.1 — Bila pada komponen struktur lentur beton bertulang (prategang maupun non-prategang) bekerja gaya geser terfaktor V_u yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka harus selalu dipasang tulangan geser minimum, kecuali untuk:

- (a) pelat dan fondasi telapak;
- (b) konstruksi pelat rusuk yang didefinisikan dalam 10.11;
- (c) balok dengan tinggi total yang tidak lebih dari nilai terbesar di antara 250 mm, 2,5 kali tebal sayap, atau 0,5 kali lebar badan.

PENJELASAN

leleh desain sebesar 420 MPa untuk tulangan geser ditingkatkan menjadi 550 MPa untuk jaring kawat ulir las. Riset^{13.18,13.19,13.20} telah menunjukkan bahwa baja kekuatan lebih tinggi sebagai tulangan geser telah menunjukkan kinerja memuaskan. Khususnya, uji balok skala-penuh yang dijelaskan dalam Referensi 13.19 menunjukkan bahwa lebar retak geser miring pada tingkat beban kerja ternyata lebih kecil untuk balok yang ditulangi dengan rangka jaring kawat ulir berdiameter lebih kecil yang didesain dengan dasar kekuatan leleh sebesar 520 MPa daripada balok yang ditulangi dengan sengkang ulir Mutu 420.

S13.5.3 — Adalah sangat penting untuk menjangkar secukupnya kedua ujung tulangan geser (dan puntir/torsi) pada kedua sisinya agar sepenuhnya efektif terhadap sembarang retak miring potensial. Ini secara umum memerlukan kait atau bengkokan di ujung tulangan seperti ditentukan oleh Pasal 14.13.

S13.5.5 — Tulangan geser minimum

S13.5.5.1 — Tulangan geser mengekang pertumbuhan retak miring. Daktilitas meningkat dan peringatan kegagalan diberikan. Pada web yang tidak dipasang tulangan, pembentukan mendadak retak miring dapat menjurus pada kegagalan tanpa peringatan. Tulangan seperti itu adalah bernilai besar jika komponen struktur dikenai gaya tarik tak terduga atau beban berlebihan. Berdasarkan ini, luasan tulangan geser minimum disyaratkan tidak kurang dari yang diberikan oleh Pers. (56) atau (57) apabila gaya geser terfaktor total V_u yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disediakan oleh beton ϕV_c . Pelat, pondasi telapak dan pelat rusuk tidak termasuk dalam persyaratan tulangan geser minimum karena terdapat kemungkinan ada pembagian beban antara luasan lemah dan kuat. Akan tetapi, hasil riset^{13.21} telah menunjukkan bahwa pelat satu-arah yang ditulangi secara

TATA CARA

PENJELASAN

ringan, khususnya jika dibuat dengan beton mutu-tinggi, dapat gagal pada saat beban geser kurang dari V_c , yang dihitung dengan Pers. (46).

Bahkan bilamana kuat geser terfaktor total V_u kurang dari setengah kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , penggunaan tulangan web direkomendasikan pada semua komponen struktur beton prategang pasca-tarik web-tipis (jois, pelat wafel, balok, dan balok-T) untuk menulangi/memperkuat terhadap gaya tarik pada web yang dihasilkan dari deviasi lokal dari profil tendon desain, dan untuk menyediakan perangkat pendukung tendon sebetuk profil desain selama pelaksanaan konstruksi. Jika pendukung yang tidak cukup disediakan, wobel (*wobble*) dan deviasi lokal profil tendon parabolik dapat terjadi selama penempatan beton. Dalam kasus seperti itu, deviasi dalam tendon cenderung untuk melurus bila tendon ditegangkan. Proses ini dapat menimbulkan tegangan tarik yang besar dalam web, dan retak yang parah dapat terjadi jika tidak terpasang tulangan web. Lengkungan tendon yang tidak diinginkan, dan tegangan tarik yang dihasilkan dalam web, dapat diminimumkan dengan mengikat secara aman tendon ke sengkang yang dipegang secara kaku di tempat oleh elemen rangka tulangan yang bertumpu kebawah dalam bekisting. Spasi maksimum sengkang digunakan untuk tujuan ini harus tidak lebih kecil dari **1,5h** atau 1,2 m. Bila dapat diterapkan, ketentuan tulangan geser dari Pasal 13.5.4 dan 13.5.5 akan memerlukan jarak sengkang lebih dekat.

Untuk pembebanan berulang komponen struktur lentur, kemungkinan terjadi retak tarik diagonal miring oleh tegangan yang jauh lebih kecil dari pembebanan statik harus diperhitungkan dalam desain. Dalam contoh ini, adalah bijaksana untuk menggunakan paling sedikit tulangan geser minimum yang dirumuskan oleh Pers. (56) atau (57), walaupun uji atau perhitungan didasarkan pada beban statik menunjukkan bahwa tulangan geser tidak diperlukan.

13.5.5.2 — Ketentuan tulangan geser minimum dari 13.5.5.1 dapat diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian bahwa komponen struktur tersebut mampu mengembangkan kuat lentur dan geser nominal yang diperlukan tanpa adanya tulangan geser. Pengujian tersebut harus mensimulasikan pengaruh perbedaan penurunan fondasi, rangkai, susut, dan perubahan suhu, dengan mempertimbangkan secara realistis mengenai kemungkinan dari pengaruh-pengaruh tersebut terjadi selama masa layanan struktur.

13.5.5.3 — Bila menurut 13.5.5.1 atau hasil analisis diperlukan tulangan geser dan bila 13.6.1 memperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh puntir, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur prategang (kecuali seperti

S13.5.5.2 — Bila komponen struktur diuji untuk mendemonstrasikan bahwa kuat geser dan lenturnya adalah cukup, dimensi komponen struktur aktual dan kekuatan material diketahui. Karena itu, kekuatan yang digunakan sebagai dasar untuk perbandingan harus dengan faktor reduksi kekuatan satu ($\phi = 1,0$), yaitu kuat nominal yang disyaratkan V_n dan M_n . Ini menjamin bahwa walaupun kekuatan material aktual di lapangan terjadi kurang dari yang dispesifikasikan, atau ada kesalahan dimensi komponen struktur sehingga menghasilkan kuat komponen struktur tereduksi, margin keamanan yang memuaskan masih dapat dipertahankan.

TATA CARA

yang diatur dalam 13.5.5.4 dan komponen struktur non-prategang harus dihitung dari

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'_c} b_w s}{1200 f_y} \quad (56)$$

tapi A_v tidak boleh kurang dari $(1/3)(b_w s / f_y)$ dengan b_w dan s dinyatakan dalam milimeter.

13.5.5.4 — Untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40% kuat tarik tulangan lentur, luas tulangan geser minimum tidak boleh kurang dari nilai A_v terkecil yang dihasilkan dari Persamaan 56 dan 57.

$$A_v = \frac{A_{ps} f_{ps} s}{80 f_y d} \sqrt{\frac{d}{b_w}} \quad (57)$$

13.5.6 — Perencanaan tulangan geser

13.5.6.1 — Bila gaya geser terfaktor V_u lebih besar daripada kuat geser ϕV_c , maka harus disediakan tulangan geser untuk memenuhi Persamaan 44 dan 45, dimana dalam hal ini kuat geser V_s harus dihitung berdasarkan ketentuan 13.5.6.2 hingga 13.5.6.9.

13.5.6.2 — Bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, maka

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (58)$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s .

13.5.6.3 — Bila sengkang ikat bundar, sengkang ikat persegi, atau spiral digunakan sebagai tulangan geser, maka V_s harus dihitung menggunakan Persamaan 58, dimana d harus diambil sebagai tinggi efektif yang didefinisikan pada 13.3.3. Nilai A_v harus diambil sebagai dua kali luas batang tulangan pada sengkang ikat bundar, sengkang ikat persegi, atau spiral dengan spasi s , dan f_y adalah kuat leleh tulangan sengkang ikat bundar, sengkang ikat persegi, atau spiral.

PENJELASAN

S13.5.5.4 — Hasil pengujian^{13.22} balok prategang dengan tulangan web minimum didasarkan pada Pers. (56) dan (57) menunjukkan bahwa A_v yang lebih kecil dari dua persamaan ini masih cukup untuk mengembangkan perilaku yang daktail.

Pers. (57) dapat digunakan hanya untuk komponen struktur prategang yang memenuhi persyaratan gaya prategang minimum yang diberikan dalam Pasal 13.5.5.4. Persamaan ini didiskusikan dalam Referensi 13.22.

S13.5.6 — Perencanaan tulangan geser

Perencanaan tulangan geser didasarkan pada analogi rangka batang termodifikasi. Analogi rangka batang mengasumsikan bahwa geser total dipikul oleh tulangan geser. Akan tetapi, riset yang banyak pada kedua komponen struktur nonprategang dan prategang telah menunjukkan bahwa tulangan geser hanya perlu direncanakan untuk memikul geser yang melampaui yang mengakibatkan retak miring, asalkan komponen struktur diagonal dalam rangka batang diasumsikan miring 45 derajat.

Pers. (58), (59), dan (60) disajikan dalam perumusan kuat geser V_s yang disumbangkan oleh tulangan geser. Bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, luasan tulangan geser yang diperlukan A_v dan jarak s dihitung dengan

$$\frac{A_v}{s} = \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi f_y d}$$

Riset^{13.23,13.24} telah menunjukkan bahwa perilaku geser balok lebar dengan tulangan lentur yang cukup banyak akan diperbaiki jika jarak melintang kaki sengkang yang berada di penampang dikurangi.

S13.5.6.3 — Meski tulangan transversal pada penampang bundar tidak terdiri dari kaki lurus, uji menunjukkan bahwa Pers. (58) adalah konservatif jika d diambil seperti didefinisikan di Pasal 13.3.3.^{13.14,13.15}

TATA CARA

13.5.6.4 — Bila sebagai tulangan geser digunakan sengkang miring, maka

$$V_s = \frac{A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{s} \quad (59)$$

13.5.6.5 — Bila tulangan geser terdiri dari satu batang tunggal atau satu kelompok batang-batang tulangan sejajar, yang semuanya ditekuk miring pada jarak yang sama dari tumpuan, maka

$$V_s = A_v f_y \sin \alpha \quad (60)$$

tetapi tidak lebih dari $(1/4)\sqrt{f'_c} b_w d$.

13.5.6.6 — Bila tulangan geser terdiri dari satu rangkaian atau beberapa kelompok batang tulangan sejajar yang masing-masing ditekuk miring pada jarak yang tidak sama dari tumpuan, maka kuat geser V_s harus dihitung dari Persamaan 59.

13.5.6.7 — Hanya tigaperempat bagian tengah dari bagian yang miring pada setiap tulangan longitudinal yang ditekuk miring yang boleh dianggap efektif sebagai tulangan geser.

13.5.6.8 — Bila untuk menulangi satu bagian yang sama dari suatu komponen struktur digunakan lebih dari satu jenis tulangan geser, maka kuat geser V_s harus dihitung sebagai jumlah dari nilai-nilai V_s yang dihitung untuk masing-masing tipe tulangan geser yang digunakan.

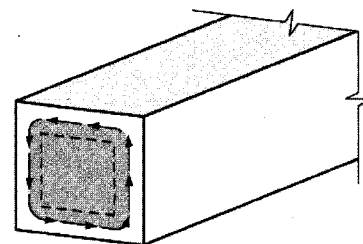
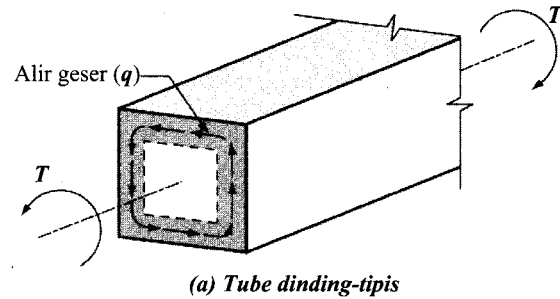
13.5.6.9 — Kuat geser V_s , tidak boleh diambil lebih dari $(2/3)\sqrt{f'_c} b_w d$.

13.6 — Perencanaan untuk puntir**PENJELASAN****S13.6 — Perencanaan untuk puntir**

Desain untuk puntir didasarkan pada analogi rangka batang (*truss*) ruang, tabung dinding tipis. Balok yang dikenai puntir diidealisasikan sebagai tabung dinding tipis dengan mengabaikan penampang beton inti balok solid seperti ditunjukkan dalam Gambar S13.6(a). Segera setelah balok beton bertulang retak oleh puntir, tahanan puntirnya terutama disediakan oleh sengkang tertutup dan batang longitudinal yang berlokasi dekat permukaan komponen struktur. Dalam analogi tabung dinding tipis tahanan diasumsikan disediakan oleh kulit luar penampang secara kasar terpusat dalam sengkang tertutup. Baik penampang berongga maupun padat diidealisasikan sebagai tabung dinding tipis baik sebelum maupun sesudah retak.

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S13.6—(a) Tabung dinding-tipis; (b) luasan dilingkupi oleh alir alir geser

Di tabung dinding-tipis tertutup, hasil perkalian tegangan geser τ dan tebal dinding t di sembarang titik perimeter diketahui sebagai alir geser, $q = \tau t$. Alir geser q akibat puntir bekerja seperti ditunjukkan oleh Gambar S13.6(a) dan adalah konstan pada semua titik sekeliling perimeter tabung dan bekerja di tengah tebal dinding tabung. Pada sembarang titik sepanjang perimeter tabung tegangan geser akibat torsi adalah $\tau = T/(2A_o t)$ dimana A_o adalah luas bruto yang dilingkupi oleh alir alir geser, ditunjukkan terarsir di Gambar S13.6(b), dan t adalah tebal dinding pada titik dimana τ dihitung. Alir geser mengikuti tebal-tengah dinding tabung dan A_o adalah luas yang dilingkupi oleh alir alir geser. Untuk komponen struktur berongga dengan dinding menerus, A_o termasuk luas lubang.

Dalam *ACI Code* 1995, interaksi elip antara geser yang dipikul oleh beton, V_c , dan puntir yang dipikul oleh beton telah dihapus. V_c tetap konstan pada nilai yang dimilikinya bila tidak ada puntir, puntir torsi yang dipikul oleh beton selalu diambil sebesar nol.

Prosedur desain diturunkan dan dibandingkan dengan hasil uji dalam Referensi 13.25.

13.6.1 — Pengaruh puntir dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada:

(a) untuk komponen struktur non-prategang:

S13.6.1 — Puntir yang tidak melebihi sekitar seperempat puntir yang menyebabkan terjadi retak T_{cr} tidak akan mengakibatkan reduksi berarti secara struktur baik dalam kekuatan lentur ataupun geser dan dapat diabaikan. Puntir

TATA CARA

$$\frac{\phi \sqrt{f'_x}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

(b) untuk komponen struktur prategang:

$$\frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3f_{pc}}{\sqrt{f'_c}}}$$

(c) untuk komponen struktur non-prategang yang dibebani gaya tarik atau tekan aksial:

$$\frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3N_u}{A_g \sqrt{f'_c}}}$$

Untuk komponen struktur yang dicor secara monolit dengan pelat, lebar bagian sayap penampang yang digunakan dalam menghitung A_{cp} dan p_{cp} harus sesuai dengan ketentuan 15.2.4. Untuk penampang berongga, A_g harus digunakan menggantikan A_{cp} dalam 13.6.1, dan batas luar penampang harus sesuai dengan ketentuan 15.2.4.

13.6.2 — Perhitungan momen puntir terfaktor T_u

13.6.2.1 — Bila momen puntir terfaktor T_u pada suatu komponen struktur diperlukan untuk mempertahankan keseimbangan [Gambar 8(a)], dan nilainya melebihi nilai minimum yang diberikan pada 13.6.1, maka komponen struktur tersebut harus direncanakan untuk memikul momen puntir sesuai dengan 13.6.3 hingga 13.6.6.

13.6.2.2 — Pada struktur statis tak tentu dimana dapat terjadi pengurangan momen puntir pada komponen strukturnya yang disebabkan oleh redistribusi gaya-gaya dalam akibat adanya keretakan [Gambar 8(b)], momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat dikurangi menjadi:

(a) untuk komponen struktur non-prategang seperti yang diuraikan pada 13.6.2.4:

PENJELASAN

retak dibawah puntir murni T_{cr} diturunkan dengan mengganti penampang aktual dengan tabung dinding-tipis ekuivalen dengan ketebalan dinding t sebelum retak sebesar $0,75A_{cp}/p_{cp}$ dan luasan yang dilingkupi oleh garis-pusat dinding A_o sama dengan $2A_{cp}/3$. Retak diasumsikan terjadi bila tegangan tarik utama mencapai $(1/3)\sqrt{f'_c}$. Pada balok nonprategang yang dibebani dengan puntir saja, tegangan tarik utama adalah sama dengan tegangan geser puntir, $\tau = T/(2A_o t)$. Jadi, retak terjadi bila τ mencapai $(1/3)\sqrt{f'_c}$, memberikan puntir retak T_{cr} sebesar:

$$T_{cr} = (1/3)\sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

Batas yang ditetapkan di 13.6.1 adalah seperempat dari nilai ini. Tegangan retak $(1/3)\sqrt{f'_c}$ sengaja diambil sebagai nilai batas bawah.

Untuk komponen struktur prategang, beban retak puntir ditingkatkan oleh prategang. Analisis Lingkaran Mohr berdasarkan pada tegangan rata-rata menunjukkan puntir yang diperlukan untuk mengakibatkan tegangan tarik utama sama dengan $(1/3)\sqrt{f'_c}$ adalah $\sqrt{1 + 3f_{pc}/\sqrt{f'_c}}$ kali puntir pada balok nonprategang.

Untuk komponen struktur terisolasi yang pakai flens atau tidak, A_{cp} adalah luas seluruh penampang termasuk luas rongga pada penampang berlubuang, dan p_{cp} adalah perimeter dari seluruh penampang. Untuk balok-T yang dicor secara monolitik dengan pelat, A_{cp} dan p_{cp} dapat termasuk bagian dari pelat disampingnya sesuai 15.2.4.

S13.6.2 — Perhitungan momen puntir terfaktor T_u

S13.6.2.1 dan S13.6.2.2 — Dalam perencanaan puntir pada struktur beton bertulang, dua kondisi dapat diidentifikasi:^{13.26,13.27}

(a) Momen puntir tidak dapat dikurangi oleh redistribusi gaya internal Pasal (13.6.2.1). Ini diacu sebagai torsi kesetimbangan, karena momen puntir diperlukan untuk struktur agar dalam kesetimbangan.

Untuk kondisi ini, digambarkan dalam Gambar 8(a), tulangan torsi yang direncanakan menurut Pasal 13.6.3 sampai 13.6.6 harus disediakan untuk menahan momen puntir rencana total.

(b) Momen puntir dapat dikurangi oleh redistribusi gaya internal setelah retak (13.6.2.2) jika puntir meningkat dari komponen struktur terpuntir untuk mempertahankan kompatibilitas deformasi. Tipe puntir ini diacu sebagai puntir kompatibilitas.

TATA CARA

$$\phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

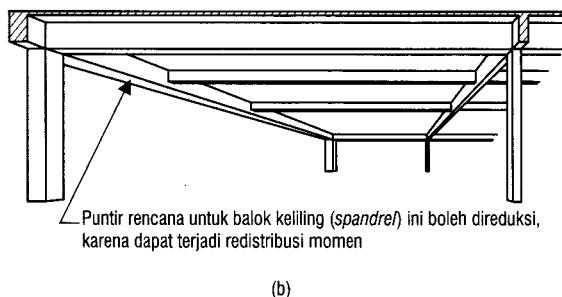
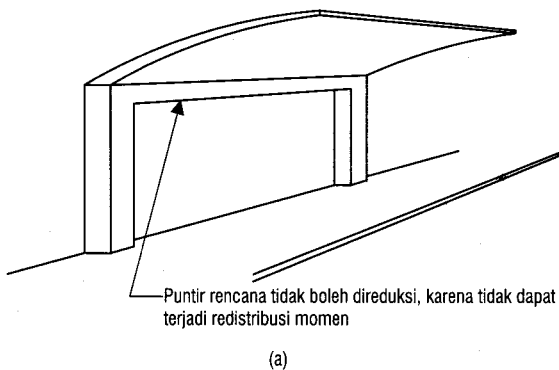
(b) untuk komponen struktur prategang seperti yang diuraikan pada 13.6.2.5:

$$\phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3f_{pc}}{\sqrt{f'_c}}}$$

(c) untuk komponen struktur non-prategang yang dibebani gaya aksial tarik atau tekan:

$$\phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \left(\frac{A_g^2}{p_g} \right) \sqrt{1 + \frac{3N_g}{A_g \sqrt{f'_c}}}$$

Dalam hal ini, nilai-nilai momen lentur dan geser yang telah didistribusikan pada komponen struktur yang berhubungan dengan komponen struktur yang torsinya ditinjau harus digunakan dalam perencanaan komponen struktur tersebut. Untuk penampang berongga, A_{cp} tidak boleh menggantikan A_g dalam 13.6.2.2.



Gambar 8—Jenis momen puntir

13.6.2.3 — Beban puntir dari suatu pelat boleh dianggap terdistribusi merata di sepanjang komponen yang ditinjau

PENJELASAN

Untuk kondisi ini, digambarkan di Gambar 8(b), kekakuan puntir sebelum retak berdasarkan pada penampang tak-retak menurut teori St. Venant. Pada keadaan retak puntir, bagaimanapun, puntir besar terjadi oleh puntir yang pada dasarnya bernilai konstan, menghasilkan redistribusi gaya yang besar pada struktur.^{13.26,13.27} Puntir/torsi retak oleh kombinasi beban geser, lentur, dan puntir berdasarkan pada tegangan tarik utama terjadi sedikit lebih rendah dari $(1/3)\sqrt{f'_c}$ sebagaimana dikutip dalam S13.6.1.

Bila momen puntir melebihi puntir retak, momen puntir terfaktor maksimum yang sama dengan puntir retak dapat diasumsikan untuk terjadi pada saat penampang kritis dekat muka pendukung. Batasan ini telah diadakan untuk mengendalikan lebar retak oleh puntir.

Pasal 13.6.2.2 diterapkan pada kondisi rangka tipikal dan terratur. Dengan denah yang menyebabkan rotasi puntir yang signifikan di bagian panjang tertentu komponen struktur, seperti pembebanan puntir yang besar yang berlokasi dekat dengan kolom yang kaku, atau kolom yang berotasi ke arah berlawanan karena pembebanan lainnya, analisis yang lebih eksak dianjurkan.

Bila momen puntir terfaktor dari analisis elastik berdasarkan pada sifat penampang tak-retak adalah antara nilai dari Pasal 13.6.1 dan nilai yang diberikan dalam sub-pasal ini, tulangan lentur harus didesain untuk menahan momen lentur yang dihitung.

TATA CARA

kecuali bila dilakukan analisis yang lebih eksak.

13.6.2.4 — Untuk komponen non-prategang, penampang-penampang yang berada dalam rentang jarak d dari muka tumpuan dapat direncanakan terhadap momen puntir T_u yang bekerja pada penampang sejarak d dari muka tumpuan. Jika terdapat beban puntir terpusat yang bekerja di dalam rentang jarak d tersebut, maka penampang kritis untuk perencanaan haruslah diambil pada muka tumpuan.

13.6.2.5 — Untuk komponen prategang, penampang-penampang yang berada dalam rentang jarak $h/2$ dari muka tumpuan dapat direncanakan terhadap momen puntir T_u yang bekerja pada penampang sejarak $h/2$ dari muka tumpuan. Jika terdapat beban puntir terpusat yang bekerja di dalam rentang jarak $h/2$ tersebut, maka penampang kritis untuk perencanaan haruslah diambil pada muka tumpuan.

13.6.3 — Kuat lentur puntir

13.6.3.1 — Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut:

(a) untuk penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \rho_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right) \quad (61)$$

(b) untuk penampang berongga

$$\left(\frac{V_u}{b_w d} \right) + \left(\frac{T_u \rho_h}{1,7 A_{oh}^2} \right) \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right) \quad (62)$$

A_{oh} dapat ditentukan berdasarkan Gambar 9.

13.6.3.2 — Jika tebal dinding bervariasi di seputar garis keliling penampang berongga, maka Persamaan 62 harus dievaluasi pada lokasi dimana ruas kiri Persamaan 62 mencapai nilai maksimum.

PENJELASAN

S13.6.2.4 dan S13.6.2.5 — Adalah biasa menyatukan balok ke satu sisi dari girder dekat tumpuan girder. Dalam kasus seperti itu geser dan puntir terpusat diterapkan pada girder.

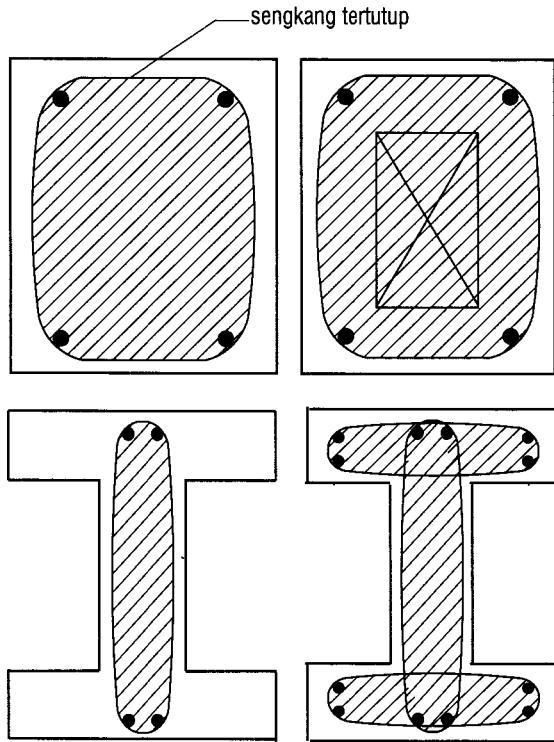
S13.6.3 — Kuat lentur puntir

S13.6.3.1 — Ukuran penampang dibatasi untuk dua alasan, pertama untuk mereduksi retak yang tak nampak dan kedua untuk mencegah kehancuran permukaan beton akibat tegangan tekan miring akibat geser dan puntir. Dalam Pers. (61) dan (62), dua bagian perumusan di sebelah kiri adalah tegangan geser akibat geser dan puntir. Jumlah tegangan ini tidak boleh melebihi tegangan yang mengakibatkan retak geser ditambah $(2/3)\sqrt{f'_c}$, serupa dengan kekuatan pembatas yang diberikan di Pasal 13.5.6.9 untuk geser tanpa puntir. Batasan tersebut dinyatakan dalam perumusan V_c untuk membolehkan penggunaannya pada beton nonprategang atau prategang. Ini aslinya diturunkan atas dasar pengendalian retak. Adalah tidak perlu untuk mengecek terhadap kehancuran web karena ini terjadi pada saat tegangan geser lebih tinggi.

Pada penampang berongga, tegangan geser akibat geser dan puntir keduanya terjadi dalam dinding kotak seperti ditunjukkan dalam Gambar S13.6.3.1(a) dan karenanya adalah penambahan secara langsung di titik A seperti diberikan dalam Pers. (62). Pada penampang solid tegangan geser akibat puntir yang bekerja dalam penampang sisi luar "tabung" sementara tegangan geser akibat V_u menyebar melintasi lebar penampang seperti ditunjukkan dalam Gambar S13.6.3.1(b). Untuk alasan ini tegangan dikombinasikan dalam Pers. (61) menggunakan akar kuadrat dari jumlah kuadrat daripada dengan penambahan langsung.

S13.6.3.2 — Umumnya, maksimumnya akan berada pada dinding dimana tegangan puntir dan geser berupa penjumlahan [Titik A dalam Gambar S13.6.3.1(a)]. Jika flens teratas atau terbawah lebih tipis dari web vertikal, mungkin perlu mengevaluasi Pers. (62) untuk titik B dan C yang ada di Gambar S13.6.3.1(a). Di titik-titik ini tegangan akibat gaya geser biasanya dapat diabaikan.

TATA CARA



A_{oh} = daerah yang diarsir

Gambar 9—Definisi A_{oh}

13.6.3.3 — Jika tebal dinding adalah kurang daripada A_{oh}/p_h , maka nilai suku kedua pada Persamaan 62 harus diambil sebesar

$$\left(\frac{T_u}{1,7A_{oh}t} \right)$$

dengan t adalah tebal dinding penampang berongga pada lokasi dimana tegangannya sedang diperiksa.

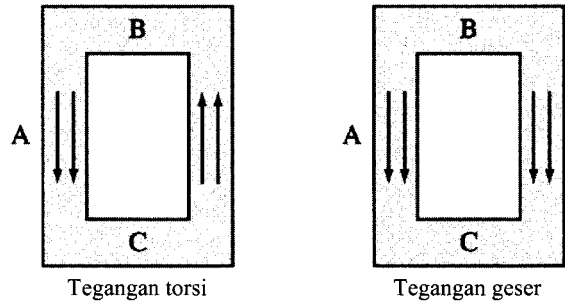
13.6.3.4 — Kuat leleh rencana untuk tulangan puntir non-prategang tidak boleh melebihi 400 MPa.

13.6.3.5 — Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus ditentukan dari:

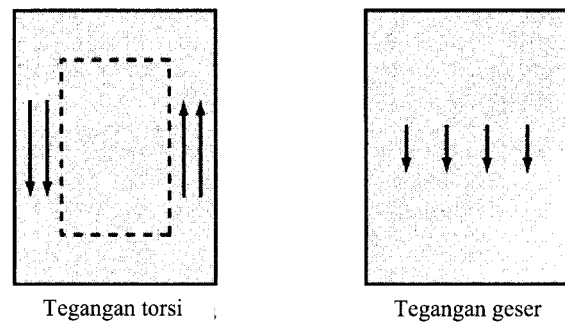
$$\phi T_n \geq T_u \tag{63}$$

dengan T_u adalah momen puntir terfaktor pada penampang yang ditinjau dan T_n adalah kuat momen puntir nominal penampang.

PENJELASAN



(a) Penampang berongga



(b) Penampang solid

Gambar S13.6.3.1—Penambahan tegangan puntir dan geser

S13.6.3.4 — Dengan membatasi kuat leleh desain tulangan puntir sampai 420 MPa memberikan kendali pada lebar retak diagonal.

S13.6.3.5 — Tahanan puntir terfaktor ϕT_n harus sama atau melebihi puntir T_u akibat beban terfaktor. Dalam perhitungan T_n , semua puntir diasumsikan ditahan oleh sengkang dan baja longitudinal dengan $T_c = 0$. Pada saat yang sama, geser yang ditahan oleh beton V_c diasumsikan tidak berubah dengan keberadaan puntir. Untuk balok dengan V_u lebih besar dari kira-kira $0,8\phi V_c$ jumlah hasil kombinasi tulangan untuk geser dan puntir pada dasarnya sama seperti yang disyaratkan oleh ACI Code 1989. Untuk

TATA CARA

13.6.3.6 — Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta \quad (64)$$

dengan A_o , kecuali ditentukan berdasarkan analisis, dapat diambil sebesar $0,85A_{oh}$. Nilai θ tidak boleh kurang daripada 30° dan tidak boleh lebih besar daripada 60° . Nilai θ boleh diambil sebesar:

(a) 45° untuk komponen struktur non-prategang atau komponen struktur prategang dengan nilai prategang yang besarnya kurang daripada yang ditentukan pada (b),

(b) $37,5^\circ$ untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang daripada 40% kuat tarik tulangan longitudinal.

13.6.3.7 — Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang daripada:

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta \quad (65)$$

dengan θ adalah nilai yang sama dengan nilai yang digunakan dalam Persamaan 64 dan A_t/s harus dihitung dari Persamaan 64, tanpa dilakukan modifikasi seperti yang ditentukan dalam 13.6.5.2 atau 13.6.5.3.

PENJELASAN

nilai V_u yang lebih kecil, diperlukan tulangan geser dan puntir yang lebih banyak.

S13.6.3.6 — Pers. (64) didasarkan pada analogi rangka batang (*truss*) ruang yang ditunjukkan dalam Gambar S13.6.3.6(a) dengan diagonal tekan bersudut θ , dengan asumsi beton tidak memikul tarik dan tulangan meleleh. Setelah retak puntir terbentuk, tahanan puntir disediakan terutama oleh sengkang tertutup, batang longitudinal, dan diagonal tekan. Beton di luar sengkang ini relatif tidak efektif. Untuk alasan ini A_o , luasan yang dilingkupi oleh alur alir geser sekeliling perimeter tabung, didefinisikan setelah retak dalam bentuk A_{oh} , luasan yang dilingkupi oleh garis-pusat sengkang tertutup yang terletak paling luar. Luasan A_{oh} ditunjukkan dalam Gambar 9 untuk berbagai penampang. Pada penampang berbentuk-L, -T, atau -L, A_{oh} diambil sebagai luasan yang dilingkupi oleh kaki terluar sengkang yang saling-mengunci seperti ditunjukkan dalam Gambar 9. Perumusan untuk A_o yang diberikan oleh Hsu^{13,28} dapat digunakan jika akurasi yang lebih besar diinginkan.

Alir geser q dalam dinding tabung, yang didiskusikan di S13.6, dapat diselesaikan kedalam gaya geser V_1 sampai V_4 yang bekerja pada masing-masing sisi tabung atau rangka batang (*truss*) ruang, seperti ditunjukkan dalam Gambar 13.6.3.6.

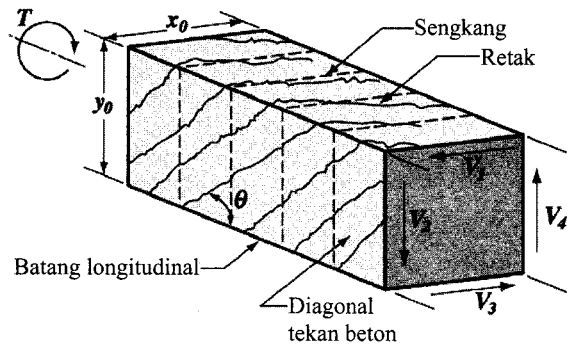
Sudut θ dapat diperoleh dengan analisis^{13,28} atau dapat diambil sama dengan nilai yang diberikan dalam Pasal 13.6.3.6 dan 9. Nilai θ yang sama harus digunakan dalam kedua Pers. (64) dan (65). Sejalan dengan θ yang menjadi lebih kecil, jumlah sengkang yang disyaratkan oleh Pers. (64) akan berkurang. Pada saat yang sama jumlah baja longitudinal yang disyaratkan oleh Pers. (65) akan bertambah.

S13.6.3.7 — Gambar S13.6.3.6 menunjukkan gaya geser V_1 sampai V_4 yang dihasilkan alir geser sekeliling dinding tabung. Pada dinding tabung tertentu, alir geser V_i ditahan oleh komponen beton tekan diagonal, $D_i = V_i/\sin\theta$. Gaya tarik aksial, $N_i = V_i(\cot\theta)$, diperlukan baja longitudinal untuk melengkapi resolusi V_i .

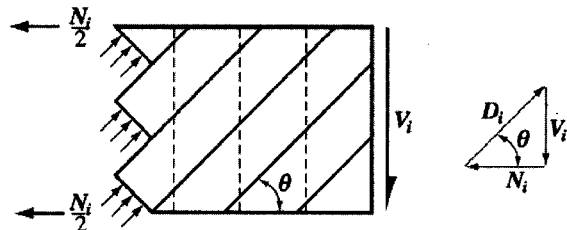
Gambar S13.6.3.7 menunjukkan tegangan tekan diagonal dan gaya tarik aksial, N_i , yang bekerja pada segmen pendek sepanjang satu dinding tabung. Karena alir geser akibat puntir adalah konstan pada semua titik sekeliling perimeter tabung maka resultan D_i dan N_i bekerja ditengah sisi i . Sebagai hasilnya, setengah N_i dapat diasumsikan ditahan oleh garis atas dan bawah seperti yang ditunjukkan. Tulangan longitudinal dengan kapasitas $A_f f_{yt}$ harus disediakan untuk menahan jumlah gaya N_i , ΣN_i , yang bekerja pada semua dinding tabung.

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S13.6.3.6 —Analogi rangka batang (truss) ruang



Gambar S13.6.3.7—Resolusi gaya geser V_i kedalam gaya tekan diagonal D_i dan gaya tarik aksial N_i dalam satu dinding tube

Dalam derivasi Pers. (65), gaya tarik aksial sepanjang sisi dari luasan A_o dijumlahkan. Sisi ini membentuk panjang perimeter, p_o , kira-kira sama dengan panjang garis yang menghubungkan pusat batang di sudut-sudut tabung. Untuk kemudahan perhitungan p_o ini telah diganti dengan perimeter sengkang tertutup, p_h .

Seringkali, spasi sengkang maksimum yang diijinkan menentukan jumlah sengkang yang disediakan. Lebih lanjut, bila kombinasi geser dan torsi bekerja, jumlah luas total sengkang merupakan jumlah yang disediakan untuk geser dan torsi. Untuk menghindarkan keperluan untuk menyediakan jumlah tulangan longitudinal yang berlebihan, Pasal 13.6.3.7 menyatakan bahwa A_s yang dipakai untuk perhitungan A_s pada sembarang penampang tertentu harus diambil sebesar A_s yang dihitung pada penampang itu dengan menggunakan Pers. (64).

13.6.3.8 — Tulangan untuk menahan puntir harus disediakan sebagai tambahan terhadap tulangan yang diperlukan untuk menahan gaya-gaya geser, lentur, dan aksial yang bekerja secara kombinasi dengan gaya puntir. Dalam hal ini, persyaratan yang lebih ketat untuk spasi dan penempatan tulangan harus dipenuhi.

S13.6.3.8 — Kebutuhan sengkang untuk puntir dan geser dijumlah dan sengkang disediakan untuk memenuhi paling sedikit jumlah total yang diperlukan. Karena luasan sengkang A_s untuk geser didefinisikan dalam bentuk semua kaki sengkang tertentu diberikan sementara luasan sengkang A_s untuk puntir didefinisikan dalam bentuk satu kali saja, penambahan sengkang dilakukan sebagai berikut:

TATA CARA

PENJELASAN

$$\text{Total} \left(\frac{A_{v+t}}{s} \right) = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s}$$

Jika sekelompok sengkang mempunyai empat kaki untuk geser, hanya kaki-kaki yang berada di sisi balok akan diikutsertakan dalam penjumlahan ini karena kaki yang berada di tengah akan tidak efektif untuk puntir.

Tulangan longitudinal yang diperlukan untuk puntir ditambahkan pada tulangan longitudinal yang diperlukan momen lentur yang bekerja bersamaan dengan puntir. Tulangan longitudinal kemudian dipilih untuk jumlah ini, tetapi harus tidak kurang dari jumlah yang diperlukan untuk momen lentur maksimum pada penampang itu jika ini melampaui momen yang bekerja bersamaan dengan puntir. Jika momen lentur maksimum terjadi pada satu penampang, seperti tengah bentang, sementara momen puntir maksimum terjadi di tempat lain, seperti tumpuan, baja longitudinal total yang diperlukan dapat kurang dari yang diperoleh dengan menambahkan baja lentur maksimum ditambah baja puntir maksimum. Dalam kasus seperti itu baja longitudinal yang diperlukan dievaluasi pada beberapa lokasi.

Persyaratan paling ketat untuk spasi, titik pemutusan, dan penempatan tulangan untuk lentur, geser, dan puntir harus dipenuhi. Tulangan lentur haruslah diperpanjang sejarak d , tetapi tidak kurang dari $12d_b$, melewati lokasi dimana tulangan tidak lagi diperlukan untuk lentur seperti disyaratkan dalam Pasal 14.10.3.

13.6.3.9 — Diperbolehkan untuk mengurangi luas tulangan puntir longitudinal pada daerah tekan lentur sebanyak $M_u / (0,9df_yd)$, dengan M_u adalah momen terfaktor yang bekerja pada penampang secara kombinasi dengan momen puntir T_u . Namun, tulangan yang disediakan tidak boleh kurang daripada jumlah yang dibutuhkan berdasarkan 13.6.5.3 atau 13.6.6.2.

13.6.3.10 — Untuk balok prategang:

(a) Tulangan longitudinal total termasuk tendon pada tiap penampang harus mampu menahan momen lentur terfaktor pada penampang yang ditinjau ditambah dengan gaya tarik longitudinal konsentris tambahan yang besarnya sama dengan Af_{ye} , yang didasarkan pada momen puntir terfaktor pada penampang tersebut, dan

(b) Spasi tulangan longitudinal termasuk tendon harus memenuhi persyaratan pada 13.6.6.2.

S13.6.3.9 — Luas tulangan tarik longitudinal akibat puntir diganti sebagian oleh tulangan tekan di zona tekan lentur, yang memperbolehkan reduksi tulangan puntir longitudinal yang diperlukan di zona tekan.

S13.6.3.10 — Seperti dijelaskan di S13.6.3.7, puntir mengakibatkan gaya tarik aksial. Pada balok nonprategang gaya ini ditahan oleh tulangan longitudinal yang mempunyai kapasitas tarik aksial sebesar Af_{ye} . Tulangan ini merupakan tambahan pada tulangan lentur dan didistribusikan secara seragam sekeliling sisi dari perimeter agar resultan Af_{ye} bekerja sepanjang sumbu komponen struktur.

Pada balok prategang, teknik yang sama (menyediakan batang tulangan tambahan dengan kapasitas Af_{ye}) dapat diikuti, atau perencana dapat menggunakan sembarang kapasitas lebih baja prategang untuk menahan sebagian gaya aksial Af_{ye} sebagaimana diberikan secara garis besar di paragraf berikut ini.

Pada balok prategang, tegangan baja prategang saat ultimat di penampang dengan momen maksimum adalah f_{ps} . Pada

TATA CARA

PENJELASAN

13.6.3.11 — Untuk komponen struktur balok prategang, diperbolehkan untuk mengurangi luas tulangan puntir longitudinal pada bagian sisi komponen struktur yang berada dalam kondisi tekan, sesuai dengan 13.6.3.9. Hal ini dapat dilakukan bilamana lentur yang terjadi lebih rendah daripada yang disyaratkan 13.6.3.10.

13.6.4 — Ketentuan detail tulangan puntir

13.6.4.1 — Tulangan puntir harus terdiri atas batang tulangan longitudinal atau tendon dan salah satu atau lebih dari hal-hal berikut:

- (a) Sengkang tertutup atau sengkang ikat tertutup, yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, atau
- (b) Jaringan tertutup dari jaring kawat las dengan kawat transversal dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur,
- (c) Tulangan spiral pada balok nonprategang.

13.6.4.2 — Tulangan sengkang puntir harus diangkur dengan cara-cara berikut:

- (a) menggunakan kait standar 135°, dipasang di sekeliling tulangan longitudinal, atau
- (b) sesuai ketentuan 14.13.2.1, 14.13.2.2 atau 14.13.2.3 untuk daerah dimana beton yang berada di sekitar angkur dikekang terhadap *spalling* oleh bagian sayap penampang atau pelat atau komponen struktur sejenis.

13.6.4.3 — Tulangan puntir longitudinal harus mempunyai panjang penyaluran yang cukup di kedua ujungnya.

penampang lainnya, tegangan baja prategang pada saat ultimat akan berada antara f_{se} dan f_{ps} . Porsi gaya $Af_{y,l}$ yang bekerja pada sisi perimeter dimana baja prategang ditempatkan dapat ditahan oleh gaya $A_{ps}\Delta f_p$ dalam baja prategang, dimana Δf_p adalah f_{ps} dikurangi tegangan baja prategang akibat lentur pada saat beban ultimat di penampang yang ditinjau. Ini dapat diambil dari M_u di penampang, yang dibagi oleh $(\phi, 9d_p A_{ps})$, tetapi Δf_p harus tidak lebih dari 420 MPa. Batang tulangan longitudinal akan diperlukan pada sisi komponen struktur lainnya untuk menyediakan sisa gaya $Af_{y,s}$ atau untuk memenuhi persyaratan spasi yang diberikan dalam Pasal 13.6.6.2, atau keduanya.

S13.6.4 — Ketentuan detail tulangan puntir

S13.6.4.1 — Kedua tulangan longitudinal dan transversal tertutup diperlukan untuk menahan tegangan tarik diagonal akibat puntir. Sengkang harus tertutup, karena retak miring akibat puntir dapat terjadi pada semua muka komponen struktur.

Dalam kasus penampang yang terutama terkena puntir, penutup beton sepanjang sengkang terkelupas pada puntir yang tinggi.^{13.29} Ini menjadikan sengkang yang pakai sambungan-lewat tidak efektif, membawa pada kegagalan puntir prematur.^{13.30} Dalam kasus seperti itu, sengkang tertutup harus tidak dibentuk oleh pasangan sengkang-U yang bertumpuk satu sama lainnya.

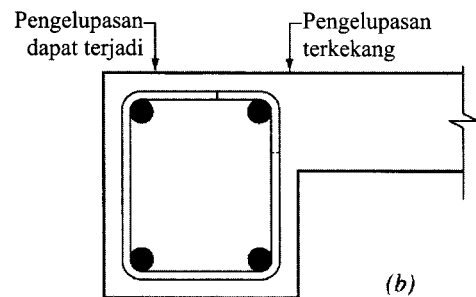
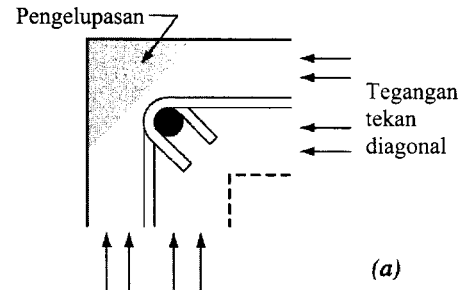
S13.6.4.2 — Bila balok persegi gagal oleh puntir, sudut balok cenderung terkelupas akibat tegangan tekan miring dalam diagonal rangka batang (*truss*) ruang beton yang berubah arah di sudut seperti ditunjukkan oleh Gambar S13.6.4.2(a). Di dalam hasil uji,^{13.29} kegagalan ini terjadi karena sengkang tertutup diangkur dengan kait 90 derajat. Untuk alasan ini, kait 135 derajat dikehendaki untuk sengkang puntir dalam semua kasus. Di daerah dimana pengelupasan ini dicegah oleh pelat atau flens disebelahnya, Pasal 13.6.4.2(b) membebaskan ketentuan ini dan membolehkan memakai kait 90 derajat.

S13.6.4.3 — Jika puntir yang besar bekerja dekat ujung balok, tulangan torsi longitudinal harus diangkur secukupnya. Panjang penyaluran yang cukup harus disediakan di ujung balok untuk membentuk gaya tarik yang diperlukan dalam batang atau tendon. Dalam kasus batang, ini dapat dipenuhi oleh kait atau batang berbentuk-U yang diletakkan horisontal bersambung lewatan dengan

TATA CARA

PENJELASAN

tulangan puntir longitudinal.



Gambar S13.6.4.2—Pengelupasan (spalling) sudut balok dibebani dalam torsi

13.6.4.4 — Pada penampang berongga, jarak dari garis tengah tulangan sengkang puntir ke permukaan dalam bagian dinding rongga tidak boleh kurang daripada $0,5A_{oh}/p_h$.

S13.6.4.4 — Sengkang tertutup yang disediakan untuk puntir pada penampang berongga harus diletakkan di setengah ketebalan dinding luar yang efektif untuk puntir. Ketebalan dinding dapat diambil sebesar A_{oh}/p_h .

13.6.5 — Ketentuan tulangan puntir minimum

S13.6.5 — Ketentuan tulangan puntir minimum

13.6.5.1 — Luas minimum tulangan puntir harus disediakan pada daerah dimana momen puntir terfaktor T_u melebihi nilai yang disyaratkan pada 13.6.1.

S13.6.5.1 dan S13.6.5.2 — Jika komponen struktur dikenai momen puntir terfaktor T_u yang lebih besar dari nilai yang dispesifikasikan dalam Pasal 13.6.1, jumlah minimum tulangan web transversal untuk kombinasi beban geser dan puntir adalah $0,35b_w s/f_{yv}$. Perbedaan dalam definisi A_v dan simbol A_t harus dicatat; A_v adalah luasan dua kaki sengkang tertutup sementara A_t adalah luasan satu kaki sengkang tertutup.

13.6.5.2 — Bilamana diperlukan tulangan puntir berdasarkan ketentuan 13.6.5.1, maka luas minimum tulangan sengkang tertutup harus dihitung dengan ketentuan:

$$A_v + 2A_t = \frac{75\sqrt{f'_c} b_w s}{1200 f_{yv}} \quad (66)$$

namun $(A_v + 2A_t)$ tidak boleh kurang dari $(1/3)(b_w s/f_{yv})$.

13.6.5.3 — Bilamana diperlukan tulangan puntir berdasarkan ketentuan 13.6.5.1, maka luas total minimum tulangan puntir longitudinal harus dihitung dengan ketentuan:

S13.6.5.3 — Contoh-contoh balok beton bertulang dengan tulangan puntir kurang dari 1 persen berdasarkan volume telah gagal oleh puntir murni pada saat terjadi retak putir.^{13,25} Dalam *ACI Code* 1989 dan sebelumnya, hubungan disajikan yang mensyaratkan pemakaian sekitar 1 persen tulangan puntir dalam balok yang dibebani puntir

TATA CARA

$$A_{t,\min} = \frac{5\sqrt{f'_c} A_{cp}}{12f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) p_h \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \quad (67)$$

dengan A_t/s tidak kurang dari $b_w/(6f_{yv})$.

13.6.6 — Spasi tulangan puntir

13.6.6.1 — Spasi tulangan sengkang puntir tidak boleh melebihi nilai terkecil antara $p_h/8$ atau 300 mm.

13.6.6.2 — Tulangan longitudinal yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus didistribusikan di sekeliling perimeter sengkang tertutup dengan spasi tidak melebihi 300 mm. Batang atau tendon longitudinal tersebut harus berada di dalam sengkang. Pada setiap sudut sengkang tertutup harus ditempatkan minimal satu batang tulangan atau tendon longitudinal. Diameter batang tulangan longitudinal haruslah minimal sama dengan $1/24$ spasi sengkang, tetapi tidak kurang daripada 10 mm.

13.6.6.3 — Tulangan puntir harus dipasang melebihi jarak minimal $(b_t + d)$ di luar daerah dimana tulangan puntir dibutuhkan secara teoritis.

13.7 — Geser-friksi

13.7.1 — Ketentuan dalam 13.7 ini harus diterapkan jika dipandang perlu untuk meninjau penyaluran geser melalui suatu bidang tertentu, misalnya: pada bidang retakan eksisting atau daerah yang mempunyai potensi retak, pada bidang kontak antara bahan-bahan yang berlainan, atau pada bidang kontak antara dua beton yang dicor pada waktu yang berbeda.

13.7.2 — Perencanaan penampang yang memikul penyaluran geser seperti yang dijelaskan dalam 13.7.1 harus didasarkan pada Persamaan 44, dengan V_n dihitung menurut ketentuan 13.7.3 atau 13.7.4.

13.7.3 — Suatu retakan harus diasumsikan akan terjadi di sepanjang bidang geser yang ditinjau (Gambar 10). Luas A_w yang diperlukan untuk penulangan geser-friksi disepanjang

PENJELASAN

murni dan lebih kecil untuk balok balok kena kombinasi beban geser dan puntir, sebagai fungsi rasio tegangan geser akibat puntir dan geser. Pers. (67) disederhanakan dengan mengasumsikan nilai tunggal faktor reduksi ini dan menghasilkan rasio volumetrik sebesar kira-kira 0,5 persen.

S13.6.6 — Spasi tulangan puntir

S13.6.6.1 — Spasi sengkang dibatasi untuk memastikan perkembangan kekuatan puntir ultimat balok, untuk mencegah kehilangan kekakuan puntir yang berlebihan setelah retak, dan untuk mengendalikan lebar retak. Untuk penampang persegi pembatasan $p_h/8$ mensyaratkan spasi sengkang $d/2$, ini berhubungan sesuai Pasal 13.5.4.1.

S13.6.6.2 — Di S11.6.3.7 ditunjukkan bahwa tulangan longitudinal diperlukan untuk menahan jumlah gaya tarik longitudinal akibat puntir di dinding tabung berdinggip-tipis. Karena gaya bekerja sepanjang sumbu pusat penampang, pusat tulangan longitudinal tambahan untuk puntir harus kira-kira berhimpit dengan pusat penampang. Tata cara menyelesaikan ini dengan menyaratakan tulangan puntir longitudinal untuk didistribusikan sekeliling perimeter sengkang tertutup. Batang atau tendon longitudinal diperlukan pada setiap sudut sengkang untuk menyediakan jangkar untuk kaki sengkang. Batang sudut telah juga diketahui sangat efektif dalam menghasilkan kekuatan puntir dan dalam mengendalikan retak.

S13.6.6.3 — Jarak $(b_t + d)$ diluar titik yang secara teoritis memerlukan tulangan puntir adalah lebih besar dari yang digunakan untuk tulangan geser dan lentur karena retak tarik diagonal torsi terjadi dalam bentuk memutar.

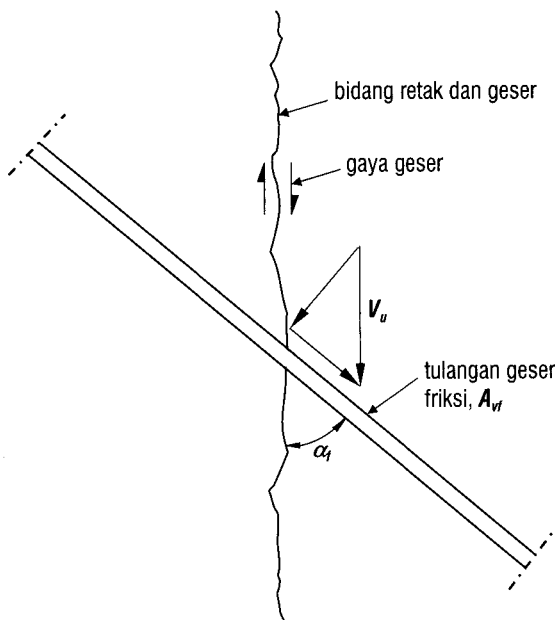
S13.7 — Geser-friksi

S13.7.1 — Dengan perkecualian dari Pasal 13.7, kenyataan semua ketentuan mengenai geser dimaksudkan untuk mencegah kegagalan tarik diagonal daripada kegagalan transfer geser langsung. Tujuan dari 13.7 adalah untuk menyediakan metoda desain untuk kondisi dimana transfer geser harus diperhitungkan: bidang-kontak antara beton-beton yang dicetak pada saat yang berbeda, bidang-kontak antara beton dan baja, detail tulangan untuk struktur beton pracetak, dan situasi lainnya dimana dianggap layak untuk menginvestigasi transfer geser melalui bidang beton struktural. (Lihat Referensi 13.31 dan 13.32.)

S13.7.3 — Walaupun beton yang tak-retak relatif kuat terhadap geser langsung tetapi selalu ada kemungkinan bahwa retak akan terbentuk pada lokasi yang tidak diharapkan. Konsep geser-friksi mengasumsikan bahwa

TATA CARA

bidang geser tersebut boleh direncanakan dengan menggunakan 13.7.4 ataupun menggunakan metode perencanaan penyaluran geser lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang nilainya sangat mendekati dengan hasil pengujian yang rinci, lengkap dan seksama.



Gambar 10—Geser-friksi

13.7.3.1 — Ketentuan 13.7.5 hingga 13.7.10 berlaku untuk semua perhitungan kuat penyaluran geser.

PENJELASAN

retak seperti itu akan terbentuk, dan bahwa tulangan harus disediakan melintasi retak untuk menahan perpindahan relatif sepanjang retak itu. Bila geser bekerja sepanjang retak, sebuah bidang retak bergeser relatif terhadap yang lainnya. Jika muka retak adalah kasar dan tak beraturan, perpindahan ini disertai dengan pemisahan bidang retak. Pada saat ultimat, pemisahan ini cukup menegangkan tulangan yang melintasi retak sampai titik lelehnya. Tulangan menyediakan gaya penjepit $A_w f_y$ melintasi bidang retak. Geser yang bekerja kemudian ditahan oleh friksi antara bidang retak, dengan tahanan geseran oleh tonjolan-tonjolan pada bidang retak, dan dengan aksi dowel tulangan yang melintasi retak. Penerapan yang sukses dari Pasal 13.7 tergantung pada asumsi pemilihan lokasi retak yang tepat.^{13.16,13.31}

Hubungan antara kuat transfer-geser dan tulangan yang melintasi bidang geser dapat dirumuskan dalam berbagai cara. Pers. (68) dan (69) dari Pasal 13.7.4 didasarkan pada suatu model geser-friksi. Ini memberikan prediksi kekuatan transfer-geser yang konservatif. Hubungan lainnya yang memberikan estimasi kuat transfer-geser yang lebih dekat^{13.16,13.33,13.34} dapat digunakan dibawah ketentuan dari Pasal 13.7.3. Sebagai contoh, bila tulangan geser-friksi tegak lurus terhadap bidang geser, kuat geser V_n diberikan oleh^{13.33,13.34}

$$V_n = 0,8 A_w f_y + A_c K_1$$

dimana A_c adalah luasan penampang beton yang menahan transfer geser (mm^2) dan $K_1 = 2,8$ MPa untuk beton normal, 1,4 MPa untuk beton ringan, dan 1,7 MPa untuk beton ringan pasir. Nilai-nilai K_1 ini berlaku baik untuk beton cetak monolit maupun untuk beton cetak terhadap beton mengeras dengan permukaan kasar, seperti didefinisikan dalam Pasal 13.7.9.

Dalam persamaan ini, bagian ruas pertama mewakili kontribusi friksi pada tahanan transfer-geser (0,8 mewakili koefisien friksi). Bagian ruas kedua mewakili jumlah tahanan geseran oleh tonjolan-tonjolan pada bidang retak dan aksi dowel tulangan.

Bila tulangan geser-friksi miring terhadap bidang gesernya, sehingga gaya geser menghasilkan tarik dalam tulangan itu, kekuatan geser V_n diberikan oleh

$$V_n = A_w f_y (0,8 \sin \alpha_f + \cos \alpha_f) + A_c K_1 \sin^2 \alpha_f$$

dimana α_f adalah sudut antara tulangan geser-friksi dengan bidang geser, (yaitu $0 < \alpha_f < 90$ derajat).

Bilamana menggunakan metoda geser-friksi yang dimodifikasi, bagian ruas $(A_w f_y / A_c)$ atau $(A_w f_y \sin \alpha_f / A_c)$ harus tidak kurang dari 1,4 MPa untuk persamaan

TATA CARA

PENJELASAN

13.7.4 — Cara perencanaan geser-friksi

13.7.4.1 — Bila tulangan geser-friksi dipasang tegak lurus terhadap bidang geser, maka kuat geser V_n harus dihitung berdasarkan

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \tag{68}$$

dengan μ adalah koefisien friksi yang ditetapkan sesuai dengan 13.7.4.3.

13.7.4.2 — Bila tulangan geser-friksi membentuk sudut terhadap bidang geser sedemikian rupa hingga gaya geser yang bekerja menghasilkan gaya tarik pada tulangan geser-friksi, maka kuat geser V_n harus dihitung menurut

$$V_n = A_{vf} f_y (\mu \sin \alpha_f + \cos \alpha_f) \tag{69}$$

dengan α_f adalah sudut yang terbentuk antara tulangan geser-friksi dan bidang geser (Gambar 10).

13.7.4.3 — Koefisien friksi μ pada Persamaan 68 dan 69 harus diambil sebagai berikut:

Beton yang dicor monolit	1,4λ
Beton yang dicor di atas permukaan beton yang telah mengeras dengan kondisi permukaan yang sengaja dikasarkan seperti yang ditentukan dalam 13.7.9	1,0λ
Beton yang dicor di atas permukaan beton yang telah mengeras dengan kondisi permukaan yang tidak secara sengaja dikasarkan	0,6λ
Beton yang diangkur pada baja gilas struktural dengan menggunakan penghubung geser jenis paku berkepala atau batang tulangan (lihat 13.7.10)	0,7λ

dengan $\lambda = 1,0$ untuk beton normal, 0,85 untuk beton ringan-pasir dan 0,75 untuk beton ringan-total. Jika dilakukan penggantian pasir secara parsial maka nilai λ bisa didapatkan dengan menggunakan interpolasi linier dari kedua harga tersebut di atas.

13.7.5 — Kuat geser V_n tidak boleh diambil melebihi **0,2 $f_c A_c$** ; ataupun **5,5 A_c** (dalam Newton), dengan A_c adalah luas penampang beton yang menahan penyaluran geser.

13.7.6 — Kuat leleh rencana tulangan geser-friksi tidak boleh

perencana agar berlaku.

S13.7.4 — Cara perencanaan geser-friksi

S13.7.4.1 — Luasan tulangan transfer-geser perlu A_{vf} dihitung menggunakan

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu}$$

Ketentuan batas atas kuat geser harus juga diperhatikan.

S13.7.4.2 — Bila tulangan geser-friksi dimiringkan terhadap bidang gesernya, sehingga komponen gaya geser yang paralel terhadap tulangan cenderung untuk menghasilkan tarik dalam tulangan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 10, maka bagian geser akan ditahan oleh komponen paralel terhadap bidang geser.^{13.34} Pers. (69) harus digunakan hanya bila komponen gaya geser yang paralel terhadap tulangan menghasilkan tarik dalam tulangan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 10. Bila α_f lebih besar dari 90 derajat, pergerakan relatif permukaan cenderung menekan batangnya dan Pers. (69) tidak berlaku.

S13.7.4.3 — Dalam metoda perhitungan geser-friksi, diasumsikan bahwa semua tahanan geser adalah akibat friksi antara bidang-bidang retak. Karena itu, perlu untuk menggunakan nilai koefisien friksi yang tinggi secara artifisial dalam persamaan geser-friksi supaya kuat geser yang dihitung akan berada cukup cocok dengan hasil uji. Untuk beton yang dicetak terhadap beton mengeras yang tidak dikasarkan sesuai dengan Pasal 13.7.9, tahanan geser terutama diperoleh akibat aksi dowel tulangan dan uji^{13.35} menunjukkan bahwa nilai tereduksi sebesar $\mu = 0,6\lambda$ yang dispesifikasikan untuk kasus ini adalah layak.

Nilai μ untuk beton yang dicor pada baja gilas struktural yang dipakai untuk desain hubungan antara komponen struktur beton pracetak, atau antara komponen baja struktural dan komponen beton struktur. Tulangan transfer-geser dapat berupa baik batang tulangan atau konektor geser berkepala; juga, pengelasan di lapangan pada pelat baja setelah pengecoran beton adalah umum. Desain konektor geser untuk aksi komposit pelat beton dan balok baja tidak diliput oleh ketentuan ini, tetapi harus sesuai dengan Referensi 13.36.

S13.7.5 — Batas atas kuat geser ditentukan karena Pers. (68) dan (69) menjadi tidak konservatif jika V_n mempunyai nilai yang lebih besar.

TATA CARA

PENJELASAN

diambil lebih besar daripada 400 MPa.

13.7.7 — Gaya tarik neto yang bekerja pada bidang geser harus dipikul oleh tulangan tambahan. Gaya tekan netto permanen yang bekerja pada bidang geser boleh diperhitungkan sebagai tambahan terhadap gaya pada tulangan geser-friksi $A_{vf}f_y$, pada saat menghitung A_w perlu.

S13.7.7 — Jika ada gaya tarik resultan bekerja melintas bidang geser, tulangan yang memikul tarik itu harus disediakan sebagai tambahan pada yang disediakan untuk transfer geser. Tarik dapat diakibatkan oleh kekangan deformasi akibat perubahan temperatur, rangkai, dan susut. Gaya tarik seperti itu telah mengakibatkan kegagalan, khususnya di tumpuan balok.

Bila momen bekerja pada bidang geser, tegangan tarik lentur dan tegangan tekan lentur berada dalam kesetimbangan. Tidak ada perubahan dalam tekan resultan $A_{vf}f_y$ yang bekerja melintasi bidang geser dan kuat transfer-geser tidak berubah. Karena itu tidak perlu menyediakan tulangan tambahan untuk menahan tegangan tarik lentur, kecuali bila tulangan tarik lentur yang diperlukan melebihi jumlah tulangan transfer-geser yang disediakan di zona tarik lentur. Ini telah didemonstrasikan secara eksperimental.^{13.37}

Juga telah didemonstrasikan secara eksperimental^{13.32} bahwa jika gaya tekan resultan bekerja melintasi bidang geser, kuat transfer-geser adalah fungsi jumlah gaya tekan resultan dan gaya $A_{vf}f_y$ tulangan geser-friksi. Dalam desain, keuntungan dari keberadaan gaya tekan melintasi bidang geser harus dimanfaatkan untuk mereduksi jumlah tulangan geser-friksi yang diperlukan, ini boleh dilakukan hanya jika ada kepastian bahwa gaya tekan adalah permanen.

13.7.8 — Tulangan geser-friksi harus ditempatkan setepat mungkin di sepanjang bidang geser dan harus diangkurkan agar mampu mengembangkan kuat leleh yang disyaratkan pada kedua sisinya dengan cara penanaman, pengaitan, atau pengelasan pada perangkat khusus.

S13.7.8 — Jika tidak ada momen bekerja melintasi bidang geser, tulangan harus didistribusikan secara merata sepanjang bidang geser untuk meminimumkan lebar retak. Jika ada momen bekerja melintasi bidang geser, adalah diinginkan untuk mendistribusikan tulangan transfer-geser terutama dalam zona tarik lentur.

Karena tulangan geser-friksi bekerja dalam tarik, tulangan ini harus mempunyai angkur tarik penuh pada kedua sisi bidang geser. Selanjutnya, angkur tulangan geser-friksi harus mengikat tulangan utama, jikalau tidak retak potensial dapat melewati antara tulangan geser-friksi dan badan beton. Persyaratan ini berlaku khususnya untuk konektor berkepala yang dilas yang biasanya menggunakan selipan (*inserts*) baja untuk hubungan beton pracetak dan beton cor setempat. Angkur dapat dikembangkan melalui lekatan, oleh angkur mekanik yang dilas, atau oleh pasak berulir dan sekrup. Keterbatasan ruang seringkali memerlukan angkur mekanik las. Untuk angkur stud berkepala dalam beton lihat Referensi 13.16.

13.7.9 — Untuk memenuhi ketentuan 13.7, bila beton dicor terhadap beton yang telah mengeras sebelumnya, maka bidang kontak yang digunakan untuk penyaluran geser harus bersih dan bebas dari kotoran atau serpihan yang tidak berguna. Jika μ dianggap sama dengan 1,0, maka bidang kontak harus dikasarkan hingga mencapai amplitudo penuh sebesar ± 5 mm.

TATA CARA

13.7.10 — Bila geser disalurkan antara baja gilas struktural dan beton dengan menggunakan *stud* berkepala atau batang tulangan yang dilas, maka permukaan baja harus bersih dan bebas dari cat.

13.8 — Ketentuan khusus untuk komponen struktur lentur tinggi

13.8.1 — Ketentuan dalam 13.8 berlaku untuk komponen struktur dengan l_n/d kurang daripada 5 yang dibebani pada satu sisi dan ditumpu pada sisi lainnya sedemikian hingga lintasan tekan dapat terbentuk antara beban dan tumpuan. Lihat juga 14.10.6.

13.8.2 — Perencanaan komponen struktur lentur tinggi yang ditumpu sederhana terhadap geser harus didasarkan pada Persamaan 44 dan 45, dengan kuat geser V_e harus dihitung menurut 13.8.6 atau 13.8.7 sedangkan kuat geser V_s harus dihitung menurut 13.8.8.

13.8.3 — Perencanaan komponen struktur lentur tinggi yang menerus terhadap geser harus didasarkan pada 13.1 hingga 13.5, dengan 13.8.5 menggantikan 13.1.3, atau didasarkan pada metode yang memenuhi persyaratan keseimbangan dan kekuatan. Selain itu, perencanaan harus juga memenuhi 13.8.4, 13.8.9 dan 13.8.10.

13.8.4 — Kuat geser V_n untuk komponen struktur lentur tinggi tidak boleh diambil lebih besar daripada $(2/3)\sqrt{f_c}b_wd$ bila l_n/d kurang daripada 2. Bila l_n/d bernilai di antara 2 dan 5, maka

$$V_n = \frac{1}{18} \left(10 + \frac{l_n}{d} \right) \sqrt{f_c} b_w d \quad (70)$$

13.8.5 — Diukur dari muka tumpuan, penampang kritis untuk geser harus diambil sejarak $0,15l_n$ untuk balok dengan beban

PENJELASAN

S13.8 — Ketentuan khusus untuk komponen struktur lentur tinggi

S13.8.1 — Perilaku balok tinggi didiskusikan dalam Referensi 13.5 dan 13.38. Untuk balok tinggi yang mendukung beban gravitasi, sub-pasal ini berlaku jika beban bekerja pada bagian atas balok dan balok tersebut didukung pada bagian bawahnya. Jika beban diterapkan melalui sisi atau bagian bawah komponen struktur seperti itu, desain untuk geser harus sama seperti untuk balok biasa.

Tulangan longitudinal dalam balok tinggi harus diperpanjang sampai pada tumpuan dan diangkur secara cukup dengan penanaman, kait, atau dilas ke peralatan khusus. Rangka batang tidak direkomendasikan.

S13.8.3 — Pada balok menerus, penampang kritis untuk geser yang didefinisikan dalam 13.8.5 terjadi di titik dimana M_n mendekati nol. Sebagai hasilnya, suku kedua dalam Pers. (72) menjadi besar. Dengan alasan ini, 13.8.3 mensyaratkan balok tinggi menerus harus didesain terhadap geser sesuai dengan prosedur desain balok biasa kecuali bahwa 13.8.5 digunakan untuk mendefinisikan penampang kritis untuk geser daripada 13.1.3. Untuk balok terbebani merata, 13.1.3 mengijinkan desain untuk geser pada jarak d dari pendukung. Hal ini seringkali akan mendekati nol pada balok tinggi.

Sebagai sebuah alternatif untuk prosedur desain balok biasa, metoda desain yang memenuhi persyaratan kesetimbangan dan kekuatan diperbolehkan. Metoda seperti itu disajikan dalam Referensi 11.38 dan 11.39.

TATA CARA

merata dan $0,50a$ untuk balok dengan beban terpusat, tetapi tidak lebih besar daripada d .

13.8.6 — Kecuali bila dilakukan suatu perhitungan yang lebih rinci menurut 13.8.7, maka

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (71)$$

13.8.7 — Kuat geser V_c boleh dihitung dengan

$$V_c = \left(3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \quad (72)$$

kecuali bahwa suku

$$\left(3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u d} \right)$$

tidak melebihi 2,5 dan V_c tidak diambil lebih besar daripada $(1/2) \sqrt{f'_c} b_w d$. M_u merupakan momen terfaktor yang terjadi secara bersamaan dengan V_u pada penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.8.5.

13.8.8 — Bila gaya geser terfaktor V_u melebihi kuat geser ϕV_c , maka tulangan geser harus dipasang untuk memenuhi Persamaan 44 dan 45, dimana kuat geser V_s harus dihitung dengan

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \frac{\ell_n}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left(\frac{11 - \frac{\ell_n}{d}}{12} \right) \right] f_y d \quad (73)$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan tarik lentur dalam rentang jarak s , dan A_{vh} adalah luas tulangan geser yang sejajar dengan tulangan lentur dalam rentang jarak s_2 .

13.8.9 — Luas tulangan geser A_v tidak boleh kurang daripada $0,0015b_w s$, dan s tidak boleh melebihi $d/3$, ataupun 500 mm.

13.8.10 — Luas tulangan geser horizontal A_{vh} tidak boleh kurang daripada $0,0025b_w s_2$, dan s_2 tidak boleh melebihi $d/3$ ataupun 500 mm.

13.8.11 — Tulangan geser yang diperlukan pada penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.8.5 harus dipasang di sepanjang bentang.

PENJELASAN

S13.8.7 — Apabila rasio bentang-tinggi komponen struktur tanpa tulangan badan berkurang, kuat gesernya bertambah diatas geser yang mengakibatkan retak tarik diagonal. Dalam Pers. (72) diasumsikan bahwa retak diagonal terjadi pada kuat geser yang sama seperti untuk balok biasa, tetapi bahwa kuat geser yang dipikul oleh beton akan menjadi lebih besar dari kuat geser yang mengakibatkan retak diagonal.

Perencana harus mencatat bahwa geser yang melebihi geser yang mengakibatkan retak diagonal dapat mengakibatkan retak yang tidak kelihatan jikalau tulangan geser tidak disediakan.

S13.8.8 — Kemiringan retak diagonal bisa lebih besar dari 45 derajat, maka dari itu, baik tulangan geser horisontal maupun vertikal diperlukan dalam komponen struktur lentur tinggi.^{13,40} Jumlah relatif tulangan geser horisontal dan vertikal yang dipilih dari Pers. (73) dapat bervariasi, selama batas-batas pada jumlah minimum dan spasi diperhatikan.

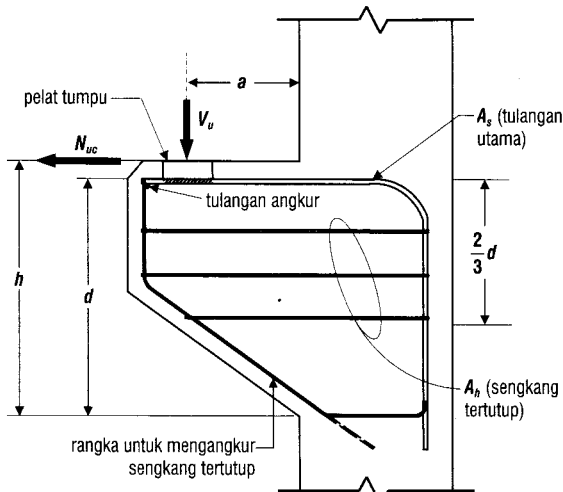
Perhatian khusus diarahkan pada pentingnya angkur yang cukup untuk tulangan geser. Tulangan badan horisontal harus diperpanjang ke pendukung dan diangkur dengan cara yang sama seperti tulangan tarik.

S13.8.11 — Berdasarkan pada analisis yang dilakukan pada penampang kritis yang disyaratkan dalam 13.8.5, komponen struktur bisa baik tidak memerlukan tulangan geser, atau tulangan geser diperlukan, dalam kasus tersebut tulangan geser harus digunakan sepanjang bentang.

TATA CARA

13.9 — Ketentuan khusus untuk konsol pendek

13.9.1 — Ketentuan 13.9 ini berlaku untuk konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif a/d tidak lebih besar daripada satu, dan memikul gaya tarik horizontal N_{uc} yang tidak lebih besar daripada V_u . Jarak d harus diukur pada muka tumpuan (Gambar 11).



Gambar 11—Parameter geometri konsol pendek

13.9.2 — Tinggi konsol pada tepi luar daerah tumpuan tidak boleh kurang daripada $0,5d$.

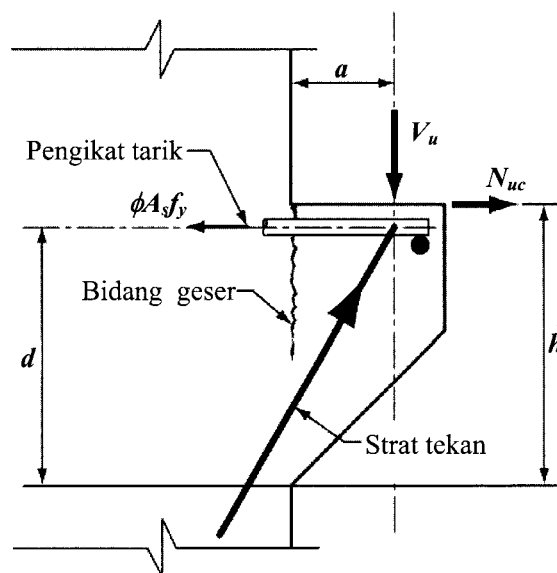
PENJELASAN

S13.9 — Ketentuan khusus untuk konsol pendek

Konsol pendek adalah kantilever yang mempunyai rasio bentang geser terhadap tinggi efektif tidak lebih besar dari satu, yang cenderung bekerja seperti rangka batang (*truss*) sederhana atau balok tinggi, daripada komponen struktur lentur yang didesain untuk geser menurut Pasal 13.3.

Konsol pendek yang ditunjukkan oleh Gambar S13.9.1 dapat gagal oleh retak sepanjang bidang-kontak antara kolom dan konsol pendek, oleh pelemahan pengikat tariknya, oleh kehancuran atau pembelahan alur tekannya, atau dengan kegagalan tumpuan secara lokal atau geser dibawah pelat tumpu. Mode kegagalan ini diilustrasikan dan didiskusikan lebih penuh dalam Referensi 13.1. Notasi yang digunakan dalam Pasal 13.9 diilustrasikan dalam Gambar 11.

S13.9.1 — Batas atas sebesar 1,0 untuk a/d dikenakan untuk dua alasan. Pertama, untuk rasio bentang-terhadap-tinggian geser melebihi satu, retak tarik diagonal terjadi kurang tajam dan penggunaan sengkang horisontal saja seperti dispesifikasikan dalam Pasal 13.9.4 adalah kurang tepat. Kedua, metoda perencanaan ini hanya telah divalidasi secara eksperimen untuk a/d sebesar satu atau kurang. Batas atas diadakan untuk N_{uc} karena metoda perencanaan ini hanya dibuktikan secara eksperimen untuk N_{uc} kurang dari atau sama dengan V_u , termasuk N_{uc} sama dengan nol.



Gambar S13.9.1—Aksi struktur konsol pendek

S13.9.2 — Ketinggian minimum disyaratkan pada tepi luar luasan tumpuan agar kegagalan prematur tidak akan terjadi akibat retak tarik diagonal utama yang menjalar dari bawah

TATA CARA

13.9.3 — Penampang pada muka tumpuan harus direncanakan untuk memikul secara bersamaan suatu geser V_u , suatu momen $V_u a + N_{uc}(h - d)$, dan suatu gaya tarik horizontal N_{uc} .

13.9.3.1 — Di dalam semua perhitungan perencanaan yang sesuai dengan 13.9, faktor reduksi kekuatan ϕ harus diambil sebesar 0,75.

13.9.3.2 — Perencanaan tulangan geser-friksi A_v untuk memikul geser V_u harus memenuhi ketentuan 13.7.

(a) Untuk beton normal, kuat geser V_u tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,2f'_c b_w d$ ataupun $5,5b_w d$ dalam Newton.

(b) Untuk beton ringan-total atau beton ringan-pasir, kuat geser V_u tidak boleh diambil melebihi $(0,2 - 0,07 a/d)f'_c b_w d$ ataupun $(5,5 - 1,9a/d)b_w d$ dalam Newton.

13.9.3.3 — Tulangan A_t untuk menahan momen $[V_u a + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut 12.2 dan 12.3.

13.9.3.4 — Tulangan A_n untuk menahan gaya tarik N_{uc} harus ditentukan dari $N_{uc} \leq \phi A_n f_y$. Gaya tarik N_{uc} tidak boleh diambil kurang daripada $0,2V_u$, kecuali bila digunakan suatu cara khusus untuk mencegah terjadinya gaya tarik. Gaya tarik N_{uc} harus dianggap sebagai suatu beban hidup walaupun gaya tarik tersebut timbul akibat rangkai, susut, atau perubahan suhu.

13.9.3.5 — Luas tulangan tarik utama A_s harus diambil sama dengan nilai terbesar dari $(A_t + A_n)$ atau $(2A_v/3 + A_n)$.

PENJELASAN

luasan tumpuan ke permukaan luar konsol pendek atau braket. Kegagalan tipe ini telah diobservasi^{13.41} pada konsol pendek yang mempunyai ketinggian pada tepi luar luasan tumpuan kurang dari yang disyaratkan pada sub-pasal tata cara ini.

S13.9.3.1 — Perilaku konsol pendek dikendalikan secara menonjol oleh geser; karena itu, nilai tunggal sebesar $\phi = 0,75$ disyaratkan untuk semua kondisi perencanaan.

S13.9.3.2 — Banyak percobaan^{13.42} telah menunjukkan bahwa kekuatan geser maksimum korbel atau braket beton-tingan merupakan fungsi baik f'_c maupun a/d . Tidak ada data tersedia untuk konsol pendek yang dibuat dari beton-tingan yang terbuat dari semua beton ringan. Sebagai akibatnya, pembatasan yang sama telah diberlakukan pada konsol pendek dan beton pasir ringan.

S13.9.3.3 — Tulangan yang diperlukan untuk menahan momen dapat dihitung menggunakan teori lentur. Momen terfaktor dihitung dengan menjumlahkan momen-momen terhadap tulangan lentur pada muka tumpuan.

S13.9.3.4 — Karena besaran gaya horisontal yang bekerja pada konsol pendek tidak dapat ditentukan dengan akurasi yang tinggi, maka disyaratkan bahwa N_{uc} dianggap sebagai beban hidup.

S13.9.3.5 — Banyak percobaan^{13.42} menyarankan bahwa jumlah total tulangan $(A_s + A_h)$ yang diperlukan memotong muka tumpuan harus lebih besar dari:

(a) Jumlah dari A_v yang dihitung menurut Pasal 13.9.3.2 dan A_n yang dihitung menurut Pasal 13.9.3.4;

(b) Jumlah dari 1,5 kali A_f yang dihitung menurut Pasal 13.9.3.3 dan A_n yang dihitung menurut Pasal 13.9.3.4.

Jika (a) menentukan, $A_s = (2A_v/3 + A_n)$ disyaratkan sebagai tulangan tarik utama, dan $A_v/3$ sisanya haruslah disediakan sebagai sengkang tertutup sejajar dengan A_s dan didistribusikan dalam $2d/3$, bersebelahan dengan A_s . Sub-Pasal 13.9.4 memenuhi ini dengan mensyaratkan $A_h = 0,5(2A_v/3)$.

TATA CARA

13.9.4 — Sengkang tertutup atau sengkang ikat yang sejajar dengan A_s , dengan luas total A_h , yang tidak kurang daripada $0,5(A_s - A_n)$, harus disebarikan secara merata dalam rentang batas duapertiga dari tinggi efektif konsol, dan dipasang bersebelahan dengan A_s .

13.9.5 — Rasio $\rho = A_s/bd$ tidak boleh diambil kurang daripada $0,04(f'_c/f_y)$.

13.9.6 — Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkurkan dengan salah satu cara berikut:

(a) dengan las struktural pada suatu tulangan transversal yang diameternya minimal sama dengan diameter tulangan A_s ; las harus direncanakan agar mampu mengembangkan kuat leleh f_y dari batang tulangan A_s .

(b) dengan menekuk tulangan tarik utama A_s sebesar 180° hingga membentuk suatu loop horizontal; atau

(c) dengan cara lain yang mampu memberikan pengangkurkan yang baik.

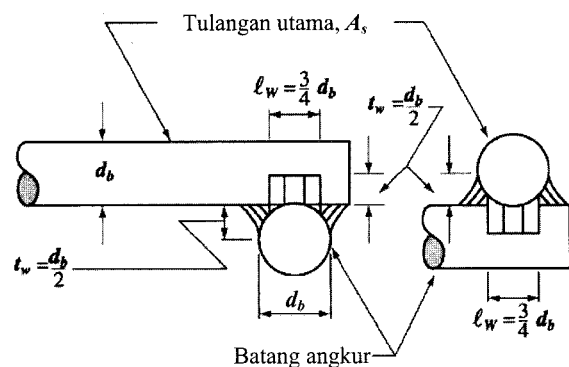
PENJELASAN

Jika (b) menentukan, $A_s = (A_f + A_n)$ disyaratkan sebagai tulangan tarik utama, dan $A_f/2$ sisanya harus disediakan sebagai sengkang tertutup sejajar dengan A_s dan didistribusikan dalam $2d/3$, bersebelahan dengan A_s . Sekali lagi 13.9.4 memenuhi persyaratan ini.

S13.9.4 — Sengkang tertutup paralel pada tulangan tarik utama adalah perlu untuk mencegah kegagalan tarik diagonal prematur pada konsol pendek. Luasan sengkang tertutup yang diperlukan $A_h = 0,5(A_s - A_n)$ secara otomatis menghasilkan jumlah yang sesuai, seperti didiskusikan dalam S13.9.3.5 diatas.

S13.9.5 — Jumlah tulangan minimum disyaratkan untuk mencegah kemungkinan kegagalan mendadak bila beton konsol pendek retak dibawah aksi momen lentur dan gaya tarik ke arah luar N_{uc} .

S13.9.6 — Karena komponen horisontal batang tekan beton miring (lihat Gambar S13.9.1) ditransfer ke tulangan tarik utama di lokasi beban vertikal, tulangan A_s pada pokoknya tertegang secara seragam dari muka tumpuan ke titik dimana beban vertikal diterapkan. Karena itu, ia harus diangkur di ujung luarnya dan pada kolom pendukungnya, dengan maksud agar terbentuk kuat lelehnya dari muka tumpuan ke beban vertikal. Angkur yang memuaskan di ujung luar dapat diperoleh dengan membengkokkan batang A_s dalam putaran horisontal seperti dispesifikasikan dalam (b), atau dengan pengelasan batang berdiameter yang sama atau siku yang berukuran sesuai yang melintang pada ujung batang A_s . Las harus direncanakan agar mampu mengembangkan kuat leleh tulangan A_s . Detail las digunakan dengan sukses dalam uji konsol pendek yang dilaporkan dalam Referensi 13.42 ditunjukkan di Gambar S13.9.6. Tulangan A_s haruslah diangkur dalam kolom pendukung sesuai dengan persyaratan dari Pasal 14. Lihat diskusi tambahan mengenai angkur ujung ddialam S14.10.6.



Gambar S13.9.6—Detail las digunakan dalam uji dari Referensi 13.41

TATA CARA

13.9.7 — Luas daerah penumpu beban pada konsol pendek tidak boleh melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , dan tidak pula melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila dipasang).

13.10 — Ketentuan khusus untuk dinding

13.10.1 — Perencanaan untuk gaya geser yang tegak lurus muka dinding harus mengikuti ketentuan yang berlaku untuk pelat seperti yang tercantum dalam 13.12. Perencanaan untuk gaya geser horizontal yang sejajar bidang dinding harus memenuhi 13.10.2 hingga 13.10.8.

13.10.2 — Perencanaan penampang horizontal untuk geser yang sejajar bidang dinding harus didasarkan pada Persamaan 44 dan 45, dengan kuat geser V_c harus diambil sesuai dengan 13.10.5 atau 13.10.6 dan kuat geser V_s harus sesuai dengan 13.10.9.

13.10.3 — Kuat geser V_n pada sebarang penampang horizontal terhadap geser yang sejajar bidang dinding tidak boleh lebih besar daripada $(5/6)\sqrt{f'_c}hd$.

13.10.4 — Untuk perencanaan terhadap gaya geser horizontal yang sejajar bidang dinding, d harus diambil sebesar $0,8\ell_w$. Nilai d yang lebih besar, yaitu jarak antara serat tekan terluar hingga titik pusat tulangan tarik, boleh digunakan apabila analisis didasarkan pada kompatibilitas regangan.

13.10.5 — Bila tidak dilakukan perhitungan yang lebih rinci menurut 13.10.6, maka kuat geser V_c untuk dinding yang dibebani gaya tekan N_u tidak boleh diambil lebih besar daripada $(1/6)\sqrt{f'_c}hd$ atau untuk dinding yang dibebani gaya tarik N_u , V_c tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan dalam 13.3.2.3.

13.10.6 — Kuat geser V_c dapat dihitung berdasarkan Persamaan 74 dan 75, dimana nilai V_c harus diambil sebagai nilai terkecil dari Persamaan 74 atau 75:

$$V_c = \frac{1}{4}\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4\ell_w} \quad (74)$$

atau

PENJELASAN

S13.9.7 — Pembatasan lokasi luas daerah penumpu perlu untuk memastikan pembentukan kuat leleh tulangan A_s dekat beban. Bila konsol pendek direncanakan untuk menahan gaya horizontal, pelat penumpu harus dilas pada tulangan tarik A_s .

S13.10 — Ketentuan khusus untuk dinding

S13.10.1 — Geser pada bidang dari dinding sangatlah penting untuk dinding-geser (*shearwalls*) dengan rasio tinggi-terhadap-panjang kecil. Desain dinding yang lebih tinggi, khususnya dinding dengan tulangan terdistribusi merata, mungkin ditentukan oleh pertimbangan lentur.

S13.10.3 — Meskipun rasio lebar-terhadap-ketinggian dinding-geser lebih kecil dari yang ada di balok biasa, banyak percobaan^{13,43} pada dinding-geser dengan ketebalan sama sebesar $\ell_w/25$ telah menunjukkan bahwa tegangan geser ultimat lebih dari $(5/6)\sqrt{f'_c}$ dapat diperoleh.

S13.10.5 dan S13.10.6 — Pers. (74) dan (75) dapat digunakan untuk menentukan kuat retak miring pada sebarang penampang dinding geser. Pers. (74) sesuai dengan terjadinya tegangan tarik utama sebesar kira-kira $(1/3)\sqrt{f'_c}$ di pusat penampang dinding-geser. Pers. (75) kira-kira sesuai dengan terjadinya tegangan tarik lentur sebesar $(1/2)\sqrt{f'_c}$ pada penampang $\ell_w/2$ diatas penampang yang diinvestigasi. Bila ruas

$$\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{\ell_w}{2} \right)$$

mengecil, Pers. (74) akan menentukan sebelum ruas ini menjadi negatif. Bilamana ruas ini menjadi negatif Pers. (74) harus dipakai.

TATA CARA

$$V_c = \left[\frac{1}{2} \sqrt{f'_c} + \frac{\ell_w \left(\sqrt{f'_c} + 2 \frac{N_u}{\ell_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{\ell_w}{2}} \right] \frac{hd}{10} \quad (75)$$

dengan N_u adalah negatif untuk tarik. Persamaan 75 tidak berlaku bila $(M_u/V_u - \ell_w/2)$ bernilai negatif.

13.10.7 — Penampang-penampang yang berada dalam daerah yang berjarak sejauh nilai terkecil dari $\ell_w/2$ atau setengah tinggi dinding dari dasar dinding, dapat direncanakan dengan nilai V_c yang sama dengan nilai V_c yang dihitung pada penampang yang berjarak $\ell_w/2$ atau setengah tinggi dinding dari dasar dinding.

13.10.8 — Bila gaya geser terfaktor V_u adalah kurang daripada $\phi V_c/2$, maka tulangan harus disediakan sesuai dengan 13.10.9 atau sesuai dengan ketentuan dalam Pasal 16. Bila V_u melebihi $\phi V_c/2$, maka tulangan dinding untuk menahan geser harus disediakan sesuai dengan 13.10.9.

13.10.9 — Perencanaan tulangan geser untuk dinding

13.10.9.1 — Bila gaya geser terfaktor V_u lebih besar dari kuat geser ϕV_c , maka harus disediakan tulangan geser horizontal yang memenuhi Persamaan 44 dan 45, dan kuat geser V_s harus dihitung dari

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s_2} \quad (76)$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser horizontal dalam rentang jarak s_2 dan d ditentukan sesuai dengan 13.10.4. Tulangan geser vertikal harus disediakan sesuai dengan 13.10.9.4.

13.10.9.2 — Rasio dari luas tulangan geser horizontal terhadap luas bruto penampang vertikal dinding ρ_h , tidak boleh kurang daripada 0,0025.

13.10.9.3 — Spasi tulangan geser horizontal s_2 tidak boleh lebih besar daripada $\ell_w/5$, $3h$, ataupun 500 mm.

13.10.9.4 — Rasio dari luas tulangan geser vertikal terhadap luas bruto penampang horizontal dinding, ρ_v , tidak boleh kurang daripada:

$$\rho_v = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{\ell_w} \right) (\rho_h - 0,0025) \quad (77)$$

ataupun 0,0025, tetapi tidak perlu lebih besar daripada tulangan geser horizontal perlu.

PENJELASAN

S13.10.7 — Nilai V_c yang dihitung dari Pers. (74) dan (75) berlaku untuk penampang yang berlokasi jarak yang lebih kecil dari $\ell_w/2$ atau $h_w/2$ diatas dasar dinding. Akan tetapi, gaya geser terfaktor maksimum V_u pada sembarang penampang, termasuk dasar dinding, dibatasi sebesar ϕV_n sesuai dengan Pasal 13.10.3.

S13.10.9 — Perencanaan tulangan geser untuk dinding

Kedua tulangan geser horisontal dan vertikal diperlukan untuk semua dinding. Untuk dinding rendah, data uji^{13,44} menunjukkan bahwa tulangan geser horisontal menjadi kurang efektif dengan tulangan tulangan vertikal menjadi lebih efektif. Perubahan dalam keefektifan tulangan horisontal lawan vertikal ini diketahui dalam Pers. (77); bila h_w/ℓ_w kurang dari 0,5, jumlah tulangan vertikal menjadi sama dengan jumlah tulangan horisontal. Bila h_w/ℓ_w lebih besar dari 2,5, hanya jumlah tulangan vertikal minimum ($0,0025s_1h$) disyaratkan.

Pers. (76) dinyatakan dalam bentuk kuat geser V_s yang disediakan oleh tulangan geser horisontal untuk penerapan langsung dalam Pers. (44) dan (45).

Tulangan geser vertikal juga harus diadakan sesuai dengan Pasal 13.10.9.4 dalam batasan spasi dari Pasal 13.10.9.5.

TATA CARA

13.10.9.5 — Spasi tulangan geser vertikal s_v tidak boleh melebihi $l_w/3$, $3h$, ataupun 500 mm.

13.11 — Penyaluran momen ke kolom

13.11.1 — Bila beban gravitasi, angin, gempa, atau gaya lateral lainnya menyebabkan terjadinya penyaluran momen pada sambungan-sambungan elemen portal ke kolom, maka geser yang timbul akibat penyaluran momen tersebut harus diperhitungkan dalam perencanaan tulangan lateral kolom.

13.11.2 — Pada sambungan-sambungan elemen portal ke kolom harus disediakan tulangan lateral dengan luas tidak kurang daripada yang disyaratkan dalam Persamaan 56 dan dipasang di dalam kolom sejauh tidak kurang daripada tinggi bagian sambungan paling tinggi dari elemen portal yang disambung, kecuali untuk sambungan yang bukan merupakan bagian dari sistem utama penahan beban gempa, yang dikekang pada keempat sisinya oleh balok atau pelat yang mempunyai ketebalan yang kira-kira sama. Lihat 9.9.

13.12 — Ketentuan khusus untuk pelat dan fondasi telapak

13.12.1 — Kuat geser pelat dan fondasi telapak di sekitar kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi ditentukan oleh kondisi terberat dari dua hal berikut:

13.12.1.1 — Aksi balok satu arah dimana masing-masing penampang kritis yang akan ditinjau menjangkau sepanjang bidang yang memotong seluruh lebar pelat atau fondasi telapak. Pada aksi balok, pelat atau fondasi telapak harus direncanakan menurut 13.1 hingga 13.5.

13.12.1.2 — Aksi dua arah dimana masing-masing penampang kritis yang akan ditinjau haruslah ditempatkan sedemikian hingga perimeter penampang, b_o , adalah minimum, tetapi tidak perlu lebih dekat daripada jarak $d/2$ ke:

(a) tepi atau sudut kolom, beban terpusat atau daerah reaksi, atau

(b) lokasi perubahan ketebalan pelat seperti pada tepi kepala kolom atau tepi daerah penebalan pelat.

PENJELASAN**S13.11 — Penyaluran momen ke kolom**

S13.11.1 — Hasil uji^{13.45} telah menunjukkan bahwa hubungan balok kolom pada interior bangunan tidak memerlukan tulangan geser jika hubungan tersebut dikekang pada empat sisi oleh balok dengan ketinggian yang kira-kira sama. Akan tetapi, join tanpa pengekangan lateral, seperti pada eksterior bangunan, memerlukan tulangan geser untuk mencegah kerusakan akibat retak geser.^{13.46}

Untuk daerah dimana gempa-bumi kuat mungkin terjadi, hubungan mungkin disyaratkan untuk tahan terhadap beberapa kali beban bolak-balik sehingga membentuk kapasitas lentur dari balok-balok yang bergabung. Lihat Pasal 23 untuk ketentuan khusus untuk desain seismik.

S13.12 — Ketentuan khusus untuk pelat dan fondasi telapak

S13.12.1 — Pembedaan harus dibuat antara pelat atau pondasi telapak panjang dan sempit yang bekerja sebagai balok, dan pelat atau pondasi telapak yang dikenai aksi dua-arah dimana kegagalan dapat terjadi oleh pons seputar kerucut atau piramid yang terpancung yang berada sekitar beban terpusat atau daerah reaksi.

S13.12.1.2 — Penampang kritis untuk geser pada pelat yang dikenai lentur dua arah mengikuti perimeter tepi daerah yang terbebani.^{13.3} Tegangan geser yang bekerja pada penampang ini dengan beban terfaktor adalah fungsi $\sqrt{f'_c}$ dan rasio dimensi sisi kolom terhadap ketinggian efektif pelat. Hasil persamaan perencanaan yang jauh lebih sederhana dengan mengasumsikan penampang kritis semu yang berlokasi pada jarak $d/2$ dari keliling beban terpusat. Bila ini dilakukan, kekuatan geser hampirlah bebas dari rasio ukuran kolom terhadap ketinggian pelat. Untuk kolom persegi, penampang kritis ini ditentukan oleh garis lurus

TATA CARA

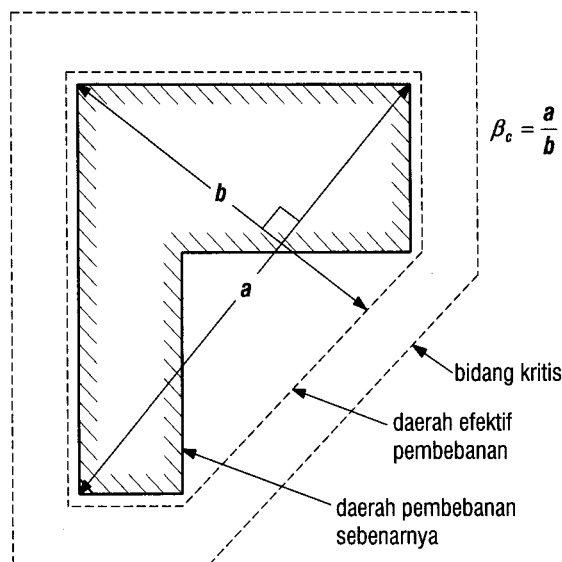
Untuk aksi dua arah, pelat atau fondasi telapak harus direncanakan menurut 13.12.2 hingga 13.12.6.

13.12.1.3 — Pada kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi yang berbentuk bujursangkar atau persegi, penampang kritis dengan empat sisi lurus boleh digunakan.

13.12.2 — Perencanaan pelat atau fondasi telapak untuk aksi dua arah harus didasarkan pada Persamaan 44 dan 45. V_c harus dihitung menurut 13.12.2.1, 13.12.2.2 atau 13.12.3.1. V_s harus dihitung menurut 13.12.3. Untuk pelat yang menggunakan penahan geser khusus, V_n dihitung menurut 13.12.4. Jika momen disalurkan antara pelat dan kolom, maka 13.12.6 harus dibertakukan.

13.12.2.1 — Untuk pelat dan fondasi telapak non-prategang, nilai V_c harus diambil sebagai nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut:

$$(a) \quad V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \quad (78)$$



Gambar 12—Nilai β_c untuk daerah pembebanan yang bukan persegi

PENJELASAN

yang dibuat paralel terhadap dan di jarak $d/2$ dari tepi daerah yang terbebani. Sub-Pasal 13.12.1.3 membolehkan penggunaan penampang kritis persegi.

Untuk pelat dengan ketebalan seragam, cukup untuk memeriksa geser pada satu penampang. Untuk pelat dengan ketebalan yang berubah-ubah, seperti tepi panel yang menipis, dipandang perlu untuk memeriksa geser di beberapa penampang.

Untuk kolom tepi di titik dimana kantilever pelat melebihi ukuran kolom, perimeter kritis bisa bersisi-tiga atau bersisi-empat.

S13.12.2.1 — Untuk kolom persegi, tegangan geser akibat beban ultimat pada pelat yang dikenai lentur dalam dua arah dibatasi sampai $(1/3)\sqrt{f'_c}$. Akan tetapi, banyak percobaan^{13.47} menunjukkan bahwa nilai sebesar $(1/3)\sqrt{f'_c}$ tidak konservatif bila rasio β_c dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom atau daerah pembebanan lebih besar dari 2,0. Dalam kasus seperti itu, tegangan geser aktual pada penampang kritis saat kegagalan geser pons bervariasi dari maksimum sebesar sekitar $(1/3)\sqrt{f'_c}$ sekeliling sudut kolom atau daerah pembebanan, turun sampai $(1/6)\sqrt{f'_c}$ atau kurang sepanjang sisi panjang antara kedua penampang ujung. Uji^{13.48} lainnya menunjukkan bahwa v_c menurun bilamana rasio b_o/d meningkat. Pers. (78) dan (79) dibentuk untuk memperhitungkan dua efek ini. Kata-kata “interior,” “tepi,” dan “kolom sudut” di Pasal 13.12.2.1(b) mengacu berturut-turut pada penampang kritis dengan 4, 3, dan 2 sisi.

Untuk bentuk selain dari persegi, β_c diambil sebagai rasio dimensi keseluruhan yang terpanjang dari daerah efektif pembebanan terhadap dimensi tegaklurus keseluruhan yang terbesar dari daerah efektif pembebanan, seperti digambarkan untuk daerah reaksi berbentuk-L dalam Gambar 12. Daerah efektif pembebanan adalah daerah yang secara total melingkupi daerah pembebanan aktual, dimana perimeternya adalah minimum.

TATA CARA

dengan β_c adalah rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom, daerah beban terpusat atau daerah reaksi (Gambar 12):

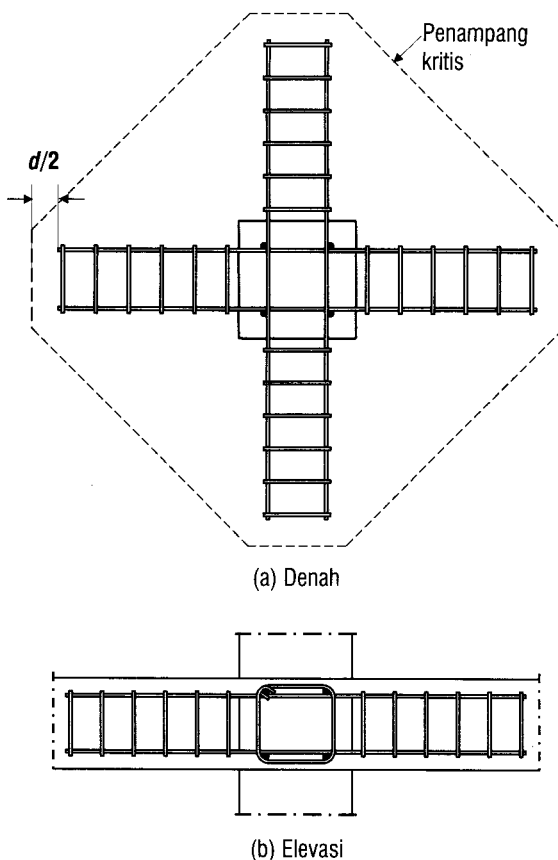
$$(b) \quad V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \quad (79)$$

dengan α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut, dan

$$(c) \quad V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (80)$$

13.12.2.2 — Pada kolom dari pelat dan fondasi telapak prategang dua arah yang memenuhi ketentuan 18.9.3:

$$V_c = (\beta_p \sqrt{f'_c} + 0,3 f_{pc}) b_o d + V_p \quad (81)$$



Gambar 13—Pengaturan tulangan geser pelat pada kolom interior

PENJELASAN

S13.12.2.2 — Untuk pelat dan pondasi telapak prategang, bentuk yang termodifikasi dari Pers. tata cara (78) dan (81) telah dispesifikasi untuk kuat geser aksi dua-arah. Riset^{13,49,13,50} menunjukkan bahwa kuat geser pelat prategang dua-arah sekeliling kolom interior secara konservatif diprediksi oleh Pers. (81). V_c dari Pers. (81) sesuai dengan gagal tarik diagonal beton yang berawal di penampang kritis yang didefinisikan di Pasal 13.12.1.2. Bentuk kegagalannya berbeda dari kegagalan geser pons di zona tekan beton sekeliling perimeter daerah pembebanan yang diprediksi oleh Pers. (78). Konsekuensinya, β_c tidak masuk kedalam Pers. (81). Nilai perencanaan untuk f'_c dan f_{pc} dibatasi akibat keterbatasan data uji yang tersedia untuk nilai-nilai yang lebih tinggi. Saat menghitung f_{pc} , kehilangan prategang akibat kekangan pelat oleh dinding-geser dan elemen struktur lainnya harus diperhitungkan.

Pada pelat prategang dengan tendon terdistribusi, V_p dalam Pers. (81) hanya berkontribusi kecil pada kuat geser; karena itu, dapat secara konservatif diambil sebesar nol. Jika V_p diikutsertakan, profil tendon yang diasumsikan dalam perhitungan haruslah dicatat.

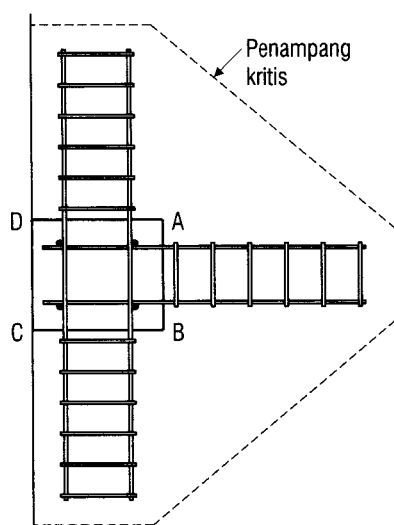
Untuk pendukung kolom eksterior dimana jarak dari sisi luar kolom ke tepi pelat kurang dari empat kali ketebalan pelat, prategang tidak sepenuhnya efektif sekeliling perimeter total b_o dari penampang kritis. Oleh karena itu, kuat geser dalam kasus ini secara konservatif diambil sama seperti untuk pelat nonprategang.

TATA CARA

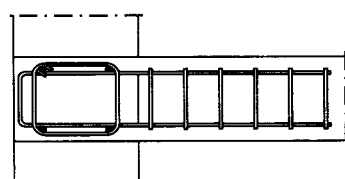
PENJELASAN

dengan β_p merupakan nilai terkecil dari 0,29 atau $(\alpha_s d/b_o + 1,5)/12$, α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi dan 20 untuk kolom sudut, b_o adalah perimeter penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, f_{pc} adalah nilai rata-rata dari nilai f_{pc} untuk kedua arah, dan V_p adalah komponen vertikal dari semua gaya prategang efektif yang memotong penampang kritis. Kuat geser V_c dapat dihitung dengan Persamaan 81 bila ketentuan berikut dipenuhi; bila tidak maka 13.12.2.1 harus diberlakukan (Gambar 13 dan 14):

- (a) tidak ada bagian penampang kolom yang jaraknya terhadap tepi pelat kurang dari 4 kali tebal pelat, dan
- (b) f'_c dalam Persamaan 81 tidak boleh diambil lebih besar daripada 35 MPa, dan
- (c) f_{pc} pada masing-masing arah tidak boleh kurang daripada 0,9 MPa, dan tidak boleh diambil lebih daripada 3,5 MPa.



(a) Denah



(b) Elevasi

Gambar 14—Pengaturan tulangan geser pelat pada kolom tepi

TATA CARA

13.12.3 — Tulangan geser yang terdiri dari batang tulangan atau kawat dapat digunakan pada pelat dan fondasi telapak berdasarkan ketentuan berikut:

13.12.3.1 — Kuat geser V_n harus dihitung menggunakan Persamaan 45, dimana kuat geser V_c tidak boleh diambil lebih besar daripada $(1/6)\sqrt{f'_c}b_o d$ dan luas tulangan geser yang dibutuhkan, A_v dan V_s , harus dihitung berdasarkan ketentuan dalam 13.5 dan diangkur sesuai ketentuan 14.13.

13.12.3.2 — Kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada $(1/2)\sqrt{f'_c}b_o d$.

13.12.4 — Tulangan geser yang terdiri dari baja struktural berpenampang I atau kanal boleh digunakan dalam pelat. Ketentuan 13.12.4.1 hingga 13.12.4.9 berlaku untuk keadaan dimana gaya geser akibat beban gravitasi disalurkan pada tumpuan kolom interior. Bila yang disalurkan ke kolom adalah momen, maka 13.12.6.3 harus dibertakukan.

13.12.4.1 — Setiap profil penahan geser harus terdiri dari profil baja yang dibentuk dengan proses pengelasan penetrasi penuh sehingga membentuk lengan yang sama yang saling tegak lurus. Lengan profil penahan geser tersebut tidak boleh terputus di dalam penampang kolom.

13.12.4.2 — Tinggi profil penahan geser tidak boleh melebihi 70 kali tebal badan profil baja yang digunakan.

13.12.4.3 — Ujung setiap lengan profil penahan geser boleh dipotong sehingga membentuk sudut tidak kurang daripada 30° terhadap horizontal, asalkan kuat lentur plastis penampang miring yang tersisa masih cukup untuk menahan bagian gaya geser yang bekerja padanya.

13.12.4.4 — Semua sayap tekan dari profil baja yang digunakan harus ditempatkan dalam jarak $0,3d$ dari bagian permukaan tekan pelat.

PENJELASAN

S13.12.3 — Riset telah menunjukkan bahwa tulangan geser yang terdiri dari batang atau kawat dapat dipakai dipelat asalkan diangkur sebagaimana mestinya. Detail penjangkaran yang dipakai dalam uji ditunjukkan dalam Gambar S13.12.3(a) sampai (c). Pengangkuran sengkang sesuai dengan persyaratan dari 14.13 adalah sulit pada pelat yang lebih tipis dari 250 mm. Untuk pelat tipis seperti itu, sengkang-sengkang harus hanya dipakai bila tertutup dan mengkait batang memanjang pada tiap sudut tulangan geser yang terdiri dari batang vertikal yang secara mekanik diangkur di setiap ujung dengan pelat atau kepala (*head*) yang mampu membentuk kekuatan leleh batang telah digunakan dengan sukses.

Pada hubungan slab-kolom dimana transfer momen dapat diabaikan, tulangan geser haruslah simetris terhadap pusat penampang kritis (Gambar 13). Batasan spasi didefinisikan dalam 13.12.3.3 juga ditunjukkan dalam Gambar 13 dan 14. Pada kolom tepi atau untuk hubungan interior dimana transfer momen adalah berarti, sengkang tertutup direkomendasikan dalam pola yang sesimetris mungkin. Meskipun tegangan geser rata-rata pada muka *AD* dan *BC* kolom eksterior dalam Gambar 14 lebih rendah dari pada muka *AB*, sengkang tertutup menerus dari muka *AD* dan *BC* memperkuat tahanan tegangan torsi dalam lajur pelat sepanjang tepi slab.

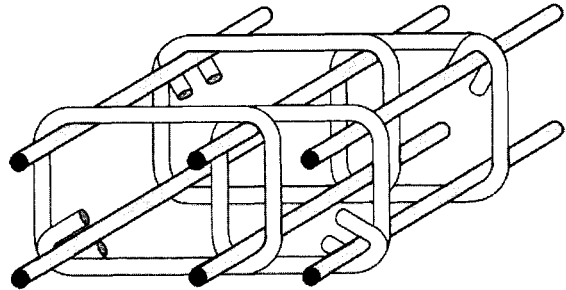
Bila batang atau kawat dipakai berbagai tulangan geser, kuat geser boleh ditingkatkan sampai tegangan maksimum $(1/2)\sqrt{f'_c}$. Akan tetapi, tulangan geser harus direncanakan untuk memikul semua geser yang melebihi tegangan $(1/6)\sqrt{f'_c}$.^{13.51}

S13.12.4 — Berdasarkan pada data uji yang dilaporkan,^{13.52} prosedur desain disajikan untuk tulangan penahan geser (*shearhead*) yang terdiri dari bentuk baja struktur. Untuk hubungan kolom yang mentransfer momen, desain kepala-geser diberikan dalam 13.12.6.3.

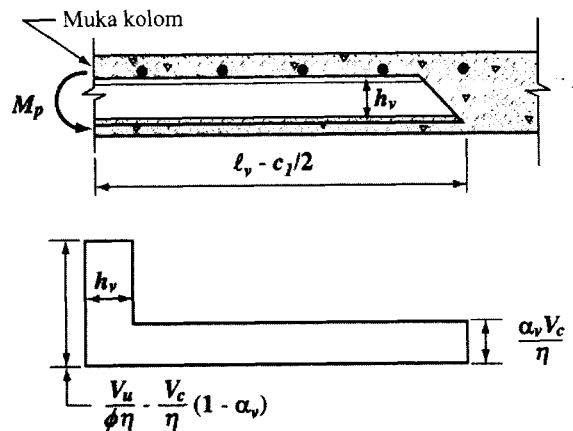
Tiga kriteria dasar haruslah diperhitungkan dalam desain tulangan penahan geser untuk hubungan yang mentransfer geser akibat beban gravitasi. Pertama, kuat lentur minimum harus disediakan untuk memastikan bahwa kuat geser yang diperlukan pelat dicapai sebelum kuat lentur penahan geser dilampaui. Kedua, tegangan geser dalam pelat di ujung tulangan penahan geser haruslah dibatasi. Ketiga, setelah dua persyaratan ini dipenuhi, perencana dapat mereduksi tulangan negatif pelat secara proporsi dengan kontribusi momen penahan geser di penampang desain.

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S13.12.3(a)—Sengkang pelat



Gambar S13.12.4.5—Geser teridealisasi bekerja pada penahan geser

13.12.4.5 — Nilai α_v yang merupakan rasio antara kekakuan setiap lengan profil penahan geser terhadap kekakuan penampang pelat komposit retak selebar $(c_2 + d)$ yang berada di sekelilingnya tidak boleh kurang daripada 0,15.

13.12.4.6 — Kuat lentur plastis M_p yang diperlukan pada masing-masing lengan profil penahan geser harus dihitung menggunakan:

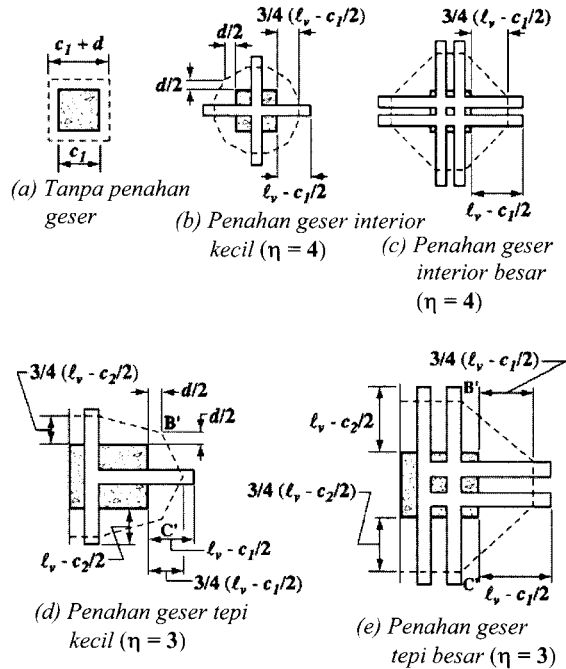
$$\phi M_p = \frac{V_u}{2\eta} \left[h_v + \alpha_v \left(l_v - \frac{c_1}{2} \right) \right] \quad (82)$$

dengan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk lentur, η adalah jumlah lengan, dan l_v adalah panjang minimum masing-masing lengan profil penahan geser yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan 13.12.4.7 dan 13.12.4.8.

S13.12.4.5 dan S13.12.4.6 — Distribusi geser dengan asumsi yang diidealisasi sepanjang lengan penahan geser di kolom interior ditunjukkan dalam Gambar S13.12.4.5. Geser sepanjang setiap lengan diambil sebesar $\alpha_v V_c / \eta$, dimana α_v dan η didefinisikan dalam Pasal 13.12.4.5 dan 13.12.4.6, dan V_c didefinisikan di 13.12.2.1. Akan tetapi, geser puncak di muka kolom diambil sebagai geser total yang diperhitungkan per lengan $V_u / \phi \eta$ dikurangi geser yang dianggap tersalur ke kolom oleh daerah tekan pelat beton. Ruas yang belakangan dinyatakan sebagai $(V_u / \eta)(1 - \alpha_v)$, supaya mendekati nol untuk profil penahan geser yang berat dan mendekati $V_u / \phi \eta$ bila digunakan profil penahan geser yang ringan. Pers. (82) kemudian mengikuti asumsi bahwa gaya geser yang menimbulkan retak miring V_c adalah sekitar setengah gaya geser V_u . Dalam persamaan ini, M_p adalah kuat momen plastis perlu dari setiap lengan profil penahan geser yang perlu untuk memastikan bahwa geser ultimat dicapai sebagaimana kuat momen profil penahan geser dicapai. Kuantitas l_v adalah panjang dari pusat kolom ke titik dimana profil penahan geser tidaklah lagi dibutuhkan, dan jarak $c_1/2$ adalah setengah dimensi kolom dalam arah yang ditinjau.

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar S13.12.4.7—Lokasi penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.4.7

13.12.4.7 — Penampang kritis pelat untuk geser harus tegak lurus terhadap bidang pelat dan harus memotong setiap lengan profil penahan geser sejarak tiga perempat dari $[\ell_v - (c_v/2)]$ diukur dari muka kolom ke ujung lengan profil penahan geser. Penampang kritis harus ditempatkan sedemikian hingga perimeter b_o minimum, tetapi tidak perlu lebih dekat daripada jarak $d/2$ terhadap perimeter penampang kolom.

S13.12.4.7 — Hasil-hasil uji^{13.52} menunjukkan bahwa pelat yang mengandung profil penahan geser bertulangan-kurang gagal pada tegangan geser pada penampang kritis di ujung tulangan profil penahan geser kurang dari $(1/3)\sqrt{f'_c}$. Walaupun penggunaan profil penahan geser bertulangan-lebih membawa kekuatan geser kembali sampai sekitar ekuivalen sebesar $(1/3)\sqrt{f'_c}$, data uji yang terbatas menyarankan diinginkan perencanaan yang konservatif. Karena itu, kekuatan geser dihitung sebesar $(1/3)\sqrt{f'_c}$ pada penampang kritis yang diasumsikan berlokasi di ujung tulangan profil penahan geser.

Penampang kritis diambil di lengan profil penahan geser sebesar tiga-perempat jarak $[\ell_v - (c_v/2)]$ dari muka kolom ke ujung profil penahan geser. Akan tetapi, penampang kritis yang diasumsikan ini tidak perlu diambil lebih dekat dari $d/2$ ke kolom. Lihat Gambar S13.12.4.7.

13.12.4.8 — Kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada $(1/3)\sqrt{f'_c}b_o d$ pada penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.4.7. Bila dipasang profil penahan geser, maka kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada $(0,6)\sqrt{f'_c}b_o d$ pada penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2(a).

TATA CARA

13.12.4.9 — Suatu profil penahan geser boleh diasumsikan menyumbangkan suatu tahanan momen M_v kepada setiap jalur kolom pelat yang nilainya tidak boleh melebihi:

$$M_v = \frac{\phi \alpha_v V_u}{2\eta} \left(\ell_v - \frac{c_1}{2} \right) \quad (83)$$

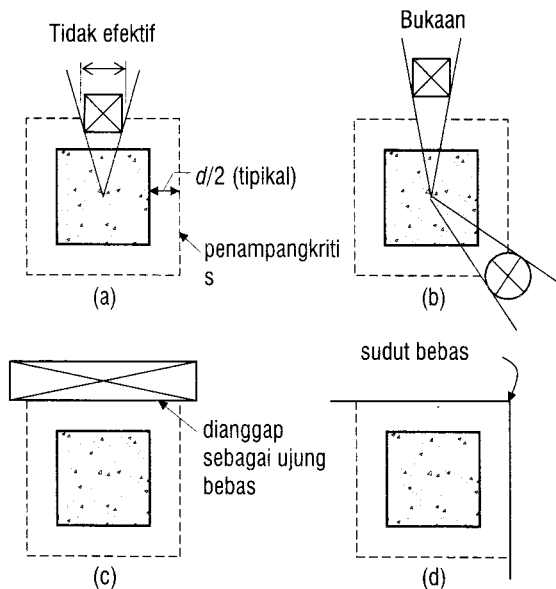
dengan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk lentur, η adalah jumlah lengan, dan ℓ_v adalah panjang setiap lengan profil penahan geser yang terpasang. Namun, M_v tidak boleh diambil lebih besar daripada nilai terkecil dari nilai-nilai berikut:

- (a) 30% dari momen terfaktor total yang diperlukan untuk setiap lajur kolom pelat,
- (b) perubahan dalam momen lajur kolom sepanjang ℓ_v ,
- (c) nilai M_p yang dihitung menurut Persamaan 82.

13.12.4.10 — Bila momen tidak berimbang diperhitungkan, maka profil penahan geser harus mempunyai pengankuran yang cukup untuk menyalurkan M_p ke kolom.

13.12.5 — Bukaan pada pelat

Bila bukaan pada pelat terletak pada jarak kurang dari 10 kali tebal pelat diukur dari daerah beban terpusat atau reaksi, atau jika bukaan dalam pelat datar terletak dalam lajur kolom seperti yang didefinisikan dalam Pasal 15, maka penampang kritis untuk geser yang didefinisikan dalam 13.12.1.2 dan 13.12.4.7 harus disesuaikan sebagai berikut (Gambar 15):



Gambar 15—Pengaruh bukaan dan tepi bebas

PENJELASAN

S13.12.4.9 — Jika geser puncak di muka kolom diabaikan, dan beban retak V_c diasumsikan lagi sebesar setengah V_u , kontribusi momen profil penahan geser M_v dapat secara konservatif dihitung dari Pers. (83), dimana ϕ adalah faktor untuk lentur (0,8).

S13.12.4.10 — Lihat S13.12.6.3.

S13.12.5 — Bukaan pada pelat

Ketentuan untuk perencanaan bukaan pada pelat (dan fondasi telapak) dikembangkan di Referensi 13.3. Lokasi bagian efektif penampang kritis dekat bukaan tipikal dan tepi bebas ditunjukkan oleh garis terputus di Gambar 15. Riset tambahan^{13,47} telah mengkonfirmasi bahwa ketentuan ini adalah konservatif.

TATA CARA

PENJELASAN

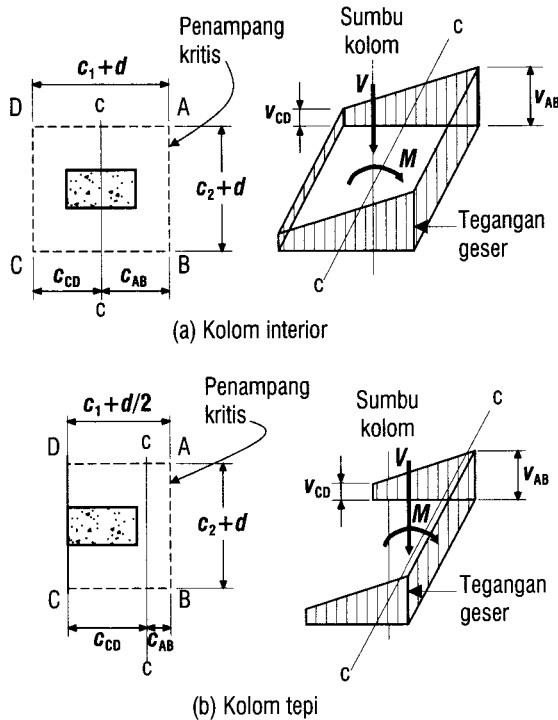
13.12.5.1 — Untuk pelat tanpa profil penahan geser, bagian perimeter penampang kritis yang dibatasi oleh garis-garis lurus yang ditarik dari titik pusat pada kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi dan menyinggung batas tepi bukaan harus dianggap tidak efektif.

13.12.5.2 — Untuk pelat dengan profil penahan geser, bagian perimeter yang tidak efektif adalah setengah dari bagian yang didefinisikan dalam 13.12.5.1.

13.12.6 — Penyaluran momen dalam sambungan pelat-kolom

13.12.6.1 — Bila beban gravitasi, angin, gempa, atau beban lateral lainnya menyebabkan terjadinya penyaluran momen tidak berimbang M_u antara pelat dan kolom, maka sebagian momen tidak berimbang tersebut, yaitu γM_u , harus disalurkan sebagai lentur mengikuti ketentuan 13.5.3 dan sisanya, yaitu $\gamma_v M_u$, disalurkan melalui eksentrisitas geser terhadap pusat penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, dengan,

$$\gamma_v = (1 - \gamma_l) \tag{84}$$



Gambar 16—Distribusi tegangan geser

13.12.6.2 — Tegangan geser yang terjadi akibat penyaluran momen melalui eksentrisitas geser harus dianggap bervariasi linier terhadap pusat penampang kritis, yang didefinisikan dalam 13.12.1.2 (Gambar 16). Tegangan geser maksimum

S13.12.6 — Penyaluran momen dalam sambungan pelat-kolom

S13.12.6.1 — Di Referensi 13.53 telah ditemukan bahwa bila momen disalurkan antara kolom dan pelat, 60 persen dari momen tersebut harus diperhitungkan disalurkan oleh lentur melintasi perimeter penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, dan 40 persen oleh eksentrisitas geser terhadap pusat penampang kritis. Untuk kolom persegi, porsi momen yang ditransfer oleh lentur meningkat sebagaimana lebar muka penampang kritis yang menahan momen meningkat, seperti diberikan oleh Pers. (89).

Kebanyakan data di Referensi 13.53 didapatkan dari uji kolom persegi, dan sedikit informasi tersedia untuk kolom bulat. Ini dapat didekati sebagai kolom persegi. Gambar 29 menunjukkan pendukung persegi yang mempunyai daerah sama seperti suatu komponen struktur non-persegi.

S13.12.6.2 — Distribusi tegangan diasumsikan seperti diilustrasikan dalam Gambar 16 untuk kolom interior atau eksterior. Perimeter penampang kritis, $ABCD$, ditentukan sesuai dengan Pasal 13.12.1.2. Gaya geser terfaktor V_u dan

TATA CARA

akibat gaya geser dan momen terfaktor tidak boleh melebihi ϕM_n :

(a) Untuk komponen struktur tanpa tulangan geser:

$$\phi V_n = \phi M_c / (b_o d) \quad (85)$$

dengan V_c adalah sebagaimana yang didefinisikan dalam 13.12.2.1 dan 13.12.2.2.

(b) Untuk komponen struktur yang menggunakan tulangan geser selain dari profil penahan geser:

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s) / (b_o d) \quad (86)$$

dengan V_c dan V_s adalah seperti yang didefinisikan dalam 13.12.3. Jika dipasang tulangan geser, maka variasi dari tegangan geser di sekitar kolom harus diperhitungkan dalam perencanaan.

13.12.6.3 — Bila tulangan geser yang digunakan terdiri dari penahan geser yang terbuat dari profil baja I atau kanal, maka jumlah total tegangan-tegangan geser yang bekerja pada penampang kritis yang didefinisikan pada 13.12.4.7, 13.12.1.2(a), dan 13.12.1.3 tidak boleh melebihi $\phi(1/3)\sqrt{f'_c}$.

PENJELASAN

momen tak-seimbang M_u ditentukan di sumbu pusat c - c penampang kritis. Tegangan geser terfaktor maksimum dapat dihitung dari:

$$v_{u(AB)} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v M_u c_{AB}}{J_c}$$

atau

$$v_{u(CD)} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v M_u c_{CD}}{J_c}$$

dimana γ_v diberikan oleh Pers. (84). Untuk kolom interior, A_c dan J_c dapat dihitung dengan

$$A_c = \text{luas beton penampang kritis asumsi} \\ = 2d(c_1 + c_2 + 2d)$$

J_c = sifat penampang kritis yang diasumsikan analog dengan momen inersia polar

$$= \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{(c_1 + d)d^3}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2}$$

Persamaan serupa dapat dibentuk untuk A_c dan J_c untuk kolom yang berlokasi di tepi atau sudut dari suatu pelat.

Sebagian momen tak-seimbang antara pelat dan kolom yang tidak disalurkan oleh eksentrisitas geser harus disalurkan oleh lentur sesuai dengan Pasal 15.5.3. Metoda konservatif menerapkan sebagian yang disalurkan oleh lentur sepanjang lebar efektif pelat yang didefinisikan dalam Pasal 15.5.3.2. Seringkali perencanaan mengkonsentrasikan tulangan lajur kolom dekat kolom untuk mengakomodasikan momen tak-seimbang ini. Data uji^{13.53} yang tersedia menunjukkan bahwa praktek ini tidak meningkatkan kekuatan geser tetapi mungkin diinginkan untuk meningkatkan kekakuan pertemuan pelat-kolom.

Data uji^{13.54} menunjukkan bahwa kapasitas mentransfer momen pelat prategang ke hubungan kolom dapat dihitung menggunakan prosedur dari Pasal 13.12.6 dan 15.5.3.

S13.12.6.3 — Hasil uji^{13.55} menunjukkan bahwa penampang kritis didefinisikan dalam Pasal 13.12.1.2(a) dan 13.12.1.3 dan tepat untuk perhitungan tegangan geser yang diakibatkan oleh transfer momen bahkan bilamana profil penahan-geser digunakan. Kemudian, walaupun penampang kritis untuk geser langsung dan geser akibat transfer momen berbeda, kedua penampang kritis itu berimpit atau sangat berdekatan di sudut kolom dimana kegagalan bermula. Karena profil penahan-geser menarik sebagian besar geser yang mendorong menuju kolom, adalah konservatif untuk mengambil tegangan geser maksimum sebagai jumlah dari kedua komponen.

2847/S-176

PASAL 13

TATA CARA

PENJELASAN

Pasal 13.12.4.10 mensyaratkan momen M_p yang ditransfer ke kolom oleh hubungan profil penahan-geser yang mentransfer momen yang tidak seimbang. Ini dapat dilakukan dengan tumpuan dalam kolom atau dengan pengangkuran mekanik.

PASAL 14 — PENYALURAN DAN PENYAMBUNGAN TULANGAN

TATA CARA

14.1 — Penyaluran tulangan — Umum

14.1.1 — Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang pengankuran, kait atau alat mekanis, atau kombinasi dari cara-cara tersebut. Kait sebaiknya tidak dipergunakan untuk menyalurkan tulangan yang berada dalam kondisi tekan.

14.1.2 — Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang dipakai pada pasal ini tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

14.2 — Penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik

14.2.1 — Panjang penyaluran ℓ_d , dinyatakan dalam diameter d_b untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, harus ditentukan berdasarkan 14.2.2 atau 14.2.3, tetapi ℓ_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

14.2.2 — Untuk batang ulir atau kawat ulir, ℓ_d/d_b harus diambil sebagai berikut (Tabel 11):

TABEL 11—PANJANG PENYALURAN BATANG ULIR DAN KAWAT ULIR

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang ℓ_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

14.2.3 — Untuk batang ulir atau kawat ulir, ℓ_d/d_b harus diambil:

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)} \quad (87)$$

Dalam persamaan di atas, nilai $(c + K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5.

PENJELASAN

S14.1 — Penyaluran tulangan — Umum

Dari sebuah titik tegangan puncak pada tulangan, suatu panjang tulangan atau pengankuran diperlukan untuk menyalurkan tegangan. Panjang penyaluran ini atau pengankuran diperlukan pada kedua sisi dari titik tegangan puncak tersebut. Seringkali tulangan menerus untuk jarak yang panjang pada satu sisi dari titik tegangan kritis sehingga perhitungan perlu melibatkan sisi yang lainnya saja, sebagai contoh, tulangan momen negatif yang menerus melalui pendukung sampai tengah bentang berikutnya.

S14.2 — Penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik

Dalam *ACI Code* 1989, perubahan besar telah dilakukan dalam prosedur untuk menghitung panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik. Walaupun revisi *ACI Code* 1989 telah didasarkan pada riset yang ekstensif dan pertimbangan profesional, banyak pemakai ketentuan-ketentuan *ACI Code* 1989 didalam desain, pendetailan, dan pabrikasi berpendapat aplikasi ketentuan-ketentuan tersebut terlalu kompleks. Didalam beberapa keadaan, revisi-revisi tersebut juga mensyaratkan panjang penyaluran yang lebih panjang dari pengalaman sebelumnya yang diperlukan. *ACI Committee* 318 memeriksa ulang prosedur panjang penyaluran tarik dasar dengan tujuan merumuskan sebuah format yang lebih bersahabat bagi pengguna (*user-friendly*) sementara tetap mempertahankan kesesuaiannya secara umum dengan hasil-hasil riset dan pertimbangan profesional. Dalam *ACI Code* 1995, format untuk menentukan panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik telah secara ekstensif direvisi. Akan tetapi, revisi tersebut didasarkan pada persamaan umum yang sama untuk panjang penyaluran sebelumnya yang didukung oleh *ACI Committee* 408.^{14.1,14.2}

Setelah diskusi yang ekstensif, *ACI Committee* 318 memutuskan untuk menampilkan sebanyak mungkin faktor-faktor pengali dalam persamaan dasar yang terdahulu, demikian juga untuk menata ulang suku-sukunya dan untuk menghapus faktor gabungan ϕ . Hal ini menghasilkan persamaan panjang penyaluran (dirumuskan dalam suku-suku diameter batang dan kawat) yang diberikan dalam 14.2.3:

TATA CARA

PENJELASAN

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right)}$$

c adalah faktor yang mewakili penutup sisi yang terkecil, penutup sepanjang batang atau kawat (dalam kedua kasus diukur ke pusat batang atau kawat), atau setengah spasi pusat-ke-pusat batang atau kawat. K_{tr} adalah faktor yang mewakili kontribusi tulangan pengekang yang melintas bidang belah potensial. α adalah faktor lokasi tulangan tradisional untuk merefleksikan pengaruh yang merugikan posisi tulangan teratas oleh pengecoran. β adalah faktor pelapis yang merefleksikan pengaruh pelapis epoksi. Faktor-faktor ini telah direvisi untuk merefleksikan penemuan riset dan terdapat batasan pada produk $\alpha\beta$. γ adalah faktor ukuran tulangan yang merefleksikan kinerja tulangan yang berdiameter lebih kecil lebih dikehendaki. λ adalah faktor yang merefleksikan kuat tarik beton ringan yang umumnya lebih rendah dan reduksi tahanan belah yang dihasilkan yang penting dalam penyaluran tulangan ulir. Sebuah batasan pada suku $(c + K_{tr})/d_b$ sebesar 2,5 disertakan untuk mengamankan terhadap kegagalan tipe cabut (*pullout*). Batasan ini telah menghapus kebutuhan untuk pemeriksaan terhadap $0,375d_b f_y / \sqrt{f'_c}$ yang sebelumnya disyaratkan menurut *ACI Code* 1989, Pasal 14.2.3.6.

Pers. umum (87) membolehkan perencana untuk melihat pengaruh semua variabel yang mengendalikan panjang penyaluran. Perencana diijinkan untuk mengabaikan suku-sukunya bilamana pengabaian tersebut menghasilkan panjang penyaluran yang lebih panjang dan selanjutnya menghasilkan panjang penyaluran yang lebih konservatif. Evaluasi Pers. (87) untuk kondisi desain yang pasti, dan untuk kuat beton dan mutu baja tulangan tertentu memberikan panjang penyaluran dasar dalam kelipatan diameter batang tulangan. Format ini telah dinilai oleh perencana dan penyedia batang tulangan sebagai sebuah formulasi yang jauh lebih praktis.

Akan tetapi, implementasi mensyaratkan bahwa baik hasil perhitungan ℓ_d memakai berdasarkan pada $(c + K_{tr})/d_b$ aktual untuk setiap kasus maupun suatu rentang nilai sebesar $(c + K_{tr})/d_b$ yang dipilih sebelumnya harus disajikan untuk kasus umum. *ACI Committee* 318 telah memilih sebuah format akhir yang memperkenankan pemakai untuk memilih diantara kedua pendekatan berikut:

- (1) Pasal 14.2.2 menyajikan sebuah pendekatan lebih sederhana yang mengakui bahwa banyak kasus praktek pelaksanaan konstruksi saat ini memanfaatkan nilai spasi dan penutup bersama-sama dengan tulangan pengekang seperti sengkang atau pengikat yang menghasilkan nilai $(c + K_{tr})/d_b$ sebesar paling sedikit 1,5. Contoh-contoh akan berupa penutup bersih minimum sebesar $1,0d_b$ baik

TATA CARA

PENJELASAN

bersama-sama dengan spasi bersih minimum sebesar $2d_b$, atau kombinasi spasi bersih minimum sebesar $1,0d_b$ dan pengikat atau sengkang minimum. Untuk kasus-kasus yang sering terjadi ini, panjang penyaluran untuk batang tulangan yang lebih besar dapat diambil sebesar $\ell_d/d_b = 3/5(f_y \alpha \beta \lambda \sqrt{f'_c})$. Perbandingan dengan ketentuan-ketentuan sebelumnya dan pemeriksaan bank data yang masif dari hasil eksperimen yang dipelihara oleh *ACI Committee 408*^{14.1} menunjukkan bahwa untuk batang ulir D-19 dan yang lebih kecil, demikian juga untuk kawat ulir, nilai-nilai ini dapat direduksi 20% dengan menggunakan $\gamma = 0,80$. Ini merupakan dasar untuk baris pertama dari tabel pada 14.2.2. Dengan penutup yang kurang dan dengan tidak adanya pengikat atau sengkang minimum, batasan spasi bersih minimum dari 9.6.1 dan persyaratan penutup beton minimum dari 9.7 menghasilkan nilai minimum c sebesar $1,0d_b$. Jadinya, untuk "kasus lain," nilai-nilai tersebut dikalikan dengan 1,5 untuk mengembalikannya ekuivalen dengan Pers. (87).

Sementara persamaan-persamaan dalam tabel pada 14.2.2 mungkin pada awalnya terlihat kompleks, persamaan-persamaan tersebut telah dievaluasi secara mudah dan untuk kondisi-kondisi yang umumnya terjadi, pemakai bisa dengan mudah membentuk perumusan yang sangat sederhana dan penampilan yang sangat berguna. Sebagai contoh, pada semua struktur dengan beton normal ($\lambda = 1,0$), tulangan tak-berlapis (*uncoated*) ($\beta = 1,0$), batang tulangan paling bawah D-19 atau lebih kecil ($\alpha = 1,0$) dengan $f'_c = 30$ MPa dan tulangan Mutu 420 MPa, persamaan tersebut tereduksi menjadi

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12(420)(1,0)(1,0)(1,0)}{25\sqrt{30}} = 37$$

atau

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18(420)(1,0)(1,0)(1,0)}{25\sqrt{30}} = 55$$

Jadi, seorang perencana atau pendetail mengetahui bahwa untuk kasus-kasus yang terjadinya menyebar, selama penutup minimum sebesar d_b , dan disediakan baik spasi bersih minimum sebesar $2d_b$ ataupun spasi bersih minimum sebesar d_b bersama-sama dengan pengikat atau sengkang minimum, $\ell_d = 37d_b$. Penalti untuk batang tulangan yang berspasi lebih dekat atau yang menyediakan penutup yang kurang adalah persyaratan bahwa $\ell_d = 55d_b$.

(2) Sebuah pendekatan lebih umum, yang pada dasarnya cukup mirip didalam banyak hal dengan proposal-proposal *ACI Committee 408* yang asli,^{14.1,14.2} disertakan dalam 14.2.3. Hal ini memperkenankan pemakai untuk mengevaluasi $(c + K_{tr})/d_b$ untuk setiap kombinasi penutup,

TATA CARA

PENJELASAN

spasi, dan tulangan transversal tertentu. Hal ini memperkenankan seseorang untuk menghitung panjang penyaluran secara lebih rinci bilamana kritis atau dalam investigasi khusus. Sebuah batasan pada $(c + K_{tr})/d_b$ sebesar 2,5 dikenakan untuk mempertahankan batasan 12.2.3.6 *ACI Code* 1989 sebesar $\ell_{db} \geq 0,375d_b f_y / \sqrt{f'_c}$, yang didasarkan pada pola kegagalan cabut (*pullout*) sebagai pola kegagalan.

Banyak kombinasi praktis penutup sisi, penutup bersih, dan tulangan pengekang yang bisa digunakan dengan 14.2.3 untuk menghasilkan panjang penyaluran yang jauh lebih pendek dari panjang penyaluran yang diperbolehkan oleh 14.2.2. Sebagai contoh, batang tulangan atau kawat dengan penutup bersih minimum tidak kurang dari $2d_b$ dan spasi bersih minimum tidak kurang dari $4d_b$ dan tanpa semua tulangan pengekang akan mempunyai nilai $(c + K_{tr})/d_b$ sebesar 2,5 dan akan mensyaratkan hanya 0,6 kali nilai-nilai dari 14.2.2.

Ketentuan-ketentuan dari 14.2.2 dan 14.2.3 memberikan dua pendekatan pengikat seperti yang disediakan dalam berbagai halaman lainnya dalam tata cara ini. Ketentuan-ketentuan ini menghasilkan perhitungan yang lebih sederhana dimana pendekatan-pendekatannya bisa diterima sementara mempertahankan pendekatan *ACI Committee* 408 yang lebih umum dimana kasus-kasus khusus atau banyak pengulangan membuat efisiensi yang lebih besar diinginkan.

Dasar untuk menentukan panjang penyaluran tarik dalam tata cara ini adalah sama seperti dasar dalam *ACI Code* 1989. Jadinya, alat bantu desain dan program komputer yang didasarkan pada Pasal 14.2 dari *ACI Code* 1989 bisa digunakan untuk memenuhi tata cara ini.

14.2.4 — Faktor-faktor yang digunakan pada persamaan-persamaan untuk penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik pada Pasal 14 adalah sebagai berikut:

α = faktor lokasi penulangan

Tulangan horisontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau... 1,3
Tulangan lain 1,0

β = faktor pelapis

Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$ 1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya 1,2
Tulangan tanpa pelapis 1,0

Walaupun demikian, hasil perkalian $\alpha\beta$ tidak perlu diambil lebih besar dari 1,7.

S14.2.4 — Faktor lokasi tulangan α memperhitungkan posisi tulangan dalam beton yang baru saja dicor. Faktor tersebut telah direduksi dari 1,4 dalam *ACI Code* 1983 menjadi 1,3 dalam *ACI Code* 1989 untuk merefleksikan hasil riset.^{14.3,14.4}

Faktor λ untuk beton beragregat ringan telah dibuat sama untuk semua tipe agregat dalam *ACI Code* 1989. Riset pada angkur batang tulangan berkait tidak mendukung variasi dalam *ACI Code* terdahulu untuk beton ringan total dan bobot ringan pasir dan telah dipilih nilai tunggal sebesar 1,3. Pasal 14.2.4 memperkenankan untuk digunakan faktor yang lebih rendah bilamana dispesifikasikan kuat tarik belah beton ringan. Lihat 7.1.4.

Hasil studi^{14.5,14.6,14.7} angkur batang tulangan berlapis epoksi menunjukkan bahwa kuat lekatan direduksi karena lapisan mencegah adesi dan friksi antara batang tulangan dan beton. Faktor-faktor tersebut merefleksikan tipe kegagalan angkur yang mungkin terjadi. Bila penutup atau spasinya kecil, kegagalan belah dapat terjadi dan kuat angkur atau

TATA CARA

γ = faktor ukuran batang tulangan

Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir 0,8

Batang D-22 atau lebih besar 1,0

λ = faktor beton agregat ringan

Apabila digunakan beton agregat ringan 1,3

Walaupun demikian, apabila f_{ct} disyaratkan, maka λ boleh

diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{ct})$ tetapi tidak kurang dari 1,0

Apabila digunakan beton berat normal 1,0

c = spasi atau dimensi selimut beton, mm

Pergunakan nilai terkecil antara jarak dari sumbu batang atau kawat ke permukaan beton terdekat dan setengah spasi sumbu ke sumbu batang atau kawat yang disalurkan.

K_{tr} = indeks tulangan transversal

$$= \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn}$$

dimana:

A_{tr} = luas penampang total dari semua tulangan transversal yang berada dalam rentang daerah berspasi s dan yang memotong bidang belah potensial melalui tulangan yang disalurkan, mm²

f_{yt} = kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan transversal, MPa

s = spasi maksimum sumbu-ke-sumbu tulangan transversal yang dipasang di sepanjang ℓ_b , mm

n = jumlah batang atau kawat yang disalurkan di sepanjang bidang belah

Sebagai penyederhanaan perencanaan, diperbolehkan mengasumsikan $K_{tr} = 0$ bahkan untuk kondisi dimana tulangan transversal dipasang.

14.2.5 — Tulangan lebih

Reduksi panjang penyaluran diperbolehkan apabila luasan tulangan terpasang pada komponen lentur melebihi luasan yang dibutuhkan dari analisis, kecuali apabila angkur atau penyaluran untuk f_y memang secara khusus dibutuhkan atau tulangan direncanakan berdasarkan aturan pada 23.2.1.4 (A_s perlu)/(A_s terpasang).

14.3 — Penyaluran batang ulir yang berada dalam kondisi tekan

14.3.1 — Panjang penyaluran ℓ_{db} , dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar ℓ_{db} pada 14.3.2 dengan

PENJELASAN

lekatan akan sangat tereduksi. Jika penutup dan spasi antar batang tulangnya besar, kegagalan belah akan dicegah dan pengaruh lapisan epoksi pada kuat angkur tidak sebesar itu. Hasil studi¹⁴⁸ telah menunjukkan bahwa meskipun penutup atau spasi mungkin kecil, kuat angkur bisa ditingkatkan dengan menambah baja transversal yang melintas bidang belah, dan menahan retak belah.

Walaupun tidak ada studi mengenai pengaruh baja transversal berlapis yang telah dilaporkan sampai saat ini, penambahan baja transversal seharusnya memperbaiki kuat angkur batang tulangan berlapis epoksi. Karena lekatan batang tulangan berlapis epoksi telah direduksi akibat kehilangan adesi antara batang tulangan dan beton, batas atas sebesar 1,7 dibentuk untuk produk faktor tulangan atas (top) dan tulangan berlapis epoksi.

S14.2.5 — Tulangan lebih

Faktor reduksi yang berdasarkan pada luasan tidak digunakan dalam kasus-kasus dimana disyaratkan penyaluran angkur untuk f_y penuh. Sebagai contoh, faktor tulangan lebih tidak berlaku untuk penyaluran tulangan momen positif di pendukung sesuai dengan 14.11.2, untuk penyaluran tulangan susut dan temperatur sesuai dengan 9.12.2.3, atau untuk penyaluran tulangan yang disediakan sesuai dengan 9.13 dan 15.3.8.5.

S14.3 — Penyaluran batang ulir yang berada dalam kondisi tekan

Pengaruh perlemahan retak tarik lentur tidak terjadi untuk batang tulangan yang tertekan, dan biasanya tumpuan ujung batang tulangan menguntungkan beton. Karena itu,

TATA CARA

faktor modifikasi yang berlaku sesuai dengan 14.3.3, tetapi ℓ_d tidak boleh kurang dari 200 mm.

14.3.2 — Panjang penyaluran dasar ℓ_{db} harus diambil sebesar $d_b f_y / (4\sqrt{f'_c})$, tetapi tidak kurang dari $0,04d_b f_y$.

14.3.3 — Panjang penyaluran dasar ℓ_{db} harus dikalikan dengan faktor yang berlaku untuk:

14.3.3.1 — Tulangan lebih

Tulangan terpasang yang jumlahnya melebihi jumlah yang diperlukan berdasarkan analisis..... (A_s perlu)/(A_s terpasang)

14.3.3.2 — Spiral dan sengkang

Tulangan yang berada di dalam daerah lilitan tulangan spiral berdiameter tidak kurang dari 6 mm dan spasi lilitannya tidak lebih dari 100 mm atau tulangan yang berada di dalam daerah yang dilingkupi sengkang D-13 yang memenuhi 9.10.5 dan berspasi sumbu-ke-sumbu tidak lebih dari 100 mm 0,75

14.4 — Penyaluran bundel tulangan

14.4.1 — Panjang penyaluran masing-masing batang yang terdapat di dalam satu bundel tulangan, dalam kondisi tarik atau tekan, harus diambil sama dengan panjang penyaluran untuk masing-masing batang tersebut, ditambah dengan 20% untuk bundel yang terdiri dari tiga batang tulangan dan 33% untuk bundel yang terdiri dari 4 batang tulangan.

14.4.2 — Untuk menentukan faktor yang sesuai pada 14.2, satu unit bundel tulangan harus dianggap sebagai satu batang tunggal dengan diameter yang dihitung berdasarkan luas total ekuivalen.

14.5 — Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

14.5.1 — Panjang penyaluran ℓ_{db} , dalam mm, untuk batang

PENJELASAN

disyaratkan panjang penyaluran dasar yang lebih pendek ℓ_{db} untuk tekan daripada untuk tarik. Panjang penyaluran dasar di 14.3.3.2 dapat direduksi 25 persen bilamana tulangan dibungkus dalam spiral seperti pada kolom atau spiral individual mengelilingi setiap batang tulangan atau kelompok batang tulangan.

S14.4 — Penyaluran bundel tulangan

S14.4.1 — Peningkatan panjang penyaluran yang ditambah untuk batang tulangan individual disyaratkan bilamana tiga atau empat batang dibundel bersama-sama. Perpanjangan ekstra diperlukan karena pengelompokan menjadikan lebih sulit untuk memobilisasi tahanan lekatan dari inti beton diantara batang tulangan.

Perencana harus juga memperhatikan 9.6.6.4 yang berhubungan dengan titik pemutusan batang tulangan individual dalam bundel dan 14.14.2.2 yang berhubungan dengan sambungan lewatan (*splices*) batang tulangan bundel. Peningkatan dalam panjang penyaluran dari 14.4 benar-benar berlaku bila panjang sambungan lewatan batang tulangan bundel yang dihitung sesuai dengan 14.14.2.2. Penyaluran batang tulangan bundel dengan kait bundel standar tidak dicakup oleh ketentuan dari 14.5.

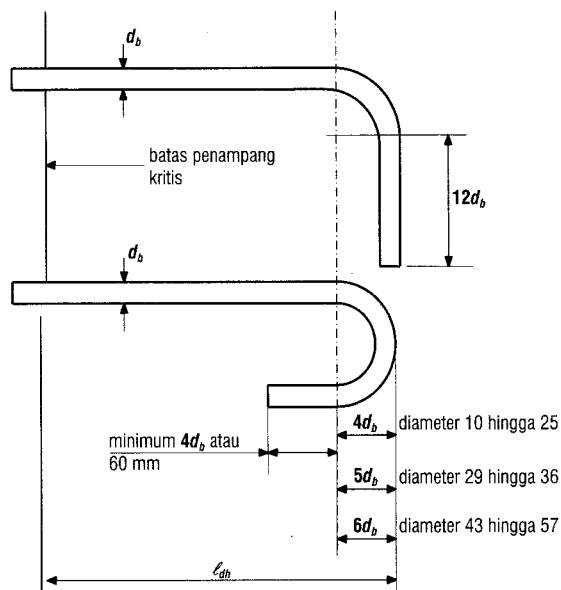
S14.4.2 — Meskipun panjang sambungan lewatan dan penyaluran batang tulangan bundel didasarkan pada diameter batang tulangan individual ditingkatkan dengan 20 atau 33 persen, bilamana sesuai, namun perlu untuk memakai diameter bundel keseluruhan ekuivalen yang diturunkan dari luasan batang tulangan total ekuivalen saat menentukan faktor-faktor dalam 14.2, yang mempertimbangkan penutup dan spasi bersih serta mewakili kecenderungan beton untuk membelah.

S14.5 — Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Ketentuan untuk angkur batang tulangan berkait telah

TATA CARA

ulir dalam kondisi tarik yang berakhir pada suatu kait standar (lihat 9.1) harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar ℓ_{hb} pada 14.5.2 dengan faktor atau faktor-faktor modifikasi yang berlaku yang sesuai dengan 14.5.3, tetapi ℓ_{dh} tidak boleh kurang dari $8d_b$ ataupun 150 mm (Gambar 17).



Gambar 17—Detail kaitan untuk penyaluran kait standar

14.5.2 — Panjang penyaluran dasar ℓ_{hb} untuk suatu batang berkait dengan f_y sama dengan 400 MPa harus diambil sebesar..... $100d_b/\sqrt{f'_c}$

14.5.3 — Panjang penyaluran dasar ℓ_{hb} harus dikalikan dengan faktor atau faktor-faktor yang berlaku untuk:

14.5.3.1 — **Kuat leleh batang**
Batang dengan f_y selain 400 MPa $f_y/400$

14.5.3.2 — **Selimit beton**
Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil, dengan tebal selimit samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm, dan untuk kait 90 derajat, dengan tebal selimit terhadap kait tidak kurang dari 50 mm. 0,7

14.5.3.3 — **Senggang atau sengkang ikat**
Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil dengan kait yang secara vertikal atau horizontal berada di dalam daerah yang dilingkupi sengkang atau sengkang ikat yang dipasang sepanjang panjang penyaluran ℓ_{dh} dengan spasi tidak melebihi $3d_b$ dimana d_b adalah diameter batang berkait..... 0,8

PENJELASAN

secara ekstensif direvisi dalam *ACI Code* 1983. Studi terhadap kegagalan batang tulangan berkait menunjukkan bahwa pembelahan penutup beton dalam bidang kait adalah penyebab kegagalan utama dan bahwa pembelahan berawal di sisi dalam kait dimana konsentrasi tegangan lokal sangat tinggi. Jadi, penyaluran kait merupakan fungsi langsung diameter batang d_b , yang mengendalikan besaran tegangan tekan pada sisi dalam kait. Hanya kait standar (lihat 9.1) yang ditinjau dan pengaruh radius bengkokan yang lebih besar tidak dapat dievaluasi oleh 14.5.

Ketentuan angkur batang tulangan berkait memberikan panjang penanaman batang tulangan berkait total seperti ditunjukkan dalam Gambar 17. Panjang penyaluran ℓ_{dh} diukur dari penampang kritis ke sisi luar ujung (atau tepi) kait.

Panjang penyaluran ℓ_{dh} adalah produk panjang penyaluran dasar ℓ_{hb} dari 14.5.2 dan faktor-faktor modifikasi yang sesuai dari 14.5.3. Jika penutup sisi besar sehingga pembelahan secara efektif dihilangkan, dan pengikat disediakan, maka kedua faktor dari 14.5.3.2 dan 14.5.3.3 bisa diterapkan: ($\ell_{dh} = \ell_{hb} \times 0,7 \times 0,8$). Jika, untuk kasus yang sama, angkur berada dalam beton ringan: ($\ell_{dh} = \ell_{hb} \times 0,7 \times 0,8 \times 1,3$).

Faktor modifikasi disediakan untuk kuat leleh batang tulangan, tulangan lebih, beton ringan, dan faktor untuk merefleksikan tahanan terhadap pembelahan yang disediakan dari pengekangan oleh beton dan pengikat transversal atau sengkang. Faktor-faktor tersebut didasarkan pada rekomendasi dari Referensi 14.1 dan 14.2.

Faktor untuk tulangan lebih berlaku hanya bila angkur atau penyaluran untuk f_y penuh tidak secara spesifik disyaratkan. Faktor untuk beton ringan merupakan suatu penyederhanaan terhadap prosedur dalam 14.2.3.3 dari *ACI Code* 1983. Tidak seperti penyaluran batang tulangan lurus, tidak ada perbedaan dibuat antara batang tulangan paling atas dan batang tulangan lainnya; perbedaan tersebut sulit untuk batang tulangan kait dalam berbagai kasus. Nilai minimum sebesar ℓ_{dh} disyaratkan untuk mencegah kegagalan oleh cabut (*pullout*) langsung dalam kasus-kasus dimana kait mungkin diletakkan sangat dekat dengan penampang kritis. Kait tidak dianggap efektif dalam kondisi tekan.

Hasil uji^{14.9} menunjukkan bahwa panjang penyaluran untuk batang tulangan berkait harus ditingkatkan dengan 20 persen untuk memperhitungkan lekatan tereduksi bilamana tulangan dilapisi epoksi.

TATA CARA

PENJELASAN

14.5.3.4 — Tulangan lebih

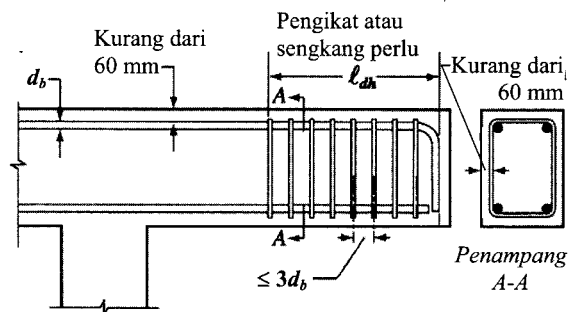
Bila pengankuran atau penyaluran untuk f_y tidak secara khusus diperlukan, maka tulangan dalam komponen struktur lentur yang dipasang dengan jumlah yang lebih banyak dari yang diperlukan berdasarkan analisis. (A_s perlu)/(A_s terpasang)

14.5.3.5 — Beton agregat ringan 1,3

14.5.3.6 — Tulangan berlapis epoksi 1,2

14.5.4 — Untuk batang yang disalurkan dengan kait standar pada ujung yang tidak menerus dari komponen struktur dengan kedua selimut samping serta selimut atas (atau bawah) terhadap kait kurang dari 60 mm, batang berkait harus dilindungi dengan sengkang atau sengkang pengikat di sepanjang panjang-penyaluran l_{dn} dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$, dimana d_b adalah diameter batang berkait. Untuk kondisi ini faktor pada 14.5.3.3 tidak boleh digunakan.

S14.5.4 — Kait batang tulangan khususnya rentan terhadap kegagalan membelah beton jika kedua penutup sisi (normal pada bidang kait) dan penutup paling atas atau paling bawah (pada bidang kait) kecil. Lihat Gambar S14.5.4. Dengan pengekanan minimum yang disediakan oleh beton, pengekanan tambahan yang disediakan oleh pengikat atau sengkang adalah penting, khususnya jika kuat penuh batang tulangan harus disalurkan oleh batang tulangan berkait dengan penutup yang kecil tersebut. Kasus-kasus dimana kait mungkin membutuhkan pengikat atau sengkang untuk pengekanan adalah di ujung balok bertumpuan sederhana, di ujung bebas kantilever, dan di ujung komponen struktur yang merangka kedalam joint bilamana komponen struktur tidak menerus melampaui joint tersebut. Sebaliknya, jika tegangan batang tulangan yang dihitung sangat rendah sehingga kait tidak diperlukan untuk ankur batang tulangan, maka pengikat atau sengkang tidak diperlukan. Juga, untuk batang tulangan berkait di ujung pelat yang tidak menerus dengan pengekanan yang disediakan oleh pelat yang menerus pada kedua sisi yang normal pada bidang kait, ketentuan-ketentuan dari 14.5.4 tidak berlaku.



Gambar S14.5.4—Penutup beton sesuai 14.5.4

14.5.5 — Kait tidak boleh dianggap efektif untuk batang dalam kondisi tekan.

S14.5.5 — Dalam kondisi tekan, kait tidak efektif dan tidak boleh dipakai sebagai ankur.

14.6 — Angkur mekanis

S14.6 — Angkur mekanis

14.6.1 — Setiap perangkat mekanis yang mampu mengembangkan kekuatan tulangan tanpa merusak beton boleh dipakai sebagai ankur.

S14.6.1 — Angkur mekanis dapat dibuat cukup kuat baik untuk tendon prategang maupun untuk tulangan batang.

TATA CARA

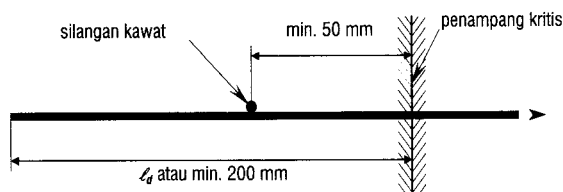
14.6.2 — Hasil uji yang menyatakan keandalan dari perangkat mekanis tersebut harus disampaikan kepada pengawas lapangan yang berwenang.

14.6.3 — Penyaluran tulangan boleh terdiri dari suatu kombinasi antara angkur mekanis ditambah dengan panjang penanaman tambahan tulangan antara titik dengan tegangan batang maksimum dan posisi angkur mekanis tersebut.

14.7 — Penyaluran jaring kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik

14.7.1 — Panjang penyaluran ℓ_d , dalam mm, untuk jaring kawat ulir las yang diukur dari lokasi penampang kritis hingga ujung kawat harus dihitung sebagai perkalian antara panjang penyaluran dasar ℓ_b , dari 14.2.2 atau 14.2.3, dengan faktor jaring kawat dari 14.7.2 atau 14.7.3. Panjang penyaluran tersebut boleh dikurangi sesuai dengan 14.2.5, tetapi ℓ_d tidak boleh kurang dari 200 mm kecuali pada perhitungan sambungan lewatan berdasarkan 14.18. Bilamana digunakan faktor jaring kawat dari 14.7.2, maka diperbolehkan memakai faktor lapisan epoksi β sebesar 1,0 untuk jaring kawat baja las yang dilapisi epoksi yang penyalurannya dihitung berdasarkan 14.2.2 dan 14.2.3.

14.7.2 — Untuk jaring kawat ulir dengan paling sedikit satu silangan kawat dalam rentang daerah panjang penyaluran dan berjarak tidak kurang dari 50 mm dari lokasi penampang kritis (Gambar 18), faktor jaring kawat harus diambil sebagai nilai terbesar dari:



Gambar 18—Penyaluran jaring kawat ulir

$$\left(\frac{f_y - 240}{f_y} \right)$$

atau

$$\left(\frac{5d_b}{s_w} \right)$$

PENJELASAN

S14.6.3 — Penyaluran total batang tulangan secara sederhana terdiri dari jumlah semua bagian yang berkontribusi pada angkur. Bila pengankuran mekanis tidak mampu membentuk kuat desain tulangan yang diperlukan, maka panjang penanaman tambahan tulangan harus disediakan diantara pengankuran mekanis dan penampang kritis.

S14.7 — Penyaluran jaring kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik

Gambar 18 menunjukkan persyaratan penyaluran untuk jaring kawat ulir dengan satu kawat silang (*cross wire*) dalam panjang penyaluran. *ASTM A 497* untuk jaring kawat ulir mensyaratkan kuat las yang sama seperti yang disyaratkan untuk jaring kawat polos (*ASTM A 185*). Sebagian penyaluran diberikan pada las dan sebagian diberikan pada panjang kawat ulir. Perhitungan penyaluran disederhanakan dari ketentuan *ACI Code* sebelumnya untuk penyaluran kawat dengan mengasumsikan bahwa hanya satu kawat silang yang terkandung dalam panjang penyaluran. Faktor pada 14.7.2 diterapkan pada panjang penyaluran kawat ulir yang dihitung dari 14.2, tetapi dengan minimum absolut sebesar 200 mm. Pernyataan eksplisit bahwa pengali jaring tidak diambil lebih besar dari 1 membetulkan kesalahan yang tidak disengaja didalam *ACI Code* sebelumnya. Pengali tersebut diturunkan menggunakan hubungan umum antara jaring kawat ulir dan kawat ulir pada nilai ℓ_{dn} dari *ACI Code* 1983.

Hasil uji^{14.10} telah menunjukkan bahwa jaring kawat las berlapis epoksi pada dasarnya mempunyai kuat penyaluran dan sambungan lewatan yang sama seperti jaring yang tidak berlapis karena kawat silang menyediakan angkur utama untuk kawat. Oleh karena itu, faktor berlapis epoksi sebesar 1,0 digunakan untuk panjang penyaluran dan sambungan lewatan jaring kawat las berlapis epoksi dengan kawat silang didalam sambungan lewatan atau panjang penyaluran.

TATA CARA

PENJELASAN

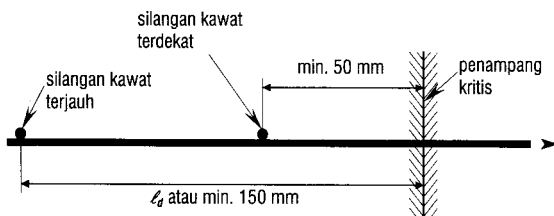
tetapi tidak perlu diambil lebih dari 1,0.

14.7.3 — Untuk jaring kawat ulir tanpa silangan kawat sepanjang daerah panjang penyalurannya atau dengan satu silangan kawat melintang yang letaknya kurang dari 50 mm dari lokasi penampang kritis, faktor jaring kawat harus diambil sama dengan 1,0 dan panjang penyaluran harus ditentukan berdasarkan perhitungan untuk kawat ulir.

14.7.4 — Apabila ada kawat baja polos di dalam jaring kawat ulir dalam arah panjang penyaluran, maka panjang penyaluran jaring kawat ini harus ditentukan berdasarkan 14.8.

14.8 — Penyaluran jaring kawat polos yang berada dalam kondisi tarik

Kuat leleh jaring kawat polos dapat dicapai dengan penanaman dua silangan kawat dalam daerah panjang penyaluran dimana jarak antara silangan kawat yang terdekat dengan lokasi penampang kritis tidak kurang dari 50 mm (Gambar 19). Walaupun demikian, panjang penyaluran dasar ℓ_d , dalam mm, yang diukur dari lokasi penampang kritis hingga lokasi silangan kawat terjauh tidak boleh kurang dari



Gambar 19—Penyaluran jaring kawat polos

$$3,3 \frac{A_w}{s_w} \left(\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \right) \lambda$$

kecuali apabila tulangan yang dipasang melebihi dari yang dibutuhkan, maka panjang ini dapat dikurangi sesuai dengan 14.2.5. ℓ_d tidak boleh kurang dari 150 mm kecuali dalam perhitungan sambungan lewatan berdasarkan 14.19.

14.9 — Penyaluran strand prategang

14.9.1 — *Strand* pratarik yang terdiri dari tiga atau tujuh kawat harus ditanam di luar daerah penampang kritis dengan suatu panjang penyaluran, dalam milimeter, tidak kurang dari

$$\ell_d = \frac{1}{7} \left(\frac{f_{se}}{3} \right) d_b + \frac{1}{7} (f_{ps} - f_{se}) d_b$$

dengan d_b adalah diameter *strand* dalam milimeter, dan f_{ps}

S14.8 — Penyaluran jaring kawat polos yang berada dalam kondisi tarik

Gambar 19 menunjukkan persyaratan penyaluran untuk jaring kawat polos dengan penyaluran yang terutama tergantung pada lokasi kawat silang (*cross wire*). Untuk jaring yang dibuat dengan kawat yang lebih kecil, penanaman paling sedikit dua kawat silang 50 mm atau lebih yang melampaui titik penampang kritis adalah cukup untuk membentuk kuat leleh penuh kawat yang diangkur. Akan tetapi, untuk jaring yang dibuat dengan kawat lebih besar berspasi dekat, penanaman yang lebih panjang disyaratkan dan panjang penyaluran minimum disediakan untuk jaring ini.

S14.9 — Penyaluran strand prategang

Persyaratan penyaluran untuk *strand* prategang dimaksudkan untuk menyediakan integritas lekatan untuk kuat komponen struktur. Ketentuan tersebut berdasarkan pada uji yang dilakukan pada komponen struktur beton normal dengan penutup minimum sebesar 50 mm. Uji ini tidak dapat mewakili perilaku *strand* dalam beton tanpa slam (*slump*) dengan rasio air-semen rendah. Metoda pabrikasi harus menjamin konsolidasi beton disekeliling *strand* dengan kontak lengkap antara baja dan beton.

TATA CARA

serta f_{se} dinyatakan dalam MPa.

PENJELASAN

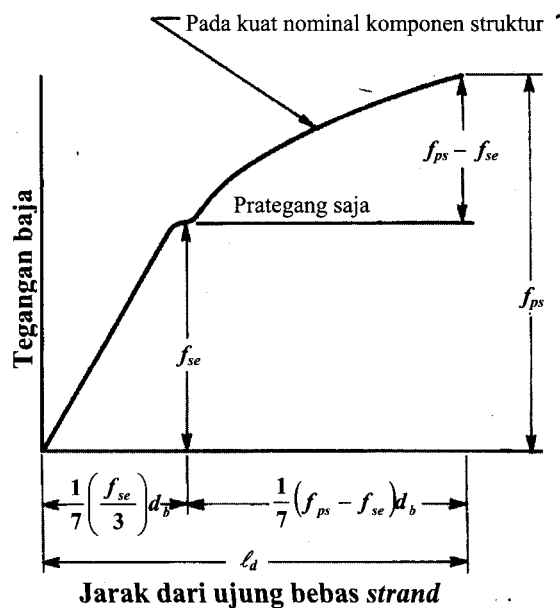
Tindakan pencegahan ekstra harus dilakukan bilamana dipakai beton tanpa slam dengan rasio air-semen rendah. Pada umumnya, pasal ini hanya akan mengendalikan desain komponen struktur kantilever dan bentang pendek.

Perumusan untuk panjang penyaluran l_d dapat ditulis ulang sebagai:

$$l_d = \frac{1}{7} \left(\frac{f_{se}}{3} \right) d_b + \frac{1}{7} (f_{ps} - f_{se}) d_b$$

dimana l_d dan d_b adalah dalam mm, dan f_{ps} dan f_{se} adalah dalam MPa. Suku pertama mewakili panjang transfer *strand*, yaitu adalah jarak sepanjang mana *strand* harus dilekatkan pada beton untuk membentuk prategang f_{se} dalam *strand*. Suku kedua mewakili panjang tambahan sepanjang mana *strand* harus dilekatkan supaya tegangan f_{ps} dapat terbentuk dalam *strand* pada kuat nominal komponen struktur.

Variasi tegangan *strand* sepanjang panjang penyaluran *strand* ditunjukkan dalam Gambar S14.9. Perumusan untuk panjang transfer dan untuk panjang lekatan tambahan diperlukan untuk menghasilkan peningkatan tegangan sebesar $(f_{ps} - f_{se})$ berdasarkan pada uji-uji komponen struktur yang diprategang dengan *strand* bersih diameter, 7, 10, dan 13 mm dimana nilai maksimum f_{ps} adalah 1900 MPa. Lihat Referensi 14.11, 14.12, dan 14.13.



Gambar S14.9—Variasi tegangan baja dengan jarak dari ujung bebas strand

TATA CARA

PENJELASAN

14.9.1.1 — Panjang penanaman yang kurang dari panjang penyaluran diperbolehkan pada penampang komponen struktur selama tegangan *strand* rencana pada penampang tersebut tidak melebihi nilai yang diperoleh dari hubungan bilinear yang didefinisikan pada persamaan di atas.

14.9.2 — Pembatasan investigasi hanya pada penampang-penampang yang berada paling dekat dengan ujung komponen struktur yang harus mengembangkan kuat rencana penuh pada saat menahan beban terfaktor yang ditentukan diperbolehkan.

14.9.3 — Pada keadaan dimana lekatan dari suatu *strand* tidak menerus hingga ujung komponen struktur, dan dimana dalam perencanaan akibat beban kerja terdapat kondisi tarik pada daerah yang pada awalnya terlebih dahulu mengalami tekan seperti halnya yang diizinkan dalam 20.4.2, maka panjang penyaluran yang ditentukan dalam 14.9.1 harus dikalikan 2.

14.10 — Penyaluran tulangan lentur — Umum

14.10.1 — Tulangan tarik dapat dikembangkan kemampuannya dengan membengkokkan tulangan tersebut ke arah badan penampang yang akan dijangkari atau dibuat menerus dengan tulangan pada muka yang berlawanan dari komponen struktur

Panjang transfer *strand* merupakan fungsi luasan konfigurasi perimeter dan kondisi permukaan baja, tegangan dalam baja, dan metoda yang digunakan untuk mentransfer gaya baja ke beton. *Strand* dengan permukaan yang sedikit berkarat dapat mempunyai panjang transfer yang jauh lebih pendek dari *strand* bersih. Pelepasan *strand* secara hati-hati akan memungkinkan panjang transfer yang lebih pendek dari pemutusan *strand* secara mendadak.

Ketentuan dari 14.9 tidak berlaku pada kawat polos atau pada tendon yang diangkur ujungnya. Panjang untuk kawat polos bisa diharapkan jauh lebih besar akibat tidak adanya *interlock* mekanis. Kegagalan lekatan lentur akan terjadi pada kawat polos bilamana slip pertama terjadi.

S14.9.1.1 — Gambar S14.9 menunjukkan hubungan antara tegangan baja dan jarak sepanjang *strand* terlekat pada beton yang diwakili oleh persamaan di atas. Variasi tegangan *strand* teridealisasi dapat digunakan untuk menganalisis penampang dalam daerah penyaluran.^{14,14,14,15} Perumusan untuk panjang penyaluran, dan untuk panjang lekatan tambahan diperlukan untuk mengembangkan peningkatan tegangan sebesar $(f_{ps} - f_{se})$, yang didasarkan pada hasil uji komponen struktur yang diprategang dengan *strand* berdiameter bersih 6, 10, dan 13 mm dimana harga maksimum dari f_{ps} adalah 1900 MPa. Lihat Referensi 14.11, 14.12, dan 14.13.

S14.9.3 — Uji eksplorasi^{14,11} yang menstudi pengaruh *strand* tanpa lekatan (*debonded*) (lekatan tidak diijinkan menerus sampai ujung komponen struktur) pada kinerja girder pratarik, telah menunjukkan bahwa kinerja girder ini dengan panjang penanaman dua kali yang disyaratkan oleh 14.9.1 sangat cocok dengan kinerja lentur girder pratarik serupa dengan *strand* yang sepenuhnya dilekatkan sampai ujung girder. Sesuai dengan ini, panjang penyaluran yang digandakan disyaratkan untuk *strand* yang tidak dilekatkan sampai ke ujung komponen struktur. Hasil uji selanjutnya^{14,16} menunjukkan bahwa pada komponen struktur pratarik yang didesain untuk tegangan tarik nol pada beton akibat kondisi beban layan (lihat 20.4.2), panjang penyaluran untuk *strand* tanpa lekatan tidak perlu digandakan.

S14.10 — Penyaluran tulangan lentur — Umum

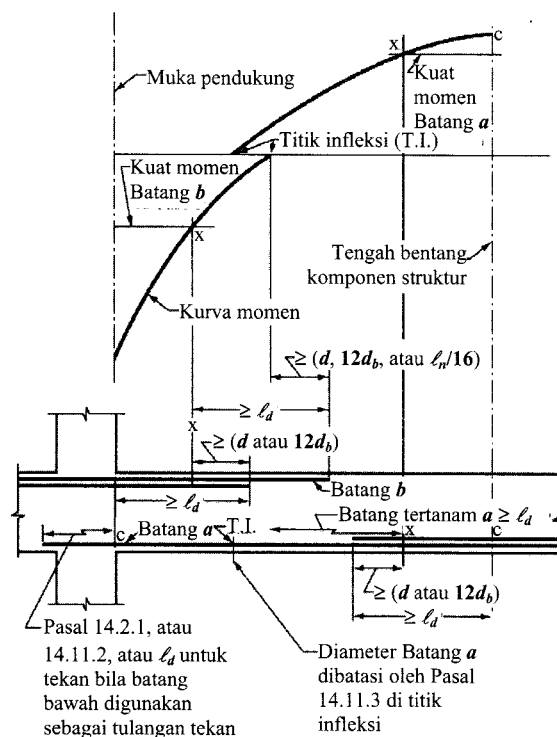
TATA CARA

tersebut.

14.10.2 — Penampang kritis untuk penyaluran tulangan di dalam komponen struktur lentur terletak pada lokasi-lokasi yang mempunyai kondisi tegangan maksimum dan pada lokasi-lokasi di sepanjang bentang dimana tulangan yang berdekatan dengannya diputus atau dibengkokkan. Ketentuan 14.11.3 harus dipenuhi.

PENJELASAN

S14.10.2 — Penampang kritis untuk balok menerus tipikal ditunjukkan dengan “c” atau “x” dalam Gambar S14.10.2. Untuk pembebanan yang merata, tulangan positif yang menerus kedalam pendukung lebih tepat untuk dikendalikan oleh persyaratan dari 14.11.3 daripada oleh panjang penyaluran yang diukur dari titik momen maksimum atau pemutusan batang tulangan.



Gambar S14.10.2—Penyaluran tulangan lentur pada balok menerus tipikal

14.10.3 — Tulangan harus diteruskan melampaui titik dimana tulangan tersebut tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur untuk suatu jarak yang sama dengan tinggi efektif komponen struktur dan tidak kurang dari $12d_b$, kecuali pada daerah tumpuan balok sederhana dan pada daerah ujung bebas kantilever.

S14.10.3 — Diagram momen yang biasanya digunakan dalam desain merupakan pendekatan; pergeseran lokasi momen maksimum bisa terjadi akibat perubahan dalam pembebanan, penurunan pendukung, beban lateral, atau penyebab lainnya. Retak tarik diagonal pada komponen struktur lentur tanpa sengkang dapat menggeser lokasi tegangan tarik yang dihitung kira-kira sejarak d menuju titik momen nol. Bila sengkang disediakan, pengaruh ini berkurang banyak, meskipun masih ada sampai derajat tertentu.

Untuk memungkinkan pergeseran lokasi momen maksimum, tata cara ini mensyaratkan perpanjangan tulangan sejarak d atau $12d_b$, melampaui titik dimana tulangan secara teoritis tidak lagi diperlukan untuk

TATA CARA

PENJELASAN

14.10.4 — Tulangan yang menerus harus mempunyai suatu panjang penanaman sejauh tidak kurang dari panjang penyaluran l_d , diukur dari lokasi dimana tulangan tarik yang dibengkokkan atau diputus sudah tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur.

14.10.5 — Tulangan lentur tidak boleh diputus di daerah tarik kecuali bila salah satu dari ketentuan berikut dipenuhi:

14.10.5.1 — Gaya geser terfaktor pada titik pemutusan tulangan tidak melebihi dua pertiga dari kuat geser rencana, ϕV_n .

14.10.5.2 — Pada setiap pemutusan batang tulangan atau kawat, disediakan suatu luas sengkang tambahan di samping sengkang yang diperlukan untuk menahan geser dan puntir, yang dipasang di sepanjang tiga perempat tinggi efektif komponen struktur diukur dari titik pemutusan tulangan tersebut. Luas sengkang tambahan A_v tidak boleh kurang dari $0,4b_w s / f_y$. Spasi s tidak boleh lebih dari $d / (8\beta_b)$ dimana β_b adalah rasio dari luas tulangan yang diputus terhadap luas tulangan tarik total pada penampang tersebut.

14.10.5.3 — Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil, tulangan yang menerus mempunyai luas dua kali luas tulangan lentur yang diperlukan pada titik pemutusan tulangan dan geser terfaktornya tidak melampaui tiga perempat dari kuat geser rencana, ϕV_n .

14.10.6 — Untuk keadaan dimana tegangan pada tulangan tarik dalam komponen struktur lentur tidak langsung proporsional dengan momen, misalnya pada: fondasi telapak yang miring, yang berundak, atau yang tebalnya bervariasi secara linier; korbél (Gambar 20); komponen struktur lentur tinggi; atau pada komponen struktur dimana tulangan tarik tidak sejajar dengan bidang tekan, maka tulangan tarik tersebut

menahan lentur, kecuali sesuai catatan.

Titik pemutusan batang tulangan yang memenuhi persyaratan ini diilustrasikan dalam Gambar S14.10.2.

Bila menggunakan batang tulangan dengan ukuran berbeda digunakan, perpanjangan harus sesuai dengan diameter batang tulangan yang dihentikan. Didalam memenuhi pasal ini, batang tulangan yang dibengkokkan menjauhi muka balok sampai titik dimana batang tersebut melintasi tengah ketinggian komponen struktur dan diteruskan kesitu bisa secara logika dianggap efektif.

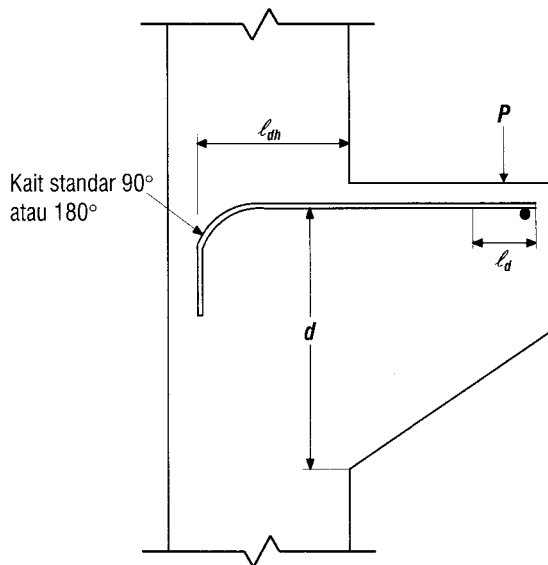
S14.10.4 — Tegangan puncak terjadi pada batang tulangan lainnya yang berada didalam daerah tarik dimana batang tulangan yang berdekatan diputus, atau dibengkokkan, didalam daerah tarik. Dalam Gambar S14.10.2 "x" dipakai untuk menunjukkan titik tegangan puncak pada batang tulangan yang menerus setelah sebagian batang tulangnya diputus. Jika batang tulangan diputus sependek mungkin sesuai yang diperkenankan diagram momen, tegangan puncak ini menjadi f_y penuh, yang memerlukan perpanjangan l_d penuh seperti ditunjukkan. Perpanjangan ini bisa melebihi panjang yang diperlukan untuk lentur.

S14.10.5 — Telah dilaporkan kuat geser tereduksi dan kehilangan daktilitas bilamana batang tulangan diputus didalam daerah tarik, seperti dalam Gambar S14.10.2. Tata cara ini tidak mengijinkan tulangan lentur untuk dihentikan dalam daerah tarik kecuali bila kondisi khusus dipenuhi. Retak lentur cenderung membuka awal dimana saja ada tulangan yang dihentikan didalam daerah tarik. Jika tegangan baja dalam tulangan yang menerus dan kuat geser masing-masing dekat nilai batasnya, retak tarik diagonal cenderung terbentuk secara prematur dari retak lentur ini. Retak diagonal sepertinya kurang terbentuk bilamana tegangan gesernya rendah (lihat 14.10.5.1). Retak diagonal dapat dikekang dengan sengkang berspasi yang berdekatan (lihat 14.10.5.2). Tegangan baja yang lebih rendah mengurangi kemungkinan retak diagonal seperti itu (lihat 14.10.5.3). Persyaratan ini tidak dimaksudkan untuk diterapkan pada sambungan lewatan tarik yang dicakup oleh 14.2, 14.13.5, dan 14.15 yang terkait.

S14.10.6 — Korbél, komponen struktur dengan ketinggian yang bervariasi, dan komponen struktur lainnya dimana tegangan baja f_y tidak berkurang secara linier proporsional dengan momen yang berkurang memerlukan pertimbangan khusus untuk penyaluran tulangan lentur yang tepat. Untuk korbél yang ditunjukkan dalam Gambar 20, tegangan saat ultimat dalam tulangan hampir konstan di sekitar f_y dari

TATA CARA

perlu diangkur. Lihat 14.11.4 dan 14.12.4 untuk komponen lentur tinggi.



Gambar 20—Elemen struktur yang sangat bergantung pada angkur ujung

14.11 — Penyaluran tulangan momen positif

14.11.1 — Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan hingga ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus diteruskan ke dalam tumpuan paling sedikit sejauh 150 mm.

14.11.2 — Apabila suatu komponen struktur lentur merupakan bagian dari suatu system penahan gaya lateral utama, maka tulangan momen positif yang harus diteruskan ke dalam tumpuan berdasarkan 14.11.1 harus diangkur agar mampu mengembangkan kuat leleh tarik f_y pada bagian muka tumpuan.

14.11.3 — Pada daerah tumpuan sederhana dan titik belok (lokasi momen nol), tulangan tarik momen positif harus dibatasi diameternya sedemikian hingga l_d yang dihitung untuk f_y berdasarkan 14.2 memenuhi Persamaan 88; namun, Persamaan 88 tersebut tidak perlu dipenuhi untuk tulangan yang diputus setelah melampaui titik pusat tumpuan sederhana dengan menggunakan kait standar atau menggunakan suatu angkur mekanis yang minimal ekuivalen dengan suatu kait

PENJELASAN

muka pendukung sampai titik beban. Dalam kasus tersebut, penyaluran tulangan lentur tergantung sekali pada pengangkutan ujung yang disediakan pada ujung yang dibebani. Referensi 14.17 menyarankan batang tulangan las silang dengan diameter sama sebagai suatu cara menyediakan angkur ujung yang efektif. Kait ujung pada bidang vertikal, dengan bengkokan diameter minimum, tidak sepenuhnya efektif karena sudut beton yang pada dasarnya polos akan terjadi didekat beban yang diterapkan dekat dengan sudutnya. Untuk korbel yang lebar (tegak lurus pada bidang gambar) dan beban yang tidak diterapkan dekat dengan sudutnya, batang tulangan berbentuk-U dalam bidang horisontal menyediakan kait ujung yang efektif.

S14.11 — Penyaluran tulangan momen positif

S14.11.1 — Tulangan momen positif diteruskan kedalam pendukung untuk menyediakan suatu pergeseran momen akibat perubahan pada pembebanan, penurunan pendukung, dan beban lateral.

S14.11.2 — Bila komponen struktur lentur merupakan bagian sistem penahan beban lateral utama, beban yang lebih besar dari yang diantisipasi dalam desain bisa mengakibatkan pembalikan momen di pendukung; sebagian tulangan positif harus diangkur dengan baik kedalam tumpuan. Angkur ini diperlukan untuk memastikan respons yang daktail dalam hal terjadi tegangan lebih yang serius, seperti dari ledakan atau gempa. Tidak cukup untuk memakai tulangan lebih banyak dengan tegangan yang lebih rendah.

S14.11.3 — Di tumpuan sederhana dan titik infleksi seperti "T.P" dalam Gambar S14.10.2, diameter tulangan positif harus cukup kecil supaya panjang penyaluran batang tulangan yang dihitung l_d tidak melebihi $M_n/V_u + l_d$, atau dibawah kondisi pendukung yang baik, $1,3M_n/V_u + l_d$. Gambar S14.11.3(a) mengilustrasikan pemakaian ketentuan tersebut.

TATA CARA

standar.

$$\ell_d \leq \frac{M_n}{V_u} + \ell_a \tag{88}$$

dimana:

M_n adalah kuat momen nominal dengan asumsi bahwa semua tulangan pada penampang yang ditinjau mencapai kuat leleh yang disyaratkan, f_y .

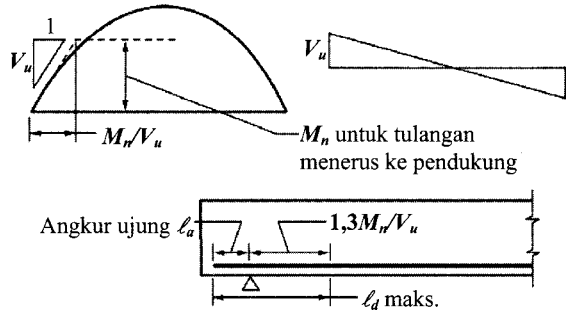
V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang.

ℓ_a pada suatu tumpuan, nilai ℓ_a adalah panjang penanaman yang melampaui pusat tumpuan.

ℓ_a pada suatu titik belok, nilai ℓ_a dibatasi sebagai nilai terbesar antara tinggi efektif komponen struktur dan $12d_b$.

Nilai M_n/V_u boleh dinaikkan sebesar 30% bila ujung tulangan dikekang oleh suatu reaksi tekan.

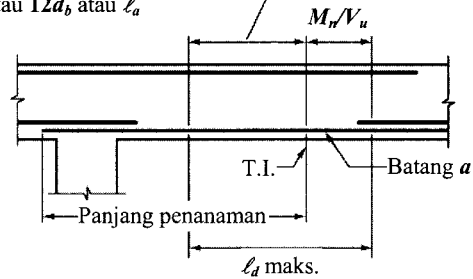
PENJELASAN



Catatan: Faktor 1,3 dapat digunakan hanya jika reaksi mengekang ujung tulangan.

(a) Ukuran maksimum batang di pondung sederhana

Panjang penanaman efektif maksimum dibatasi sampai d atau $12d_b$ atau ℓ_a



(b) Ukuran maksimum batang "a" di titik infleksi

Gambar S14.11.3—Konsep untuk menentukan ukuran batang maksimum menurut 14.11.3

Di titik infleksi nilai ℓ_a harus tidak melebihi perpanjangan batang aktual yang digunakan melampaui titik momen nol. Porsi M_n/V_u dari panjang yang tersedia merupakan kuantitas teoritis yang tidak secara umum dihubungkan dengan titik tegangan maksimum yang jelas. M_n adalah kuat nominal penampang tanpa faktor- ϕ dan bukan momen terfaktor yang diterapkan.

Panjang M_n/V_u berhubungan dengan panjang penyaluran untuk batang tulangan berukuran maksimum yang diperoleh dari persamaan lekatan lentur yang digunakan sebelumnya $\Sigma_o = V/ujd$, dimana u adalah tegangan lekatan, dan jd adalah lengan momen. Dalam *ACI Code* 1971, persyaratan angkur ini dilonggarkan dari *ACI Code* sebelumnya dengan menambahkan panjang angkur ujung yang tersedia ℓ_a dan dengan menyertakan peningkatan 30 persen untuk M_n/V_u bila ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan.

Sebagai contoh, ukuran batang tulangan disediakan di tumpuan sederhana sehingga ℓ_d seperti yang dihitung

TATA CARA

14.11.4 — Pada daerah tumpuan sederhana dari suatu komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen positif harus diangkurkan agar mampu mengembangkan kuat leleh f_y pada muka tumpuan. Pada tumpuan dalam dari komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen positif harus menerus atau disambung lewatkan dengan tulangan tarik dari bentang di sebelahnya.

14.12 — Penyaluran tulangan momen negatif

14.12.1 — Tulangan momen negatif pada suatu komponen struktur menerus, komponen struktur yang terkekang deformasinya, atau komponen struktur kantilever, atau pada sebarang komponen struktur dari suatu rangka kaku, harus diangkur di dalam atau sepanjang komponen struktur pendukung, dengan menggunakan panjang penanaman, kait, atau angkur mekanis (Gambar 21).

14.12.2 — Tulangan momen negatif harus mempunyai suatu panjang penanaman ke dalam bentang seperti diisyaratkan 14.1 dan 14.10.3.

14.12.3 — Paling sedikit sepertiga dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan hingga melewati titik belok sejauh tidak kurang dari nilai terbesar antara tinggi efektif komponen struktur, $12d_b$, atau seperenambelas bentang bersih (Gambar 21 b).

14.12.4 — Pada tumpuan dalam dari komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen negatif harus menerus dengan tulangan tarik pada bentang disebelahnya.

PENJELASAN

dengan 14.2 sama dengan $0,02 A_b f_y / \sqrt{f'_c}$. Ukuran batang tulangan yang disediakan hanya memuaskan jika $0,02 A_b f_y / \sqrt{f'_c}$ tidak melebihi $1,3 M_u / V_u + \ell_a$.

ℓ_a yang digunakan di titik infleksi dibatasi sampai ketinggian efektif komponen struktur d atau 12 diameter batang tulangan ($12d_b$), diambil yang mana yang lebih besar. Gambar S14.11.3(b) mengilustrasikan ketentuan ini di titik infleksi. Batasan ℓ_a ditambahkan karena data uji tidak tersedia untuk menunjukkan bahwa panjang angkur ujung yang panjang akan sepenuhnya efektif didalam menyalurkan batang tulangan yang hanya mempunyai panjang yang pendek diantara titik infleksi dan titik tegangan maksimum.

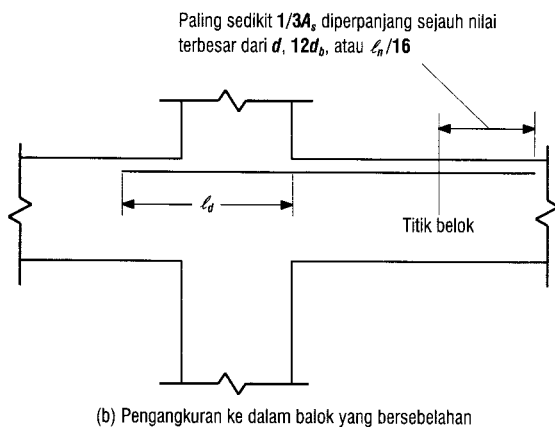
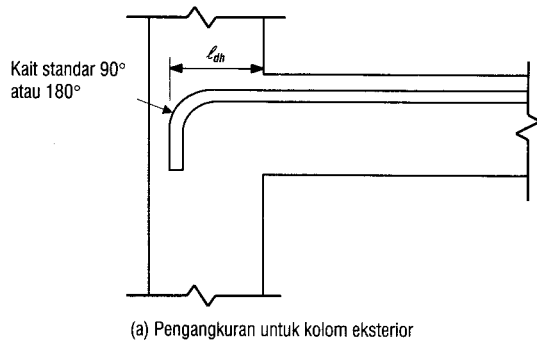
S14.11.4 — Penggunaan model *strut and tie* untuk desain komponen struktur lentur tinggi beton bertulang mengklarifikasi bahwa terdapat tarik yang signifikan dalam tulangan di muka tumpuan. Hal ini memerlukan tulangan tarik yang menerus atau disalurkan melalui dan melampaui tumpuan.^{14,18}

S14.12 — Penyaluran tulangan momen negatif

Gambar 21 mengilustrasikan dua metoda yang memenuhi persyaratan untuk pengankuran tulangan tarik yang melampaui muka tumpuan. Untuk pengankuran tulangan dengan kait, lihat S14.5.

Pasal 14.12.3 menetapkan kemungkinan pergeseran diagram momen di titik infleksi, seperti didiskusikan menurut S14.10.3. Persyaratan ini bisa melebihi persyaratan dari 14.10.3, dan persyaratan yang lebih ketat dari kedua ketentuan tersebut yang menentukan.

TATA CARA



Gambar 21—Penyaluran tulangan momen negatif

14.13 — Penyaluran tulangan badan

14.13.1 — Tulangan badan harus diletakkan sedekat mungkin ke permukaan tekan dan tarik dari komponen struktur sejauh masih diperkenankan oleh persyaratan selimut beton dan jarak terhadap tulangan lainnya.

14.13.2 — Ujung sengkang berkaki tunggal, sengkang U-sederhana, atau sengkang U-banyak harus diangkur mengikuti salah satu cara berikut:

14.13.2.1 — Untuk batang D-16 dan kawat D16, dan yang lebih kecil, dan untuk batang D-19, D-22, dan D-25 dengan $f_y = 300$ MPa atau kurang, digunakan kait standar mengelilingi tulangan memanjang.

PENJELASAN

14.13 — Penyaluran tulangan badan

S14.13.1 — Sengkang harus diteruskan sedekat mungkin ke muka tekan komponen struktur karena mendekati beban ultimat retak tarik lentur menjalar dalam sekali.

S14.13.2 — Persyaratan angkur atau penyaluran untuk sengkang yang tersusun dari batang tulangan atau kawat ulir didalam *ACI Code* 1989 telah diubah untuk menyederhanakan persyaratannya. Angkur lurus telah dihapus karena sengkang ini sulit untuk dipegang di tempat selama pengecoran beton dan tidak adanya kait bisa menjadikan sengkang tidak efektif karena sengkang tersebut melintasi retak geser didekat ujung sengkang tersebut.

S14.13.2.1 — Untuk batang tulangan D-16 atau lebih kecil, angkur disediakan oleh kait sengkang standar, seperti didefinisikan dalam 9.1.3, yang dikaitkan mengelilingi batang tulangan longitudinal. *ACI Code* 1989 telah menghapus kebutuhan panjang penanaman lurus yang dihitung sebagai tambahan pada kait untuk batang tulangan kecil ini, tetapi 14.13.1 mensyaratkan sengkang dengan

TATA CARA

14.13.2.2 — Untuk sengkang batang D-19, D-22, dan D-25 dengan f_y lebih besar dari 300 MPa, digunakan kait sengkang standar mengelilingi tulangan memanjang ditambah dengan panjang penanaman di antara tengah tinggi komponen struktur dan ujung luar kait sejauh jarak yang nilainya sama dengan atau lebih besar dari $0,17d_b f_y / \sqrt{f'_c}$.

14.13.2.3 — Untuk setiap kaki jaring kawat polos yang membentuk sengkang U-sederhana, dapat digunakan hal-hal berikut ini:

(a) Dua kawat memanjang yang ditempatkan dengan spasi 50 mm sepanjang komponen struktur, yang diletakkan di bagian atas sengkang U.

(b) Satu kawat memanjang yang ditempatkan tidak lebih dari $d/4$ dari muka tekan dan kawat tambahan yang ditempatkan lebih dekat ke muka tekan dengan spasi tidak kurang dari 50 mm dari kawat yang pertama. Kawat tambahan tersebut boleh ditempatkan pada kaki sengkang di luar suatu lengkungan, atau di atas suatu lengkungan dengan diameter dalam yang tidak kurang dari $8d_b$ (Gambar 22).

14.13.2.4 — Pada setiap ujung sengkang kaki tunggal dari jaring kawat ulir atau polos, dipasang dua kawat memanjang dengan spasi minimum 50 mm dan dengan kawat terdalam berada pada jarak sejauh nilai terbesar antara $d/4$ atau 50 mm dari tengah tinggi komponen struktur, $d/2$. Kawat memanjang terluar pada daerah muka tarik tidak boleh ditempatkan pada posisi yang lebih jauh dari muka tarik tersebut bila dibandingkan dengan posisi tulangan lentur utama yang terdekat dengan muka tersebut (Gambar 23).

PENJELASAN

panjang penuh. Demikian juga, sengkang yang lebih besar dengan f_y sama atau kurang dari 300 MPa cukup diangkur dengan kait sengkang standar mengelilingi tulangan longitudinal.

S14.13.2.2 — Karena tidak mungkin untuk membengkok sengkang D-19, D-22, atau D-25 secara ketat mengelilingi batang tulangan longitudinal dan akibat gaya dalam batang tulangan dengan tegangan desain lebih besar dari 300 MPa, angkur sengkang tergantung pada baik nilai kait maupun panjang penyaluran apapun yang disediakan. Batang tulangan longitudinal yang berada dalam kait sengkang membatasi lebar semua retak lentur, bahkan dalam daerah tarik. Karena kait sengkang tersebut tidak bisa gagal oleh pembelahan yang paralel pada bidang batang tulangan berkait, kuat kait seperti yang dimanfaatkan dalam 14.5.2 telah disesuaikan untuk merefleksikan penutup dan pengekangan disekeliling kait sengkang.

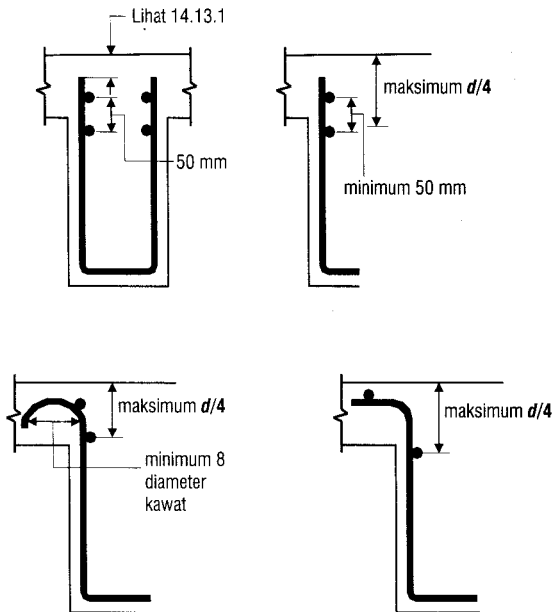
Untuk sengkang dengan f_y sebesar hanya 300 MPa, kait sengkang standar menyediakan angkur yang cukup dan batang tulangan ini dicakup dalam 14.13.2.1. Untuk batang tulangan dengan kuat lebih tinggi, penanaman harus dicek. Kait 135 derajat atau 180 derajat lebih disukai, tetapi kait 90 derajat bisa dipakai asalkan ujung bebas kait 90 derajat diperpanjang penuh 12 kali diameter batang tulangan seperti disyaratkan dalam 9.1.3.

S14.13.2.3 — Persyaratan untuk angkur sengkang jaring kawat las polos diilustrasikan dalam Gambar 22.

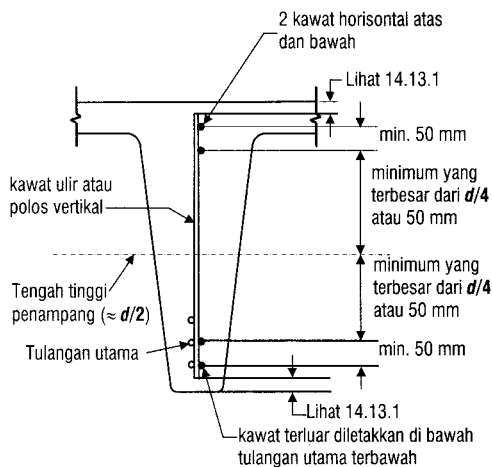
S14.13.2.4 — Penggunaan jaring kawat las untuk tulangan geser telah menjadi biasa dalam industri beton pracetak, prategang. Alasan penerimaan lembaran lurus jaring kawat sebagai tulangan geser disajikan dalam laporan oleh gabungan *PCI/WRI Ad Hoc Committee* tentang Jaring Kawat Las untuk Tulangan Geser.^{14,19}

Ketentuan angkur jaring kawat las berkaki tunggal pada muka tarik menekankan lokasi kawat longitudinal di ketinggian yang sama seperti tulangan lentur utama untuk menghindari problem pembelahan di ketinggian baja tarik. Gambar 23 mengilustrasikan persyaratan angkur untuk jaring kawat las berkaki tunggal. Untuk angkur jaring

TATA CARA



Gambar 22—Angkur pada daerah serat tekan untuk tulangan sengkang-U yang menggunakan jaring kawat



Gambar 23—Angkur untuk sengkang jaring kawat berkaki tunggal

14.13.2.5 — Dalam konstruksi pelat rusuk seperti didefinisikan pada 10.11, untuk batang D-13 dan kawat ulir D13 dan yang lebih kecil dapat digunakan kait standar.

kawat las berkaki tunggal, tata cara ini mengijinkan kait dan panjang penanaman pada muka tekan dan tarik komponen struktur (lihat 14.13.2.1 dan 14.13.2.3), dan hanya penanaman pada muka tekan (lihat 14.13.2.2). Pasal 14.13.2.4 memungkinkan angkur jaring kawat las lurus berkaki tunggal menggunakan angkur kawat longitudinal dengan panjang penanaman yang cukup pada muka tekan dan tarik komponen struktur.

S14.13.2.5 — Pada balok usuk, batang tulangan atau kawat yang kecil dapat diangkur dengan kait standar yang tidak memegang tulangan longitudinal, memperkenankan batang tulangan yang dibengkok menerus untuk membentuk serangkaian sengkang berkaki tunggal pada balok usuk.

TATA CARA

14.13.3 — Setiap bengkokan di antara ujung-ujung yang diangkur pada bagian yang menerus dari sengkang U-sederhana atau U-banyak harus melingkupi satu batang tulangan longitudinal.

14.13.4 — Batang tulangan memanjang yang dibengkokkan agar berfungsi sebagai tulangan geser, jika diteruskan ke daerah tarik, harus dibuat menerus dengan tulangan longitudinal dan bila diteruskan ke daerah tekan, harus dijangkarkan melewati tengah tinggi $d/2$ sejauh panjang penyaluran yang disyaratkan pada 14.2, untuk bagian f_y yang diperlukan untuk memenuhi Persamaan 60.

14.13.5 — Pasangan sengkang U atau sengkang ikat yang ditempatkan sedemikian hingga membentuk suatu unit yang tertutup dapat dianggap tersambung dengan baik apabila panjang sambungan lewatanannya adalah $1,3l_d$. Pada komponen struktur yang tingginya tidak kurang dari 500 mm, sambungan demikian dengan $A_s f_y$ tidak lebih dari 40 kN pada tiap kakinya dapat dianggap cukup memadai bila kaki-kaki sengkang tersebut terpasang memenuhi seluruh tinggi komponen struktur.

14.14 — Sambungan tulangan — Umum

14.14.1 — Sambungan tulangan harus dibuat sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan atau diizinkan pada gambar rencana, atau dalam persyaratan teknis, atau sesuai dengan persetujuan perencanaan struktur.

14.14.2 — Sambungan lewatan

14.14.2.1 — Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada batang-batang tulangan yang lebih besar dari D-36 kecuali untuk keadaan seperti yang diatur pada 14.16.2 dan 17.8.2.3.

14.14.2.2 — Sambungan lewatan batang-batang dalam bundel tulangan harus didasarkan pada sambungan lewatan yang diperlukan untuk masing-masing batang dalam bundel tersebut, yang diperbesar sesuai dengan 14.4. Masing-masing sambungan lewatan batang dalam bundel tulangan tidak boleh saling tumpang tindih. Bundel tulangan sebagai satu kesatuan tidak boleh disambung lewatan.

14.14.2.3 — Pada komponen struktur lentur, batang-batang tulangan yang disambung dengan menggunakan sambungan lewatan nonkontak harus diatur agar spasinya dalam arah transversal tidak lebih dari seperlima panjang sambungan lewatan yang diperlukan dan tidak lebih dari 150 mm.

PENJELASAN

S14.13.5 — Persyaratan ini untuk lewatan sengkang-U ganda yang membentuk sengkang tertutup lebih menentukan daripada ketentuan dari 14.15.

S14.14 — Sambungan tulangan — Umum

S14.14.1 — Jika mungkin, sambungan harus ditempatkan jauh dari titik tegangan tarik maksimum. Persyaratan sambungan lewatan dari 14.15 mendorong pemakaian ini.

S14.14.2 — Sambungan lewatan

S14.14.2.1 — Karena kekurangan data eksperimen yang cukup mengenai sambungan lewatan batang tulangan D-43 dan D-57 dalam kondisi tekan dan dalam kondisi tarik, sambungan lewatan batang tulangan ukuran ini dilarang kecuali seperti yang diijinkan dalam 14.16.2 dan 17.8.2.3 untuk sambungan lewatan tekan batang tulangan D-43 dan D-57 dengan batang tulangan yang lebih kecil.

S14.14.2.2 — Panjang lewatan yang ditambah disyaratkan untuk batang tulangan dalam bundel didasarkan pada reduksi pada perimeter batang tulangan yang diekspos. Hanya batang tulangan individual yang disambung-lewatkan sepanjang bundel.

S14.14.2.3 — Jika batang tulangan individual dalam sambungan lewatan non-kontak dispasikan terlalu lebar, penampang yang tidak bertulang akan terbentuk. Memaksa retak potensial untuk mengikuti garis zig-zag (kemiringan 5 banding 1) dianggap tindakan pencegahan yang minimum. Spasi maksimum 150 mm ditambahkan karena kebanyakan riset yang tersedia mengenai sambungan lewatan batang

TATA CARA

14.14.3 — Sambungan mekanis dan sambungan las

14.14.3.1 — Sambungan mekanis dan sambungan las boleh digunakan.

14.14.3.2 — Suatu sambungan mekanis penuh harus mampu mengembangkan kuat tarik atau tekannya, sesuai dengan yang diperlukan, paling tidak sebesar 125% kuat leleh batang yang disambung.

14.14.3.3 — Semua pekerjaan las harus memenuhi standar yang berlaku, kecuali bila ditentukan lain dalam tata cara ini.

14.14.3.4 — Suatu sambungan las penuh harus mampu mengembangkan kekuatan paling tidak sebesar 125% kuat leleh batang yang disambung.

14.14.3.5 — Sambungan mekanis dan sambungan las yang tidak memenuhi ketentuan 14.14.3.2 atau 14.14.3.4 hanya diperbolehkan untuk batang D-16 atau yang lebih kecil dan harus sesuai dengan ketentuan 14.15.4.

14.15 — Sambungan batang dan kawat ulir dalam kondisi tarik

14.15.1 — Panjang minimum sambungan lewatan tarik harus diambil berdasarkan persyaratan kelas yang sesuai tetapi tidak kurang dari 300 mm. Ketentuan masing-masing kelas sambungan tersebut adalah:

PENJELASAN

tulangan ulir dilakukan dengan tulangan berada dalam spasi ini.

S14.14.3 — Sambungan mekanis dan sambungan las

S14.14.3.2 — Tegangan tulangan maksimum yang digunakan dalam desain menurut tata cara ini adalah kuat leleh yang dispesifikasikan. Untuk memastikan kuat sambungan yang cukup agar pelepasan bisa dicapai pada komponen struktur sehingga kegagalan getas dapat dihindarkan, telah dipilih peningkatan 25 persen di atas kuat leleh yang dispesifikasikan sebagai syarat minimum yang cukup untuk keamanan dan syarat maksimum yang praktis dari segi ekonomi.

S14.14.3.3 — Lihat S5.5.2 untuk diskusi mengenai pengelasan.

S14.14.3.4 — Sambungan las penuh terutama dimaksudkan untuk batang tulangan yang besar (D-19 dan lebih besar) pada komponen struktur utama. Persyaratan kuat tarik sebesar 125 persen kuat leleh yang dispesifikasikan dimaksudkan untuk menyediakan pengelasan yang kokoh yang juga cukup untuk tekan. Lihat diskusi mengenai kuat tersebut dalam S14.14.3.2. *ACI Code* 1995 menghapus persyaratan batang tulangan disambung ujung ke ujung (*butted*) karena las ujung (*butt*) yang tak langsung diijinkan oleh ANSI/AWS D1.4, meskipun ANSI/AWS D1.4 dengan jelas menunjukkan bahwa dimanapun dapat dilakukan, sambungan ujung yang langsung lebih disukai untuk batang tulangan D-22 dan lebih besar.

S14.14.3.5 — Penggunaan sambungan mekanis atau las dengan kuat yang kurang dari 125 persen kuat leleh yang dispesifikasikan diijinkan jika kriteria desain minimum dari 14.15.4 dipenuhi. Oleh karena itu, las lewatan batang tulangan, baik dengan atau tanpa material tambahan, yang dilas pada hubungan pelat, dan sambungan tumpuan ujung diperkenankan sesuai kondisi tertentu. *ACI Code* 1995 membatasi las dengan kuat yang lebih rendah ini dan hubungan dengan batang tulangan D-16 dan yang lebih kecil akibat sifat kegagalan yang secara potensial getas pada las ini.

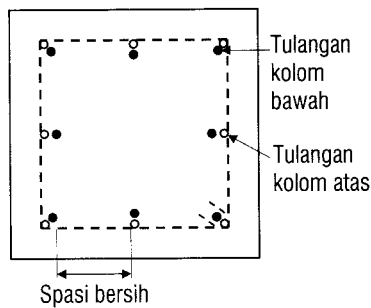
S14.15 — Sambungan batang dan kawat ulir dalam kondisi tarik

S14.15.1 — Sambungan lewatan dalam kondisi tarik diklasifikasikan sebagai Tipe A atau B, dengan panjang lewatan merupakan kelipatan panjang penyaluran tarik l_d . Panjang penyaluran l_d yang digunakan untuk memperoleh panjang lewatan harus didasarkan pada f_y karena klasifikasi

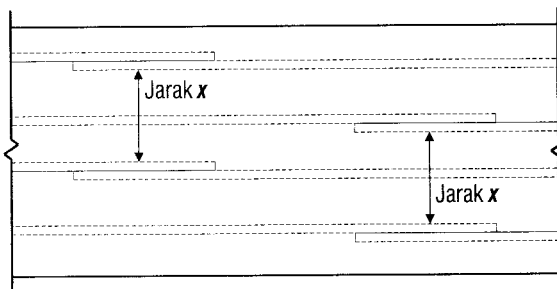
TATA CARA

- Sambungan kelas A.....1,0 ℓ_d
- Sambungan kelas B.....1,3 ℓ_d

dimana ℓ_d adalah panjang penyaluran tarik untuk kuat leleh f_t , yang sesuai dengan 14.2, tanpa diberi faktor modifikasi berdasarkan 14.2.5 [lihat juga penentuan spasi bersih dari tulangan yang disambung untuk sambungan pada kolom dengan tulangan *offset* dalam Gambar 24(a); dan untuk sambungan berselang, spasi bersih adalah jarak x dalam Gambar 24(b)].



(a) Tulangan kolom *offset*



(b) Sambungan berselang

Gambar 24—Spasi bersih antara batang-batang yang disambung

14.15.2 — Sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus menggunakan sambungan Kelas B dengan perkecualian sambungan Kelas A diperbolehkan apabila: (a) luas tulangan terpasang paling sedikit dua kali dari yang dibutuhkan berdasarkan analisis pada keseluruhan panjang sambungan, dan (b) paling banyak hanya setengah dari keseluruhan tulangan disambung di dalam daerah panjang lewatan perlu (Tabel 12).

TABEL 12—PANJANG LEWATAN TARIK

A_s terpasang A_s perlu	Persentase maksimum A_s yang disambung di dalam daerah panjang lewatan perlu	
	50%	100%
≥ 2	Kelas A	Kelas B
< 2	Kelas B	Kelas B

PENJELASAN

sambungan tersebut telah merefleksikan tulangan lebih di lokasi sambungan; oleh karena itu, faktor dari 14.2.5 untuk A_s , lebih harus tidak dipakai. Bila batang tulangan jamak berlokasi di bidang yang sama disambung di penampang yang sama, spasi bersih adalah jarak bersih minimum antara sambungan yang bersebelahan. Untuk sambungan pada kolom dengan batang tulangan yang digeser (*offset*), Gambar 24(a) mengilustrasikan spasi bersih yang digunakan. Untuk sambungan berselang (*staggered*), spasi bersih adalah jarak minimum antara sambungan yang bersebelahan [jarak x dalam Gambar 24(b)].

ACI Code 1989 mengandung beberapa perubahan panjang penyaluran dalam kondisi tarik yang menghapus banyak kekhawatiran mengenai sambungan tarik akibat batang tulangan yang berspasi dekat dengan penutup yang minimal. Sambungan Kelas C telah dihapus meskipun panjang penyaluran, dimana panjang sambungan tersebut didasarkan, telah ditingkatkan dalam beberapa kasus. *ACI Committee 318* mempertimbangkan saran dari berbagai sumber, termasuk *ACI Committee 408*, tetapi mempertahankan panjang sambungan dua tingkat terutama untuk mendorong perencana untuk menyambung batang tulangan di titik dengan tegangan yang minimum dan membuat sambungan berselang untuk meningkatkan perilaku detail kritisnya.

S14.15.2 — Persyaratan sambungan lewatan tarik dari 14.15.1 mendorong lokasi sambungan lewatan diluar dari daerah tegangan tarik yang tinggi ke lokasi dimana luasan baja yang disediakan paling sedikit dua kali yang diperlukan oleh analisis. Tabel S14.15.2 menyajikan persyaratan sambungan dalam bentuk tabel seperti disajikan dalam edisi *ACI Code* yang terdahulu.

TATA CARA

14.15.3 — Sambungan mekanis atau sambungan las yang digunakan pada kondisi dimana luas tulangan terpasang kurang dari dua kali luas yang diperlukan berdasarkan analisis harus memenuhi ketentuan 14.14.3.2 atau 14.14.3.4.

14.15.4 — Sambungan mekanis atau sambungan las yang tidak memenuhi persyaratan 14.14.3.2 atau 14.14.3.4 diperbolehkan untuk batang D-16 atau lebih kecil apabila luas tulangan terpasang tidak kurang dari dua kali luas perlu berdasarkan analisis, dan memenuhi persyaratan-persyaratan berikut:

14.15.4.1 — Sambungan harus ditempatkan berselang-seling dengan jarak paling tidak 600 mm dan sedemikian hingga setiap irisan penampang dapat mengembangkan paling tidak dua kali gaya tarik yang dihitung pada irisan penampang tersebut tetapi tidak kurang dari 140 MPa untuk luas tulangan total terpasang.

14.15.4.2 — Dalam menghitung besarnya gaya tarik yang terjadi pada setiap irisan penampang, tulangan yang disambung boleh dianggap mempunyai kekuatan yang sama dengan kuat sambungan yang disyaratkan. Tulangan yang tidak disambung harus dianggap mempunyai kekuatan sebesar bagian dari f_y yang besarnya ditentukan oleh rasio panjang penyaluran aktual yang terpasang terhadap L_d yang diperlukan untuk mengembangkan kuat leleh f_y yang disyaratkan.

14.15.5 — Sambungan pada "komponen struktur pengikat tarik" harus dibuat dengan sambungan mekanis penuh atau sambungan las penuh berdasarkan 14.14.3.2 atau 14.14.3.4 dan sambungan pada batang yang bersebelahan harus ditempatkan berselang-seling dengan jarak paling tidak 750 mm.

PENJELASAN

S14.15.3 — Sambungan mekanis atau las harus membentuk paling sedikit 125 persen kuat leleh yang dispesifikasikan bila berlokasi pada daerah tegangan tarik yang tinggi dalam tulangan. Sambungan seperti itu tidak perlu dibuat berselang, meskipun sambungan berselang seperti itu didorong dimana luasan tulangan yang disediakan kurang dari dua kali yang diperlukan oleh analisis.

S14.15.4 — Lihat S14.14.3.5. Pasal 14.15.4 memperhatikan situasi dimana sambungan mekanis atau las dengan kuat kurang dari 125 persen kuat leleh tulangan yang dispesifikasikan dapat digunakan. Ketentuan itu memberikan keringanan persyaratan sambungan dimana sambungan dibuat berselang dan luasan tulangan lebih tersedia. Kriteria dua kali gaya tarik yang dihitung digunakan untuk mencakup penampang yang mengandung sambungan tarik parsial dengan persentase baja menerus total yang bervariasi. Sambungan tarik parsial biasa adalah las cekung memanjang yang mengembang (*flare groove weld*) diantara batang tulangan atau batang tulangan dan potongan baja struktur.

Untuk mendetailkan las seperti itu, panjang las harus dispesifikasikan. Las seperti itu dinilai sebagai produk panjang las total kali ukuran efektif las cekung memanjang (dibentuk oleh ukuran batang tulangan) kali tegangan diperbolehkan yang diijinkan oleh "*Structural Welding Code—Reinforcing Steel*" (ANSI/AWS D1.4).

Sambungan mekanis atau las penuh yang memenuhi 14.14.3.2 atau 14.14.3.4 dapat digunakan tanpa persyaratan berselang sebagai pengganti sambungan mekanis atau las dengan kuat yang lebih rendah.

S14.15.5 — Komponen struktur pengikat tarik, mempunyai karakteristik berikut: komponen struktur yang mempunyai gaya tarik aksial yang cukup untuk membuat tarik seluruh penampang; tingkat tegangan dalam tulangan sedemikian rupa sehingga setiap batang tulangan harus sepenuhnya efektif; dan penutup beton pada semua sisinya yang terbatas. Contoh komponen struktur yang dapat diklasifikasikan sebagai pengikat tarik adalah pengikat busur, penggantung yang meneruskan beban ke struktur pendukung di atasnya (*overhead*), dan elemen tarik utama dalam suatu rangka batang (*truss*).

Didalam menentukan apakah komponen struktur harus diklasifikasikan sebagai pengikat tarik, maka pertimbangan harus diberikan pada kepentingan, fungsi, proporsi, dan kondisi tegangan komponen struktur yang berkaitan dengan karakteristik diatas. Sebagai contoh, tangki bulat besar yang biasa, dengan banyak batang tulangan dan dengan sambungan yang dibuat berselang secara baik dan dispasikan secara lebar harus tidak diklasifikasikan sebagai komponen struktur pengikat tarik, dan sambungan Kelas B dapat digunakan.

TATA CARA

14.16 — Sambungan batang ulir dalam kondisi tekan

14.16.1 — Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,07d_b f_y$, untuk $f_y = 400$ MPa atau kurang, atau $(0,13f_y - 24)d_b$ untuk f_y yang lebih besar dari 400 MPa, tetapi tidak kurang dari 300 mm. Untuk f'_c kurang dari 20 MPa, panjang lewatan harus ditambah sepertiganya.

14.16.2 — Bila batang-batang tekan dengan diameter yang berbeda disambung secara lewatan, maka panjang lewatan harus diambil sebagai nilai terbesar dari panjang penyaluran batang yang lebih besar dan panjang sambungan lewatan batang yang lebih kecil. Batang dengan ukuran-ukuran D-45 dan D-55 boleh disambung lewatan dengan batang D-36 dan batang lain yang lebih kecil.

14.16.3 — Sambungan mekanis atau sambungan las dalam kondisi tekan harus memenuhi ketentuan 14.14.3.2 atau 14.14.3.4.

14.16.4 — Sambungan tumpuan ujung

14.16.4.1 — Pada batang yang hanya dibutuhkan sebagai batang tekan, tegangan tekan boleh disalurkan dengan menumpukan ujung batang yang telah dipotong rata secara sentris pada tumpuan yang sesuai.

14.16.4.2 — Ujung batang tulangan harus berakhir pada permukaan yang datar dengan toleransi tidak lebih dari $1,5^\circ$ dalam arah tegak lurus terhadap sumbu batang tulangan dan harus dipaskan dengan baik, maksimum dalam batas 3° dari

PENJELASAN

S14.16 — Sambungan batang ulir dalam kondisi tekan

Riset lekatan terutama terkait dengan batang tulangan dalam kondisi tarik. Perilaku lekatan batang tulangan tekan tidak dipersulit oleh masalah retak tarik transversal sehingga sambungan tekan tidak mensyaratkan ketentuan seketat yang dispesifikasikan untuk sambungan tarik. Panjang minimum untuk sambungan kolom yang aslinya dikandung dalam *ACI Code* 1956 telah dilanjutkan dalam *ACI Code* yang belakangan, dan diperluas ke batang tulangan tekan dalam balok dan ke baja dengan kuat yang lebih tinggi. Tidak ada perubahan dibuat dalam ketentuan untuk sambungan tekan sejak *ACI Code* 1971.

S14.16.1 — Pada dasarnya, persyaratan lewatan untuk sambungan tekan tetap sama sejak *ACI Code* 1963.

Nilai *ACI Code* 1963 telah dimodifikasi didalam *ACI Code* 1971 untuk mengetahui berbagai derajat pengekangan dan untuk mengijinkan desain dengan tulangan sampai dengan kuat leleh 550 MPa. Hasil uji^{14.17,14.20} telah menunjukkan bahwa kuat sambungan dalam kondisi tekan tergantung sekali pada tumpuan ujung dan kekuatannya tidak meningkat secara proporsional bila panjang sambungan digandakan. Sesuai dengan itu, untuk kuat leleh diatas 420 MPa, panjang lewatan tekan ditambah secara signifikan, kecuali bila pelingkup spiral digunakan (seperti pada kolom spiral) dimana peningkatannya adalah sekitar 10 persen untuk peningkatan kuat leleh dari 420 MPa ke 520 MPa.

S14.16.2 — Panjang sambungan lewatan dihitung berdasarkan pada yang lebih besar dari panjang sambungan tekan batang tulangan yang lebih kecil; atau panjang penyaluran tekan batang tulangan yang lebih besar. Sambungan lewatan pada umumnya dilarang untuk batang tulangan D-43 atau D-57; akan tetapi, untuk tekan saja, sambungan lewatan diijinkan untuk batang tulangan D-43 atau D-57 sampai batang tulangan D-36 atau lebih kecil.

S14.16.4 — Sambungan tumpuan ujung

S14.16.4.1 — Pengalaman dengan sambungan tumpuan ujung hampir secara eksklusif terkait dengan batang tulangan vertikal dalam kolom. Jika batang tulangan dimiringkan sekali dari posisi vertikal, perhatian khusus diperlukan untuk memastikan bahwa kontak tumpuan ujung cukup dapat dicapai dan dipertahankan.

S14.16.4.2 — Toleransi ini telah ditambahkan dalam *ACI Code* 1971, yang mewakili praktek yang berdasarkan pada uji-uji komponen struktur berukuran penuh yang mengandung batang D-57.

TATA CARA

kondisi tertumpu sepenuhnya setelah pemasangan tulangan selesai.

14.16.4.3 — Sambungan tumpuan ujung hanya boleh digunakan pada komponen struktur yang diberi sengkang tertutup, sengkang ikat tertutup atau lilitan spiral.

14.17 — Ketentuan khusus untuk sambungan pada kolom

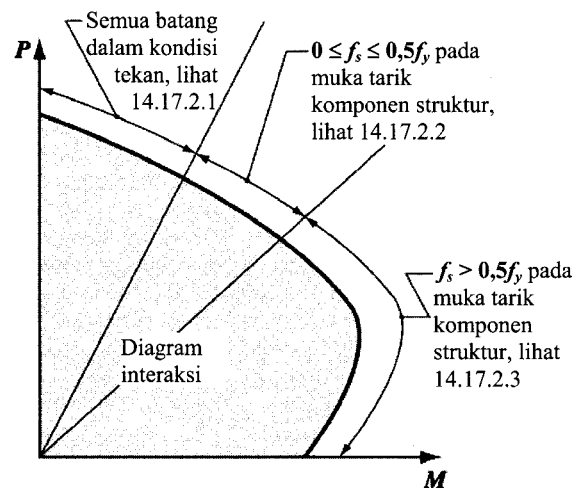
14.17.1 — Sambungan lewatan, sambungan mekanis, sambungan las tumpul, dan sambungan tumpuan ujung harus digunakan dengan memperhatikan batasan-batasan 14.17.2 sampai dengan 14.17.4. Suatu sambungan harus memenuhi persyaratan untuk semua kombinasi pembebanan pada kolom tersebut.

PENJELASAN

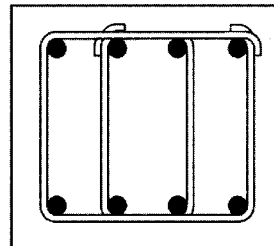
S14.16.4.3 — Pembatasan ini telah ditambahkan dalam *ACI Code 1971* untuk memastikan tahanan geser minimum pada penampang yang mengandung sambungan tumpuan ujung.

S14.17 — Ketentuan khusus untuk sambungan pada kolom

Pada kolom yang dikenai oleh lentur dan beban aksial, tegangan tarik dapat terjadi pada satu muka kolom untuk eksentrisitas menengah dan besar seperti ditunjukkan dalam Gambar S14.17. Bila tarik yang seperti itu terjadi, 14.17 mensyaratkan dipakai sambungan tarik atau disediakan tahanan tarik yang cukup. Lebih lanjut, kapasitas tarik minimum disyaratkan pada setiap muka semua kolom bahkan jikalau analisis menunjukkan tekan saja.



Gambar S14.17—Persyaratan sambungan khusus untuk kolom



Gambar S14.17.2—Kaki pengikat yang melintasi sumbu lentur digunakan untuk menghitung luasan efektif. Dalam kasus yang ditunjukkan, empat kaki adalah efektif

TATA CARA

14.17.2 — Sambungan lewatan pada kolom

14.17.2.1 — Apabila tegangan baja tulangan akibat beban terfaktor adalah tekan, sambungan lewatan harus memenuhi 14.16.1, 14.16.2, dan, bilamana berlaku, juga harus memenuhi 14.17.2.4 atau 14.17.2.5.

14.17.2.2 — Apabila tegangan baja tulangan akibat beban terfaktor adalah tarik dan tidak melebihi $0,5f_y$, maka sambungan lewatan harus menggunakan sambungan lewatan tarik Kelas B jika lebih dari setengah batang-batang tulangan disambung pada suatu irisan penampang, atau sambungan lewatan tarik Kelas A jika setengah atau kurang batang-batang tulangan disambung pada suatu irisan penampang dan sambungan ditempatkan berselang-seling dengan jarak paling tidak ℓ_d .

14.17.2.3 — Apabila tegangan baja tulangan akibat beban terfaktor melebihi $0,5f_y$ dalam tarik, sambungan lewatan harus menggunakan sambungan lewatan tarik Kelas B.

14.17.2.4 — Pada komponen struktur tekan dengan sengkang ikat, dimana sengkang ikat sepanjang daerah sambungan lewatan memiliki luas efektif tidak kurang dari $0,0015hs$, panjang sambungan lewatan diperbolehkan untuk dikalikan dengan 0,83, tetapi panjang lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm. Kaki sengkang ikat tegak lurus terhadap dimensi h harus dipergunakan untuk menghitung luas efektif.

14.17.2.5 — Pada komponen struktur tekan dengan lilitan spiral, panjang sambungan lewatan yang berada dalam daerah lilitan spiral diperbolehkan untuk dikalikan dengan 0,75, tetapi panjang lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm.

14.17.3 — Sambungan las atau sambungan mekanis pada kolom

Sambungan mekanis atau sambungan las pada kolom harus

PENJELASAN

ACI Code 1989 mengklarifikasi pasal ini atas dasar bahwa sambungan lewatan tekan mempunyai kapasitas tarik sebesar paling sedikit seperempat f_y , yang menyederhanakan persyaratan perhitungan dalam *ACI Code* terdahulu.

Perlu dicatat bahwa sambungan kolom harus memenuhi persyaratan untuk semua kombinasi beban untuk kolom. Seringkali, kombinasi beban gravitasi dasar akan mengendalikan desain kolom itu sendiri, tetapi kombinasi beban termasuk beban angin atau gempa dapat menimbulkan tarik yang lebih besar pada beberapa batang tulangan kolom, dan sambungan kolom harus didesain untuk tarik ini.

S14.17.2 — Sambungan lewatan pada kolom

S14.17.2.1 — *ACI Code* 1989 telah disederhanakan untuk batang tulangan kolom yang selalu dalam kondisi tekan atas dasar bahwa sambungan lewatan tekan yang cukup untuk tarik cukup untuk mencegah persyaratan khusus.

S14.17.2.4 — Panjang lewatan yang dikurangi diperkenankan bila seluruh panjang sambungan dilingkupi oleh pengikat minimum.

Kaki pengikat yang tegak lurus dalam setiap arah dihitung secara terpisah dan persyaratan harus dipenuhi dalam setiap arahnya. Hal ini digambarkan dalam Gambar S12.17.2, dimana empat kaki adalah efektif dalam satu arah dan dua kaki dalam arah lainnya. Perhitungan ini kritis dalam satu arah, yang umumnya bisa ditentukan dengan pemeriksaan.

S14.17.2.5 — Panjang lewatan tekan dapat dikurangi bila seluruh panjang sambungan lewatan dilingkupi oleh spiral karena peningkatan tahanan belah. Spiral harus memenuhi persyaratan dari 9.10.4 dan 12.9.3.

S14.17.3 — Sambungan las atau sambungan mekanis pada kolom

Sambungan mekanis atau las diperkenankan untuk

TATA CARA

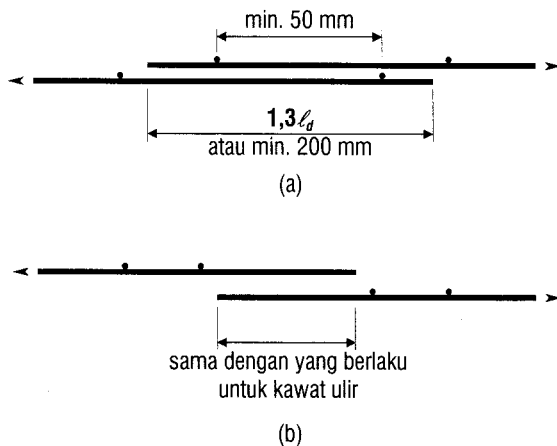
memenuhi persyaratan 14.14.3.2 atau 14.14.3.4.

14.17.4 — Sambungan tumpuan ujung pada kolom

Sambungan tumpuan ujung yang memenuhi 14.16.4 dapat dipergunakan untuk batang tulangan kolom yang berada dalam kondisi tekan asalkan sambungan dipasang berselang-seling atau batang tulangan tambahan dipasang pada lokasi sambungan. Tulangan menerus pada setiap sisi kolom harus mempunyai kuat tarik, berdasarkan kuat leleh f_y yang disyaratkan, tidak kurang dari $0,25f_y$ kali luas tulangan vertikal pada sisi tersebut.

14.18 — Sambungan lewatan jaring kawat ulir dalam kondisi tarik

14.18.1 — Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan jaring kawat ulir las yang diukur antara ujung masing-masing lembar jaringan yang disambung tidak boleh kurang dari $1,3\ell_d$ ataupun 200 mm dan bagian lewatan yang diukur antara persilangan kawat terluar pada masing-masing lembar jaringan yang disambung tidak boleh kurang dari 50 mm. ℓ_d adalah panjang penyaluran untuk tegangan leleh f_y yang disyaratkan sesuai dengan ketentuan 14.7 [Gambar 25(a)].



Gambar 25—Sambungan lewatan jaring kawat ulir

PENJELASAN

sambungan pada kolom tetapi harus didesain sebagai sambungan mekanis penuh atau sambungan las penuh yang membentuk 125 persen f_y seperti yang disyaratkan oleh 14.14.3.2 atau 14.14.3.4. Kapasitas sambungan secara tradisional diuji dalam kondisi tarik dan kuat penuh disyaratkan untuk merefleksikan beban tekan yang tinggi yang mungkin dalam tulangan kolom akibat pengaruh rangkai. Jika dipakai sambungan mekanis yang membentuk kurang dari sambungan mekanis yang penuh, maka sambungan disyaratkan untuk memenuhi semua persyaratan sambungan tumpuan ujung dari 14.16.4 dan 14.17.4.

S14.17.4 — Sambungan tumpuan ujung pada kolom

Sambungan tumpuan ujung yang digunakan untuk menyambung batang tulangan kolom yang selalu berada dalam kondisi tekan harus mempunyai kapasitas tarik sebesar 25 persen kuat leleh luasan baja pada setiap muka kolom, baik dengan membuat sambungan tumpuan ujung berselang atau dengan menambahkan baja tambahan melalui lokasi sambungan. Sambungan tumpuan ujung harus memenuhi 14.16.4.

S14.18 — Sambungan lewatan jaring kawat ulir dalam kondisi tarik

Ketentuan sambungan untuk jaring ulir didasarkan pada uji-uji yang tersedia.^{14,21} Persyaratan telah disederhanakan (*ACI Code 1976 Supplement*) dari ketentuan *ACI Code 1976* dengan mengasumsikan bahwa hanya satu kawat silang setiap lembar jaring yang ditumpang-lewatkan (*overlapped*) dan dengan menghitung panjang sambungan sebesar $1,3\ell_d$. Panjang penyaluran ℓ_d adalah panjang yang dihitung sesuai dengan ketentuan 14.7 tanpa memperhatikan minimum 200 mm. 200 mm tersebut berlaku pada panjang sambungan keseluruhan. Lihat Gambar 25. Jika tidak ada kawat silang dalam panjang lewatan, ketentuan untuk kawat ulir berlaku.

TATA CARA

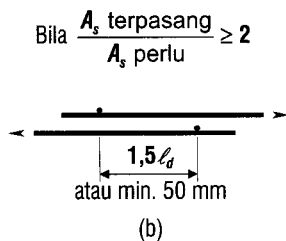
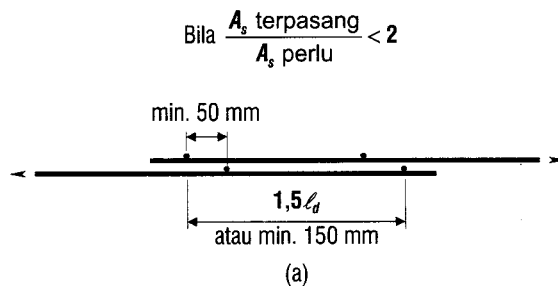
14.18.2 — Sambungan lewatan untuk jaring kawat ulir las, yang tidak mempunyai persilangan kawat di sepanjang daerah sambungan lewatan, harus ditentukan berdasarkan persyaratan untuk kawat ulir [Gambar 25(b)].

14.18.3 — Apabila suatu kawat polos terdapat pada jaring kawat ulir pada arah sambungan lewatan atau apabila jaring kawat ulir disambung lewatan dengan jaring kawat polos, maka jaring kawat harus disambung lewatan mengikuti ketentuan 14.19.

14.19 — Sambungan lewatan jaring kawat polos dalam kondisi tarik

Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan jaring kawat polos ditetapkan sebagai berikut:

14.19.1 — Bila luas tulangan terpasang pada lokasi sambungan kurang dari dua kali luas yang diperlukan berdasarkan analisis, maka panjang lewatan yang diukur antara persilangan kawat terluar pada masing-masing lembar jaringan kawat yang disambung tidak boleh kurang dari satu jarak silang ditambah 50 mm, dan tidak boleh kurang dari $1,5\ell_d$, ataupun 150 mm. ℓ_d adalah panjang penyaluran untuk kuat leleh f_y yang ditentukan berdasarkan 14.8 [Gambar 26(a)].



Gambar 26—Sambungan lewatan jaring kawat polos

14.19.2 — Bila luas tulangan terpasang pada lokasi sambungan lebih dari dua kali jumlah yang dibutuhkan berdasarkan analisis, maka panjang lewatan yang diukur antara persilangan terluar pada masing-masing lembar jaringan kawat

PENJELASAN

S14.19 — Sambungan lewatan jaring kawat polos dalam kondisi tarik

Kuat sambungan lewatan jaring kawat las polos tergantung terutama pada angkur yang diperoleh dari kawat silang daripada panjang kawat dalam sambungan. Untuk alasan ini, lewatan ditentukan oleh lewatan tumpang (*overlap*) kawat silang daripada dalam diameter kawat atau mm. 50 mm lewatan tambahan tersebut disyaratkan untuk menjamin lewatan tumpang (*overlapping*) kawat silang dan untuk menyediakan ruang untuk pemadatan beton yang memuaskan diantara kawat silang. Riset^{14,22} telah menunjukkan panjang sambungan yang ditambah diperlukan bila jaring dengan kawat yang berspasi dekat dan besar dilewatan dan sebagai konsekuensinya persyaratan panjang sambungan tambahan harus disediakan untuk jaring ini, sebagai tambahan pada minimum absolut sebesar 150 mm. Panjang penyaluran ℓ_d adalah panjang yang dihitung sesuai dengan ketentuan 14.8 tanpa memperhatikan minimum 150 mm. Persyaratan sambungan diilustrasikan dalam Gambar 26.

TATA CARA

PENJELASAN

yang disambung tidak boleh kurang dari $1,5l_d$, ataupun 50 mm. l_d adalah panjang penyaluran untuk kuat leleh f , yang ditentukan berdasarkan 14.8 [Gambar 26(b)].

PASAL 15 — SISTEM PELAT DUA ARAH

TATA CARA

15.1 — Umum

15.1.1 — Ketentuan dalam Pasal 15 berlaku untuk perencanaan sistem pelat bertulangan lentur dalam arah lebih dari satu dengan atau tanpa balok di antara tumpuannya.

15.1.2 — Sistem pelat dapat ditumpu oleh kolom atau dinding. Bila ditumpu oleh kolom atau dinding maka ukuran c_1 dan c_2 serta bentang bersih, l_n , ditetapkan berdasarkan luas efektif tumpuan yang didefinisikan sebagai perpotongan permukaan bawah pelat atau panel setempat, bila ada, dengan lingkaran konus terbesar, piramida, atau irisan miring yang permukaannya berada pada kolom atau kepala kolom dan bersudut maksimum 45° terhadap sumbu kolom.

15.1.3 — Ketentuan pada Pasal 15 juga mencakup pelat masif dan pelat berongga yang dibuat dengan menggunakan cetakan pengisi permanen atau yang dapat dilepas yang dipasang di antara rusuk balok atau pelat berusuk dua arah.

15.1.4 — Tebal minimum pelat yang direncanakan berdasarkan ketentuan Pasal 15 harus memenuhi ketentuan yang tercantum dalam 11.5.3.

15.2 — Beberapa definisi

15.2.1 — Lajur kolom adalah suatu lajur rencana dengan lebar pada masing-masing sisi sumbu kolom sebesar nilai yang terkecil dari $0,25l_2$ atau $0,25l_1$; lajur kolom tersebut mencakup balok, bila ada.

15.2.2 — Lajur tengah adalah suatu lajur rencana yang dibatasi oleh dua lajur kolom.

15.2.3 — Suatu panel dibatasi pada semua sisinya oleh sumbu-sumbu kolom, balok, atau dinding.

PENJELASAN

S15.1 — Umum

Prinsip-prinsip perencanaan fundamental yang dikandung dalam Pasal 15 dapat diterapkan pada semua sistem struktur bidang yang dikenai oleh beban transversal. Beberapa aturan perencanaan spesifik, demikian juga contoh historis, membatasi tipe struktur dimana Pasal 15 berlaku. Karakteristik umum sistem pelat yang dapat direncanakan sesuai dengan Pasal 15 dijelaskan dalam sub-pasal ini. Sistem ini mengkutsertakan pelat datar dengan balok (*flat slabs*), pelat datar (*flat plates*), pelat dua-arah (*two-way slabs*), dan pelat wafel (*waffle slabs*). Pelat dengan langit-langit panel merupakan sistem balok jalur-lebar dua-arah.

Pelat satu-arah yang sesungguhnya, pelat yang ditulangi untuk menahan tegangan lentur dalam hanya satu arah, tidak termasuk disini. Juga tidak termasuk adalah pelat pendukung-tanah, seperti pelat pada urugan, yang tidak mentransmisi beban vertikal dari bagian struktur lainnya ke tanah.

Untuk pelat dengan balok, prosedur desain eksplisit dari Pasal 15 berlaku hanya bila balok dilokasikan di tepi panel dan bila balok didukung oleh kolom atau pendukung yang pada dasarnya tidak berdefleksi di sudut panel. Pelat dua-arah dengan balok dalam satu arah, dengan kedua pelat dan balok didukung oleh girder dalam arah lainnya, dapat direncanakan dibawah persyaratan umum dari Pasal 15. Perencanaan seperti itu haruslah didasarkan pada analisis yang kompatibel dengan posisi terdefleksi balok pendukung dan girder.

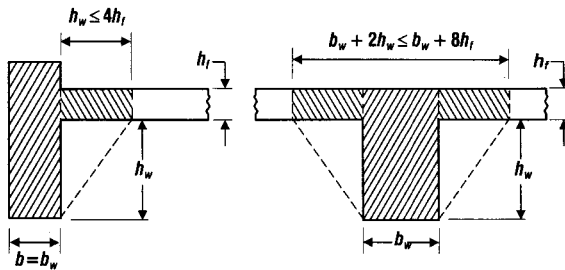
Untuk pelat terdukung diatas dinding, prosedur desain eksplisit dalam pasal ini memperlakukan dinding sebagai balok dengan kekakuan tak-hingga; karena itu, setiap dinding harusmendukung panjang keseluruhan tepi panel (lihat 15.2.3). Kolom mirip-dinding kurang dari panjang panel penuh dapat diperlakukan sebagai kolom.

S15.2 — Beberapa definisi

S15.2.3 — Sebuah panel mengkutsertakan semua elemen lentur antara garis-pusat kolom. Jadinya, strip kolom mengkutsertakan balok, jika ada.

TATA CARA

15.2.4 — Pada konstruksi monolit atau komposit penuh, suatu balok mencakup juga bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat tersebut (lihat Gambar 27).



Gambar 27—Bagian pelat yang diperhitungkan sesuai 15.2.4

15.3 — Penulangan pelat

15.3.1 — Luas tulangan pelat pada masing-masing arah dari sistem pelat dua arah ditentukan dengan meninjau momen-momen pada penampang kritis tapi tidak boleh kurang daripada yang disyaratkan oleh 9.12.

15.3.2 — Spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh lebih daripada dua kali tebal pelat kecuali untuk bagian pelat yang berada pada daerah rongga atau rusuk. Pada bagian pelat di atas daerah rongga, tulangan diadakan sesuai dengan 9.12.

15.3.3 — Tulangan momen positif yang tegak lurus tepi tak-menerus harus diteruskan hingga mencapai tepi pelat dan ditanam, dapat dengan kaitan, minimum sepanjang 150 mm ke dalam balok tepi, kolom, atau dinding.

15.3.4 — Tulangan momen negatif yang tegak lurus tepi tak-menerus harus dibengkokan atau diangkur pada balok tepi, kolom, atau dinding, sesuai dengan ketentuan mengenai panjang penanaman pada Pasal 14.

15.3.5 — Bila pelat tidak memiliki balok tepi atau dinding pada tepi tak-menerus, atau pada pelat yang membentuk kantilever pada tumpuan maka pengankuran tulangan harus dilakukan didalam pelat itu sendiri.

15.3.6 — Pada pelat dengan balok yang membentang di antara kedua tumpuannya, dan

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p} > 1,0$$

PENJELASAN

S15.2.4 — Untuk konstruksi monolit atau komposit penuh, balok mengikutsertakan porsi pelat sebagai flens. Dua contoh aturan disediakan dalam Gambar 27.

S15.3 — Penulangan pelat

S15.3.2 — Persyaratan bahwa spasi pusat-ke-pusat tulangan tidak lebih dari dua kali ketebalan pelat berlaku hanya pada tulangan pelat solid, dan tidak pada tulangan usuk (*joists*) dan pelat wafel. Pembatasan ini adalah untuk memastikan aksi pelat, retak, dan menyediakan kemungkinan beban terkonsentrasi pada luasan kecil pelat. Lihat juga S12.6.

S15.3.3 – S15.3.5 — Momen lentur pada pelat di balok tepi (*spandrel*) dapat dikenai variasi yang besar. Jika balok tepi dibangun secara solid kedalam dinding, pelat tersebut mendekati penjepitan yang komplit. Tanpa dinding yang menyatu, pelat tersebut dapat mendekati bertumpu sederhana, tergantung pada kekakuan puntir balok tepi atau tepi pelat. Persyaratan ini menyediakan kondisi yang tak diketahui yang normalnya mungkin dapat terjadi pada suatu struktur.

TATA CARA**PENJELASAN**

dimana subskrip b merujuk pada balok dan p merujuk pada pelat, harus disediakan tulangan khusus di sisi atas dan bawah bagian pelat yang berada di sudut luar, sebagai berikut:

15.3.6.1 — Tulangan khusus pada sisi atas dan bawah pelat harus cukup untuk memikul momen positif maksimum (per satuan lebar) pada pelat.

15.3.6.2 — Untuk tulangan yang berada di sisi atas, vektor momen tersebut harus dianggap bekerja tegak lurus garis diagonal pada sudut pelat; sedangkan untuk tulangan yang berada di sisi bawah, vektor momen tersebut harus dianggap bekerja sejajar garis diagonal.

15.3.6.3 — Tulangan tersebut harus disediakan pada masing-masing arah sejarak seperlima bentang terpanjang dari sudut pelat yang ditinjau.

15.3.6.4 — Tulangan khusus tersebut dipasang dalam bentuk lajur paralel dengan diagonal untuk sisi atas dan tegak lurus diagonal untuk sisi bawah. Sebagai alternatif, tulangan tersebut dapat dipasang dalam dua rangkap paralel dengan tepi-tepi pelat, di sisi atas dan di sisi bawah dari pelat tersebut.

15.3.7 — Bila digunakan penebalan panel setempat untuk mereduksi jumlah tulangan momen negatif di daerah kolom maka dimensi penebalan panel setempat harus sesuai dengan hal-hal berikut ini:

15.3.7.1 — Penebalan panel setempat disediakan pada kedua arah dari pusat tumpuan sejarak tidak kurang daripada seperenam jarak pusat-ke-pusat tumpuan pada arah yang ditinjau.

15.3.7.2 — Tebal penebalan panel setempat tidak boleh kurang daripada seperempat tebal pelat di luar daerah penebalan panel setempat.

15.3.7.3 — Pada perhitungan tulangan pelat yang diperlukan, tebal penebalan panel setempat tidak boleh diambil lebih daripada seperempat jarak dari tepi panel setempat ke tepi kolom atau tepi kepala kolom.

15.3.8 — Detail tulangan pada pelat tanpa balok

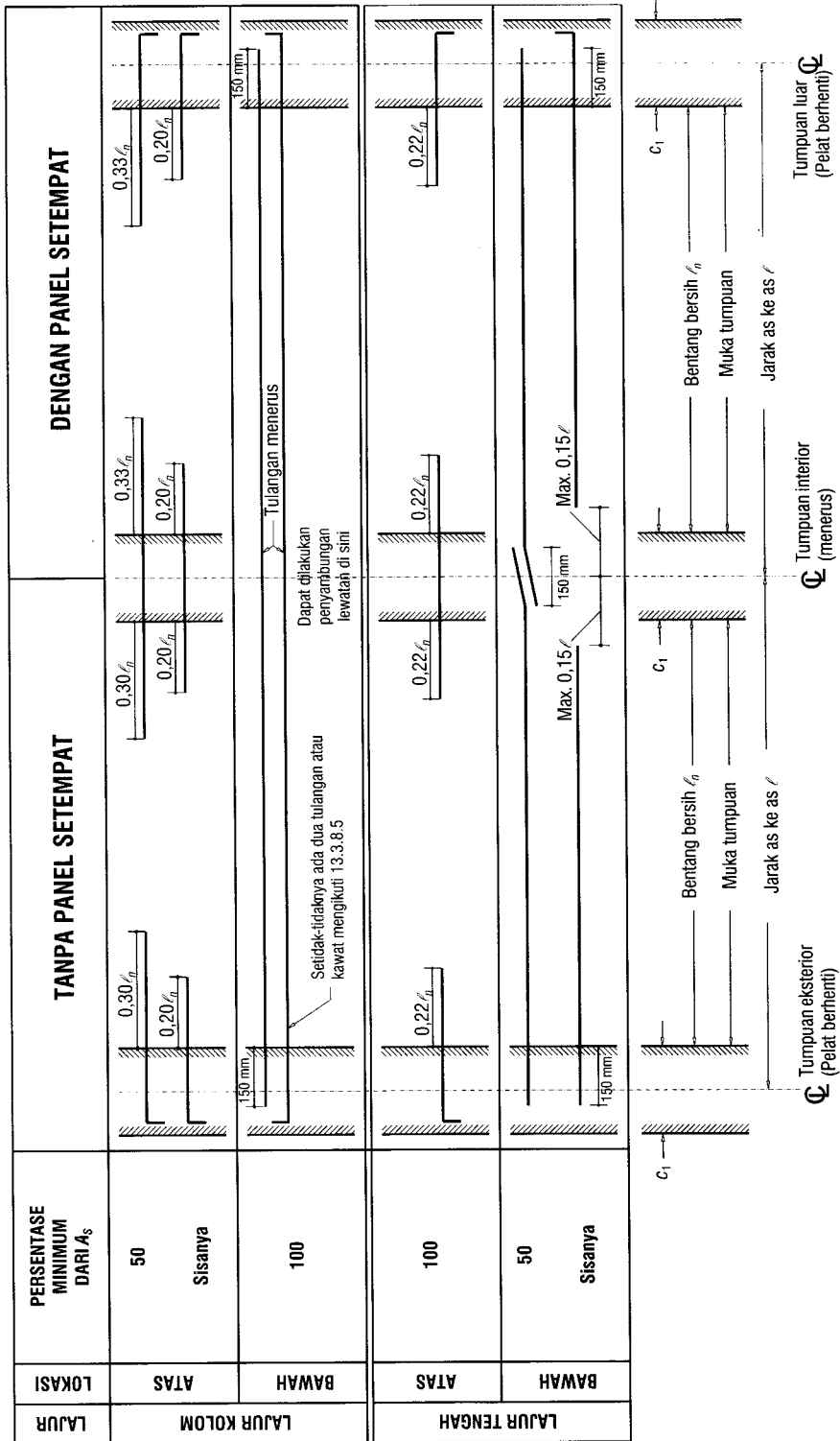
15.3.8.1 — Sebagai tambahan terhadap persyaratan 15.3, tulangan pada pelat tanpa balok harus diteruskan dengan panjang minimum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 28.

15.3.8.2 — Bila panjang bentang yang bersebelahan tidak sama maka penerusan tulangan momen negatif diluar bidang muka tumpuan seperti yang dipersyaratkan pada Gambar 28 harus didasarkan pada bentang yang lebih panjang.

S15.3.8 — Detail tulangan pada pelat tanpa balok

Dalam *ACI Code* 1989, batang bengkok telah dihilangkan dari Gambar 28. Ini dilakukan karena batang bengkok jarang digunakan dan sulit untuk ditempatkan secara tepat. Batang bengkok diijinkan, akan tetapi, jika mereka memenuhi 15.3.8.3. Mengacu pada 15.4.8 dari *ACI Code* 1983.

TATA CARA



Gambar 28—Detail tulangan pada pelat tanpa balok

TATA CARA

15.3.8.3 — Tulangan miring hanya diperkenankan bila perbandingan tinggi terhadap bentang memungkinkan untuk digunakannya tulangan dengan kemiringan $\leq 45^\circ$.

15.3.8.4 — Pada sistem rangka dimana pelat dua arah berfungsi sebagai komponen utama pemikul beban lateral, untuk pelat pada rangka yang dapat bergoyang, panjang tulangan ditentukan dari analisis tapi tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada Gambar 28.

15.3.8.5 — Semua tulangan atau kawat di sisi bawah dari lajur kolom pada masing-masing arah harus menerus atau disambung dengan sambungan lewatan sepanjang $1,0l_d$ sesuai dengan Gambar 28. Setidak-tidaknya dua tulangan atau kawat di sisi bawah pada lajur kolom pada masing-masing arah harus melewati teras (inti) kolom dan diangkur pada tumpuan luar.

15.3.8.6 — Pada pelat dengan kepala geser dan pada konstruksi pelat yang diangkat, bilamana sangat tidak praktis untuk meneruskan tulangan bawah sebagaimana ditentukan oleh 15.3.8.5 melalui kolom, maka setidak-tidaknya dua tulangan atau kawat di sisi bawah pada masing-masing arah harus melewati kepala geser atau cincin angkat sedekat mungkin kekolom dan menerus atau disambung dengan sambungan lewatan sepanjang $1,0l_d$. Pada kolom luar, tulangan tersebut harus diangkur pada kepala geser atau cincin angkat.

15.4 — Bukaannya pada sistem pelat

15.4.1 — Bukaannya dengan segala ukuran dapat diijinkan pada sistem pelat bila dapat ditunjukkan dengan analisis bahwa kuat rencana pelat setidak-tidaknya sama dengan kuat perlu dengan mengingat 11.2 dan 11.3, dan bahwa semua persyaratan layan, termasuk besar lendutan, harus dipenuhi.

15.4.2 — Sebagai alternatif dari analisis yang dipersyaratkan pada 15.4.1, dapat diijinkan adanya bukannya pada pelat tanpa balok dengan ketentuan tambahan sebagai berikut:

15.4.2.1 — Bukaannya dengan segala ukuran dapat diijinkan pada daerah pertemuan antara dua lajur tengah selama jumlah total tulangan yang diperlukan pelat tanpa bukannya harus tetap dipertahankan di sisi bukannya.

15.4.2.2 — Pada daerah pertemuan antara dua lajur kolom, diijinkan adanya bukannya dengan ukuran tidak lebih dari seperdelapan lebar lajur kolom pada masing-masing arah; jumlah total tulangan yang diperlukan pelat tanpa bukannya harus tetap dipertahankan di sisi bukannya.

PENJELASAN

S15.3.8.4 — Untuk momen yang dihasilkan dari kombinasi beban lateral dan gravitasi, panjang minimum dan perpanjangan batang dalam Gambar 28 mungkin tidak cukup.

S15.3.8.5 — Tulangan terbawah lajur kolom yang menerus menyediakan pelat sisa kemampuan untuk menjembatani ke pendukung yang bersebelahan jikalau pendukung tunggal rusak. Dua batang atau kawat di bawah lajur kolom yang menerus melalui kolom tersebut dapat diistilahkan baja integritas, dan disediakan untuk memberikan pelat sisa kapasitas bila terjadi kegagalan geser pons tunggal di tumpuan tunggal.^{15.1}

S15.3.8.6 — Dalam *ACI Code* 1992, ketentuan ini ditambahkan untuk mensyaratkan baja integritas yang sama seperti untuk pelat dua-arah tanpa balok lainnya dalam kasus kegagalan geser pons di tumpuan.

Dalam beberapa kejadian, terdapat cukup celah sehingga batang bawah dengan lekatan dapat melintas dibawah kepala-geser dan melalui kolom. Bila celah dibawah kepala-geser tidak cukup tersedia, batang bawah harus melintasi melalui lubang di lengan kepala-geser atau di perimeter cincin angkat (*lifting collar*). Kepala-geser harus dijaga serendah mungkin dalam pelat untuk meningkatkan keefektifannya.

S15.4 — Bukaannya pada sistem pelat

Lihat S13.12.5.

TATA CARA

15.4.2.3 — Pada daerah pertemuan antara lajur kolom dan lajur tengah, diijinkan adanya bukaan dengan ukuran tidak lebih dari seperempat lebar lajur pada masing-masing arah; jumlah total tulangan yang diperlukan pelat tanpa bukaan harus tetap dipertahankan di sisi bukaan.

15.4.2.4 — Persyaratan geser pada 13.12.5 harus tetap dipenuhi.

15.5 — Cara perencanaan

15.5.1 — Sistem pelat direncanakan dengan metode yang telah baku yang memenuhi ketentuan keseimbangan dan kompatibilitas geometris, selama dapat ditunjukkan, dengan memperhatikan 11.2 dan 11.3, bahwa kuat rencana dari setiap penampang paling sedikit sama dengan kuat perlu dan bahwa persyaratan layan, termasuk lendutan, dipenuhi:

15.5.1.1 — Untuk beban gravitasi, suatu sistem pelat, termasuk pelat dan balok (bila ada) yang membentang di antara tumpuan dan kolom atau dinding pendukung yang membentuk rangka orthogonal, dapat direncanakan dengan cara perencanaan langsung pada 15.6 atau dengan cara rangka ekuivalen pada 15.7.

15.5.1.2 — Untuk beban lateral, analisis rangka harus memperhatikan pengaruh retak dan tulangan dalam perhitungan kekakuan komponen struktur rangka.

PENJELASAN

S15.5 — Cara perencanaan

S15.5.1 — Pasal ini mengijinkan perencana untuk mendasarkan perencanaan secara langsung pada prinsip-prinsip fundamental mekanika struktur, asalkan dapat didemonstrasikan secara eksplisit bahwa semua keamanan dan kriteria kemampuan layan dipenuhi. Perencanaan pelat dapat dicapai melalui pemakaian kombinasi solusi klasik berdasarkan pada kontinum elastik linier, solusi numerik berdasarkan pada elemen diskret, atau analisis garis-leleh, termasuk, dalam semua kasus, evaluasi kondisi tegangan sekeliling tumpuan dalam hubungan dengan geser dan torsi demikian juga lentur. Perencana harus mempertimbangkan bahwa perencanaan sistem pelat melibatkan lebih dari analisisnya, dan membenarkan sembarang deviasi dalam dimensi fisik pelat dari praktek umum dengan dasar pengetahuan beban yang diperkirakan dan reliabilitas tegangan yang dihitung dan deformasi struktur.

S15.5.1.1 — Untuk analisis beban gravitasi sistem pelat dua-arah, dua metoda analisis diberikan dalam 15.6 dan 15.7. Ketentuan spesifik kedua metoda desain dibatasi dalam penerapan pada rangka orthogonal dikenai oleh beban gravitasi saja. Kedua metoda berlaku untuk pelat dua-arah dengan balok demikian juga pada pelat datar dengan balok dan pelat datar. Dalam kedua metoda, distribusi momen ke penampang kritis pelat merefleksikan efek kekakuan elemen yang tereduksi akibat retak dan geometri pendukung.

S15.5.1.2 — Selama umur struktur, beban konstruksi, beban hunian biasa, beban-berlebihan yang diantisipasi, dan perubahan volume akan mengakibatkan retak pelat. Retak mereduksi kekakuan komponen struktur pelat, dan meningkatkan fleksibilitas lateral bila beban lateral bekerja pada struktur. Retak pelat harus diperhitungkan dalam asumsi kekakuan supaya simpangan (*drift*) yang diakibatkan oleh angin atau gempa-bumi tidak ditaksir kurang secara kasaran.

Perencana bisa memodelkan struktur untuk analisis beban lateral menggunakan sembarang pendekatan yang ditunjukkan untuk memenuhi kesetimbangan dan kompatibilitas geometri dan agar dalam kesesuaian yang cukup dengan data uji.^{15.2,15.3} Pendekatan yang dipilih harus mengetahui efek retak demikian juga parameter seperti b_2/b_1 , c_1/l_1 , dan c_2/c_1 . Beberapa pendekatan yang tersedia

TATA CARA

PENJELASAN

diringkas dalam Referensi 15.4, yang mengikutsertakan diskusi mengenai efek retak. Pendekatan yang dapat diterima mengikutsertakan model elemen-hingga lenturan-pelat (*plate-bending*), model lebar balok efektif, dan model rangka ekuivalen. Dalam semua kasus, kekakuan komponen struktur yang merangka harus direduksi untuk memperhitungkan retak.

Untuk pelat nonprategang, secara normal dipandang cocok untuk mereduksi kekakuan lentur pelat sampai antara setengah dan seperempat kekakuan tak-retak. Untuk konstruksi prategang, kekakuan yang lebih besar daripada pelat nonprategang, yang retak mungkin cocok. Bila analisis digunakan untuk menentukan simpangan rencana desain atau pembesaran momen, kekakuan pelat batas-bawah harus dipakai. Bila analisis digunakan untuk mempelajari interaksi pelat dengan elemen rangka lainnya, seperti dinding struktur, mungkin cocok untuk memperhitungkan rentang kekakuan pelat supaya kepentingan relatif slab pada interaksi itu dapat dinilai.

15.5.1.3 — Hasil analisis beban gravitasi dapat dikombinasikan dengan hasil analisis beban lateral.

15.5.2 — Pelat dan balok (bila ada) yang membentang di antara tumpuan direncanakan terhadap momen terfaktor yang bekerja pada setiap penampang.

15.5.3 — Bila beban gravitasi, angin, gempa, atau gaya lateral lainnya menyebabkan terjadinya penyaluran momen antara pelat dan kolom, maka sebagian dari momen tak-imbang harus disalurkan melalui mekanisme lentur sesuai dengan ketentuan 15.5.3.2 dan 15.5.3.3 berikut ini:

15.5.3.1 — Bagian dari momen tak-imbang yang tidak disalurkan sebagai lentur harus disalurkan sebagai eksentrisitas geser sesuai dengan 13.12.6.

15.5.3.2 — Bagian dari momen tak-imbang sebesar γM_u harus dianggap disalurkan sebagai lentur melalui suatu lebar efektif pelat yang dibatasi oleh garis-garis yang dibuat pada jarak satu setengah kali tebal pelat atau tebal panel setempat (**1,5h**) dari masing-masing muka kolom atau kepala kolom yang berada pada sisi yang berlawanan, dimana M_u adalah momen yang harus disalurkan, dan

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + (2/3)\sqrt{b_1/b_2}} \quad (89)$$

15.5.3.3 — Untuk momen tak-imbang terhadap sumbu yang sejajar terhadap tepi tumpuan luar, nilai γ_f dari Persamaan 89 dapat dinaikkan hingga 1,0 selama V_u pada tumpuan pinggir tidak melebihi $0,75\phi V_c$ atau pada tumpuan sudut tidak melebihi $0,5\phi V_c$. Untuk momen tak-imbang pada tumpuan dalam dan untuk momen tak-imbang terhadap sumbu yang tegak lurus

S15.5.3 — Pasal ini berhubungan terutama dengan sistem pelat tanpa balok. Uji dan pengalaman telah menunjukkan bahwa, kecuali jika langkah khusus diambil untuk menahan tegangan torsi dan geser, semua tulangan yang menahan bagian momen yang ditransfer ke kolom oleh lentur harus ditempatkan antara garis yang merupakan satu atau satu setengah ketebalan pelat atau panel turun (*drop panel*), **1,5h**, pada setiap sisi kolom. Tegangan geser yang dihitung pada pelat sekeliling kolom disyaratkan untuk memenuhi pada persyaratan dari 13.12.2. Lihat S13.12.1.2 dan S13.12.2.1 untuk lebih detail pada penerapan sub-pasal ini.

S15.5.3.3 — Prosedur *ACI Code* 1989 tetap tak berubah, kecuali bahwa dibawah kondisi tertentu perencana diijinkan untuk menyesuaikan tingkat momen yang ditransfer oleh geser tanpa merevisi ukuran komponen struktur. Evaluasi tes menunjukkan bahwa fleksibilitas dalam distribusi momen tak-seimbang yang ditransfer oleh geser dan lentur di kedua pendukung eksterior dan interior adalah mungkin.

TATA CARA

terhadap tepi tumpuan luar, nilai γ_f dari Persamaan 89 dapat dinaikkan sebesar 25% selama V_u pada tumpuan tersebut tidak melebihi $0,4\phi V_c$. Rasio tulangan, ρ , pada daerah lebar efektif pelat yang didefinisikan pada 15.5.3.2 tidak boleh lebih besar daripada $0,375\rho_b$. Nilai γ_f tidak boleh dimodifikasi pada sistem pelat prategang.

15.5.3.4 — Pemusatan tulangan di daerah kolom dengan memperkecil spasi tulangan atau menambah tulangan dapat digunakan untuk memikul momen pada lebar efektif pelat yang ditentukan pada 15.5.3.2.

15.5.4 — Perencanaan penyaluran beban dari pelat ke kolom dan dinding pemikul melalui geser dan torsi harus memenuhi ketentuan Pasal 13.

PENJELASAN

Pendukung interior, eksterior, dan sudut mengacu pada hubungan pelat-kolom untuk mana perimeter kritis untuk kolom persegi mempunyai berturut-turut 4, 3, atau 2 sisi. Perubahan dalam *ACI Code* 1995, sampai tingkat tertentu, mengakui praktek perencanaan sebelum *ACI Code* 1971.^{15.5}

Di pendukung eksterior, untuk momen tak-seimbang terhadap sumbu paralel pada tepi, porsi momen yang ditransfer oleh eksentrisitas geser $\gamma_f M_u$ dapat direduksi asalkan geser terfaktor di tumpuan (tidak termasuk geser yang dihasilkan oleh transfer momen) tidak melebihi 75 persen kapasitas geser ϕV_c seperti didefinisikan dalam 13.12.2.1 untuk kolom tepi atau 50 persen untuk kolom sudut. Dalam kasus seperti itu hasil uji^{15.6,15.7} menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi yang berarti antara geser dan momen tak-seimbang di pendukung eksterior. Catat bahwa bila $\gamma_f M_u$ berkurang, $\gamma_f M_u$ akan meningkat.

Evaluasi hasil uji tumpuan interior menunjukkan bahwa fleksibilitas dalam mendistribusikan momen tak-seimbang yang ditransfer oleh geser dan lentur mungkin juga ada, tetapi dengan pembatasan yang lebih ketat daripada untuk tumpuan eksterior. Untuk tumpuan interior, momen tak-seimbang yang ditransfer oleh lentur diijinkan untuk ditingkatkan sampai dengan 25 persen asalkan geser terfaktor (tidak termasuk geser yang diakibatkan oleh transfer momen) di tumpuan interior tidak melebihi 40 persen kapasitas geser ϕV_c seperti didefinisikan dalam 13.12.2.1.

Tes hubungan pelat-kolom menunjukkan bahwa derajat daktilitas yang besar disyaratkan karena interaksi antara geser dan momen tak-seimbang adalah kritis. Bila geser terfaktor besar, hubungan kolom-pelat tidak dapat selalu membentuk semua tulangan yang disediakan dalam lebar efektif. Modifikasi untuk hubungan pelat-kolom tepi, sudut, atau interior dalam 15.5.3.3 diijinkan hanya bila rasio tulangan (dalam lebar efektif) disyaratkan untuk membentuk momen tak-seimbang $\gamma_f M_u$ tidak melebihi $0,375\rho_b$. Pemakaian Pers. (89) tanpa modifikasi yang diijinkan dalam 15.5.3.3 akan secara umum menunjukkan kondisi tegangan-berlebihan di hubungan. Ketentuan dari 15.5.3.3 dimaksudkan untuk memperbaiki perilaku daktil hubungan kolom-pelat. Bila bolak-baliknya momen terjadi di muka tumpuan interior yang berlawanan, kedua tulangan atas dan bawah haruslah dikonsentrasikan dalam lebar efektif. Rasio tulangan atas dan bawah sebesar kira-kira 2 dipandang pantas.

TATA CARA**15.6 — Cara perencanaan langsung**

15.6.1 — Sistem pelat harus memenuhi batasan sebagai berikut:

15.6.1.1 — Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam masing-masing arah.

15.6.1.2 — Panel pelat harus berbentuk persegi dengan perbandingan antara bentang panjang terhadap bentang pendek diukur antara sumbu-ke-sumbu tumpuan, tidak lebih dari 2.

15.6.1.3 — Panjang bentang yang bersebelahan, diukur antara sumbu-ke-sumbu tumpuan, dalam masing-masing arah tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga bentang terpanjang.

15.6.1.4 — Posisi kolom boleh menyimpang maksimum sejauh 10% panjang bentang (dalam arah penyimpangan) dari garis-garis yang menghubungkan sumbu-sumbu kolom yang berdekatan.

15.6.1.5 — Beban yang diperhitungkan hanyalah beban gravitasi dan terbagi merata pada seluruh panel pelat. Beban hidup tidak boleh melebihi 2 kali beban mati.

PENJELASAN**S15.6 — Cara perencanaan langsung**

Metoda perencanaan langsung terdiri dari sekumpulan aturan untuk mendistribusikan momen ke penampang pelat dan balok untuk memenuhi persyaratan keamanan dan secara bersamaan sebagian besar persyaratan kemampuan layan. Tiga langkah fundamental dilibatkan sebagai berikut:

- (1) Penentuan momen statik terfaktor total (lihat 15.6.2);
- (2) Distribusi momen statik terfaktor total ke penampang negatif dan positif (lihat 15.6.3);
- (3) Distribusi momen terfaktor negatif dan positif ke lajur kolom dan tengah dan ke balok, jika ada (lihat 15.6.4 sampai 15.6.6). Distribusi momen ke lajur kolom dan tengah juga digunakan dalam metoda rangka ekuivalen (lihat 15.7).

S15.6.1 — Pembatasan

Metoda perencanaan langsung dikembangkan dari pertimbangan prosedur teoritis untuk penentuan momen pada pelat dengan dan tanpa balok, persyaratan untuk desain sederhana dan prosedur pelaksanaan konstruksi, dan contoh yang disuplai oleh kinerja sistem pelat yang terjadi lebih dahulu. Konsekuensinya, sistem pelat untuk direncanakan menggunakan metoda perencanaan langsung harus memenuhi pembatasan dalam sub-pasal ini.

S15.6.1.1 — Alasan utama untuk pembatasan dalam sub-pasal ini adalah besaran momen negatif di tumpuan interior pada struktur dengan hanya dua bentang menerus. Aturan tersebut yang diberikan pada metoda perencanaan langsung mengasumsikan bahwa sistem pelat di penampang momen negatif interior pertama adalah tidak dijepit terhadap rotasi maupun tidak menerus.

S15.6.1.2 — Jika rasio dua bentang (bentang panjang/bentang pendek) panel melebihi dua, pelat menahan momen pada bentang yang lebih pendek pada dasarnya seperti pelat satu-arah.

S15.6.1.3 — Pembatasan dalam sub-pasal ini terkait dengan kemungkinan perkembangan momen negatif melampaui titik dimana tulangan momen negatif dihentikan, seperti ditetapkan dalam Gambar 28.

S15.6.1.4 — Kolom dapat digeser dalam batas yang dispesifikasikan dari susunan persegi yang beraturan. Pergeseran total kumulatif sebesar 20 persen bentang dibentuk sebagai batas atas.

S15.6.1.5 — Metoda perencanaan langsung berdasarkan pada tes^{15.8} untuk beban gravitasi merata dan menghasilkan reaksi kolom yang ditentukan dengan statika. Beban lateral

TATA CARA

PENJELASAN

15.6.1.6 — Untuk suatu panel pelat dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, kekakuan relatif balok dalam dua arah yang tegak lurus,

$$\frac{\alpha_1 \ell_2^2}{\alpha_2 \ell_1^2} \quad (90)$$

tidak boleh kurang dari 0,2 dan tidak boleh lebih dari 5,0.

15.6.1.7 — Redistribusi momen seperti yang diijinkan pada 10.4 tidak berlaku pada sistem pelat yang direncanakan dengan cara perencanaan langsung. Lihat 15.6.7.

15.6.1.8 — Penyimpangan dari ketentuan pada 15.6.1 dapat diterima bila dapat ditunjukkan dengan analisis bahwa persyaratan pada 15.5.1 dipenuhi.

15.6.2 — Momen total terfaktor akibat beban gravitasi untuk suatu bentang

15.6.2.1 — Momen total terfaktor akibat beban gravitasi untuk suatu bentang ditentukan dalam suatu lajur yang dibatasi oleh garis tengah panel-panel pada masing-masing sisi dari sumbu tumpuan.

15.6.2.2 — Jumlah absolut dari momen terfaktor positif dan momen terfaktor negatif rata-rata dalam masing-masing arah tidak boleh kurang daripada

$$M_o = \frac{w_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad (91)$$

15.6.2.3 — Bila bentang transversal dari panel pada salah

seperti angin atau seismik memerlukan analisis rangka. Pondasi telapak terbalik yang didesain sebagai pelat dua-arah (lihat 17.10) melibatkan penerapan beban kolom yang diketahui. Maka dari itu, bahkan bila reaksi tanah diasumsikan sebagai merata, analisis rangka harus dilakukan.

Dalam *ACI Code* 1995, batas penerapan metoda perencanaan langsung untuk rasio beban hidup terhadap beban mati direduksi dari 3 menjadi 2. Pada kebanyakan sistem pelat, rasio beban hidup terhadap mati akan kurang dari 2 dan ini tidak perlu mengecek efek pembebanan berpola.

S15.6.1.6 — Distribusi elastik momen akan menyimpang secara signifikan dari yang diasumsikan dalam metoda desain langsung kecuali jika persyaratan untuk kekakuannya dipenuhi.

S15.6.1.7 — Redistribusi momen seperti diijinkan oleh 10.4 tidak dimaksudkan untuk momen lentur yang diperoleh dari nilai pendekatan. Untuk metoda perencanaan langsung, modifikasi 10 persen diperbolehkan oleh 15.6.7.

S15.6.1.8 — Perencana diijinkan untuk menggunakan metoda perencanaan langsung bahkan jika struktur tidak memenuhi pembatasan dalam sub-pasal ini, asalkan dapat ditunjukkan dengan analisis bahwa pembatasan tertentu tidak berlaku pada struktur itu. Untuk sistem pelat yang memikul beban tak-bergerak (seperti reservoir air dimana beban pada semua panel diperkirakan sama), perencana tidak perlu memenuhi pembatasan beban hidup dari 15.6.1.5.

S15.6.2 — Momen total terfaktor akibat beban gravitasi untuk suatu bentang

S15.6.2.2 — Pers. (91) mengikuti secara langsung derivasi Nicol^{15.9} dengan asumsi penyederhanaan bahwa reaksi dikonsentrasikan pada muka tumpuan yang tegak lurus pada bentang yang ditinjau. Pada umumnya, perencana akan menemukan lebih cepat untuk menghitung momen statik untuk dua buah setengah panel yang bersebelahan dengan mengikutsertakan lajur kolom dengan setengah lajur tengah sepanjang setiap sisinya.

TATA CARA

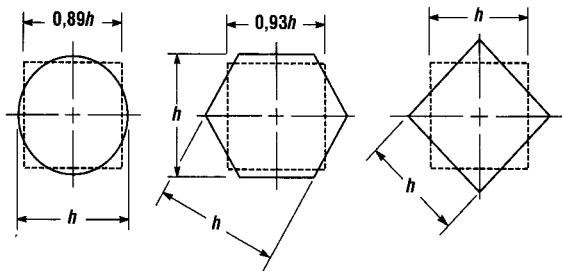
PENJELASAN

satu sisi dari sumbu tumpuan tidak seragam, ℓ_2 pada Persamaan 91 harus diambil sebagai nilai rata-rata dari bentang transversal yang bersebelahan.

15.6.2.4 — Pada saat meninjau bentang yang berdekatan dengan tepi dan yang sejajar terhadapnya, jarak dari tepi ke garis tengah panel harus digunakan sebagai ℓ_2 pada Persamaan 91.

15.6.2.5 — Bentang bersih ℓ_n harus diukur dari muka-muka kolom, kepala kolom, konsol pendek atau dinding. Nilai ℓ_n yang digunakan dalam Persamaan 91 tidak boleh kurang dari $0,65\ell_1$. Tumpuan yang berbentuk lingkaran atau poligon beraturan harus diperlakukan sebagai tumpuan bujur sangkar dengan luas yang sama (Gambar 29).

S15.6.2.5 — Jika komponen struktur pendukung tidak mempunyai penampang persegi atau jika sisi persegi tidak paralel pada bentangnya, maka penampang tersebut diperlakukan sebagai pendukung bujursangkar yang mempunyai luasan yang sama, seperti diilustrasikan di Gambar 29.



Gambar 29—Contoh penampang persegi ekuivalen untuk komponen-komponen pendukung

15.6.3 — Momen terfaktor negatif dan positif

S15.6.3 — Momen terfaktor negatif dan positif

15.6.3.1 — Momen terfaktor negatif dihitung pada muka tumpuan persegi. Tumpuan yang berbentuk lingkaran atau segi banyak beraturan harus diperlakukan sebagai tumpuan bujur sangkar dengan luas yang sama.

15.6.3.2 — Pada bentang dalam, momen total terfaktor akibat beban gravitasi M_o didistribusikan sebagai berikut:

- Momen terfaktor negatif 0,65
- Momen terfaktor positif 0,35

15.6.3.3 — Pada bentang ujung, momen total terfaktor akibat beban gravitasi M_o didistribusikan sesuai dengan Tabel 13.

S15.6.3.3 — Koefisien momen untuk bentang ujung didasarkan pada perumusan kekakuan kolom ekuivalen dari Referensi 15.10, 15.11, dan 15.12. Koefisien untuk tepi tak-terkekang akan digunakan, sebagai contoh, jika pelat didukung secara sederhana pada dinding batu bata (*masonry*) atau beton. Kekangan tepi sepenuhnya terkekang akan berlaku jika pelat dibuat menyatu dengan dinding beton yang mempunyai kekakuan lentur sangat besar dibandingkan dengan pelat sehingga rotasi kecil terjadi di hubungan pelat-ke-dinding.

TATA CARA

PENJELASAN

TABEL 13—DISTRIBUSI MOMEN TOTAL TERFAKTOR

	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)
	Tepi eksterior tak-terkekang	Pelat dengan balok di antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok di antara tumpuan interior			Tepi eksterior terkekang penuh
			Tanpa balok tepi ^a	Dengan balok tepi		
Momen terfaktor negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70		0,65
Momen terfaktor positif	0,63	0,57	0,52	0,50		0,35
Momen terfaktor negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30		0,65

CATATAN:
^a Lihat 15.6.

15.6.3.4 — Pada tumpuan dalam, penampang dengan momen negatif harus direncanakan untuk memikul nilai terbesar dari dua momen terfaktor negatif yang dihitung pada bentang-bentang yang merangka pada suatu tumpuan yang sama, kecuali bila dilakukan analisis untuk mendistribusikan momen tak-imbang berdasarkan kekakuan dari komponen struktur yang bersebelahan tersebut.

15.6.3.5 — Balok tepi atau bagian tepi dari pelat harus direncanakan mampu memikul puntir akibat momen negatif terfaktor luar yang bekerja padanya.

15.6.3.6 — Momen akibat beban gravitasi yang dipindahkan dari pelat ke kolom tepi sesuai dengan ketentuan pada 15.5.3.1 adalah $0,3M_o$.

15.6.4 — Momen terfaktor pada lajur kolom

15.6.4.1 — Lajur kolom harus dirancang mampu memikul momen terfaktor negatif dalam, dalam persen dari M_o , sebagai berikut:

l_2/l_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_f l_2/l_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha_f l_2/l_1) \geq 1,0$	90	75	45

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai-nilai antara.

Untuk selain dari tepi tak-terkekang atau terkekang penuh, koefisien dalam tabel dipilih yang mendekati batas atas dari rentang momen positif dan momen negatif interior. Sebagai hasilnya, momen negatif eksterior biasanya lebih dekat dengan batas bawah. Kapasitas momen negatif eksterior untuk kebanyakan sistem pelat ditentukan oleh tulangan minimum untuk menentukan retak. Koefisien final dalam tabel telah disesuaikan supaya jumlah absolut momen positif dan rata-rata momen sama dengan M_o .

Untuk sistem pelat dua-arah dengan balok antara tumpuan pada semua sisi (pelat dua-arah), koefisien momen di kolom (2) dari tabel berlaku. Untuk sistem pelat tanpa balok antara tumpuan interior (pelat datar dan pelat datar dengan balok), koefisien momen dari kolom (3) atau (4) berlaku, berturut-turut tanpa atau dengan balok tepi (keliling).

Dalam *ACI Code* 1977, faktor distribusi didefinisikan sebagai fungsi rasio kekakuan pendukung eksterior ekuivalen digunakan untuk memproporsikan momen statik total M_o pada bentang ujung. Pendekatan tersebut dapat digunakan sebagai pengganti dari nilai di 15.6.3.3.

S15.6.3.4 — Perbedaan dalam momen pelat baik pada sisi kolom atau tipe pendukung lainnya harus diperhitungkan dalam perencanaan tumpuan. Jika analisis dibuat untuk mendistribusikan momen tak-imbang, kekakuan lentur dapat diperoleh dengan dasar penampang beton gros komponen struktur yang terlibat.

S15.6.3.5 — Momen tegak lurus pada, dan di tepi dari, struktur pelat harus ditransmisikan ke kolom atau dinding penumpu. Tegangan puntir yang diakibatkan oleh momen yang dikenakan ke pelat harus diselidiki.

S15.6.4, S15.6.5, dan S15.6.6 — Momen terfaktor pada lajur kolom, balok, dan lajur tengah

Aturan yang diberikan untuk menempatkan momen ke lajur kolom, balok, dan tengah didasarkan pada studi-studi^{15,13} momen pada pelat elastik linier dengan kekakuan balok yang berbeda yang disesuaikan oleh koefisien momen telah digunakan secara sukses.

Untuk tujuan membentuk momen pada setengah strip kolom bersebelahan dengan tepi yang didukung oleh dinding, l_n dalam Pers. (91) dapat diasumsikan sama dengan l_n yang paralel dengan bentang kolom ke kolom yang bersebelahan, dan dinding dapat dianggap sebagai balok yang mempunyai momen inersia I_b sama dengan tak-

TATA CARA

15.6.4.2 — Lajur kolom harus dirancang mampu memikul momen terfaktor negatif luar, dalam persen dari M_o , sebagai berikut:

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai-nilai antara, dan $\beta_t = (E_{cb}C)/(2E_{cp}I_p)$ adalah perbandingan antara kekakuan puntir balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat selebar bentangan balok tepi tersebut, diukur dari sumbu-ke-sumbu tumpuan.

15.6.4.3 — Untuk tumpuan yang terdiri dari kolom atau dinding yang memanjang sejarak sama atau lebih dari tigaperempat panjang bentang l_2 yang digunakan untuk menghitung M_o , maka momen negatif harus dianggap terbagi rata selebar l_2 .

15.6.4.4 — Lajur kolom harus dirancang mampu memikul momen terfaktor positif, dalam persen dari M_o , sebagai berikut:

l_2/l_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$	90	75	45

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai-nilai antara.

15.6.4.5 — Untuk pelat dengan balok di antara tumpuannya, bagian pelat pada lajur kolom harus direncanakan mampu memikul momen lajur kolom yang tidak dipikul oleh balok.

15.6.5 — Momen terfaktor pada balok

15.6.5.1 — Balok yang berada di antara tumpuan harus direncanakan mampu memikul 85% momen lajur kolom bila $(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$.

15.6.5.2 — Untuk nilai $(\alpha_1 l_2/l_1)$ di antara satu dan nol, nilai momen lajur kolom yang dipikul balok harus didapat dari interpolasi linier antara 85% dan nol.

15.6.5.3 — Di samping harus direncanakan terhadap momen yang dihitung akibat beban terbagi rata menurut 15.6.2.2, 15.6.5.1, dan 15.6.5.2, balok harus pula direncanakan terhadap momen akibat beban terpusat atau beban garis yang bekerja pada balok tersebut, termasuk berat dari bagian proyeksi badan balok di atas dan di bawah pelat.

PENJELASAN

hingga.

S15.6.4.2 — Efek parameter kekakuan torsi β_t adalah untuk menempatkan semua momen terfaktor negatif eksterior ke lajur kolom, dan tak ada yang ke lajur tengah, kecuali jika kekakuan puntir balok relatif tinggi terhadap kekakuan lentur pelat yang didukung. Dalam definisi β_t , modulus geser telah diambil sebagai $E_{cb}/2$.

Bilamana dinding digunakan sebagai tumpuan sepanjang garis kolom, maka dinding dapat dianggap sebagai balok yang sangat kaku dengan $\alpha_1 l_2/l_1$, yang bernilai lebih dari satu. Bilamana tumpuan eksterior terdiri dari dinding yang tegak lurus pada arah dimana momen telah ditentukan, β_t dapat diambil nol jika dinding dari batu bata tanpa tahanan puntir, dan β_t dapat diambil sebesar 2,5 untuk dinding beton dengan tahanan puntir yang besar yang monolit dengan pelat.

S15.6.5 — Momen terfaktor pada balok

Beban yang ditempatkan secara langsung pada balok adalah sebagai tambahan pada beban mati terbagi rata pelat; beban mati tambahan terbagi rata, seperti langit-langit, penyelesaian lantai, atau beban partisi ekuivalen yang diasumsikan; dan beban hidup terbagi rata. Semua beban ini normalnya diikutsertakan dengan w_u dalam Pers. (91). Beban linier yang diterapkan secara langsung pada balok mengikutsertakan dinding partisi yang menyeluruh atau sepanjang garis-pusat balok dan beban mati tambahan dari proyeksi badan balok. Beban terkonsentrasi termasuk tiang diatas atau penggantung dibawah balok. Untuk tujuan penempatan secara langsung beban terapan, hanya beban yang berlokasi dalam lebar badan balok harus dianggap sebagai diterapkan secara langsung pada balok. (Lebar efektif balok seperti didefinisikan dalam 15.2.4 melulu untuk perhitungan kekuatan dan kekakuan relatif.) Beban garis dan beban terkonsentrasi yang berlokasi pada pelat diluar dari badan balok membutuhkan pertimbangan khusus

TATA CARA

15.6.6 — Momen terfaktor pada lajur tengah

15.6.6.1 — Bagian dari momen terfaktor negatif dan positif yang tidak dipikul lajur kolom harus dibagikan secara proporsional pada setengah lajur-lajur tengah yang berada di sebelahnya.

15.6.6.2 — Masing-masing lajur tengah harus direncanakan mampu memikul jumlah momen yang diberikan pada kedua setengah lajur tengah yang bersebelahan.

15.6.6.3 — Suatu lajur tengah yang berdekatan dan sejajar dengan suatu tepi yang ditumpu oleh dinding harus direncanakan mampu memikul dua kali momen yang dibagikan pada setengah lajur tengah yang berdekatan dengan tumpuan dalam pertama.

15.6.7 — Modifikasi momen terfaktor

Momen terfaktor negatif dan positif boleh dimodifikasi sebesar 10% selama momen total terfaktor akibat beban gravitasi untuk suatu panel pada arah yang ditinjau tidak kurang dari jumlah yang disyaratkan pada Persamaan 91.

15.6.8 — Gaya geser terfaktor pada sistem pelat dengan balok

15.6.8.1 — Balok dengan nilai $(\alpha_1 l_2 / l_1) \geq 1,0$ harus direncanakan mampu memikul gaya geser akibat beban terfaktor pada daerah tributari yang dibatasi oleh garis 45° yang ditarik dari sudut-sudut panel dan garis tengah panel-panel bersebelahan yang sejajar dengan sisi panjang (Gambar 30).

15.6.8.2 — Balok dengan nilai $(\alpha_1 l_2 / l_1) < 1,0$ dapat direncanakan terhadap gaya geser dengan cara interpolasi linier, dengan menganggap bahwa balok tidak memikul gaya geser pada $\alpha_1 = 0$.

15.6.8.3 — Di samping harus direncanakan terhadap gaya geser yang dihitung menurut 15.6.8.1 dan 15.6.8.2, balok harus pula direncanakan mampu memikul gaya geser akibat beban terfaktor yang bekerja langsung pada balok tersebut.

15.6.8.4 — Kuat geser pelat dapat dihitung dengan asumsi bahwa beban didistribusikan kepada balok penumpu menurut 15.6.8.1 atau 15.6.8.2. Selanjutnya harus disediakan tahanan terhadap gaya geser total yang terjadi pada suatu panel.

15.6.8.5 — Kuat geser harus memenuhi ketentuan Pasal 13.

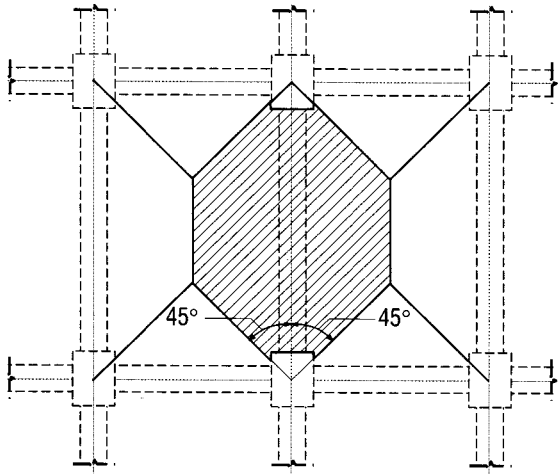
PENJELASAN

untuk menentukan pembagian beban ke pelat dan balok.

S15.6.8 — Geser terfaktor pada sistem slab dengan balok

Luasan tributari untuk menghitung geser pada balok interior ditunjukkan diarsir dalam Gambar 30. Jika kekakuan untuk balok $\alpha_1 l_2 / l_1$ lebih kecil dari 1,0, geser pada balok dapat diperoleh dengan interpolasi linier. Dalam kasus seperti itu, balok yang merangka ke dalam kolom tidak akan memperhitungkan semua gaya geser yang diterapkan pada kolom. Gaya geser sisanya akan menghasilkan tegangan geser pada pelat sekeliling kolom yang harus diperiksa dengan cara yang sama seperti untuk pelat datar, seperti disyaratkan oleh 15.6.8.4. Pasal 15.6.8.1 sampai 15.6.8.3 tidak berlaku untuk perhitungan momen puntir pada balok. Momen ini haruslah didasarkan pada hasil perhitungan dari momen lentur yang bekerja pada sisi balok.

TATA CARA



Gambar 30—Luas tributari pembebanan untuk perhitungan geser pada balok dalam

15.6.9 — Momen terfaktor pada kolom dan dinding

15.6.9.1 — Kolom dan dinding yang dibangun secara menyatu dengan sistem pelat harus direncanakan mampu memikul momen akibat beban terfaktor yang bekerja pada sistem pelat.

15.6.9.2 — Pada tumpuan interior, komponen struktur penumpu di atas dan di bawah pelat harus mampu memikul momen yang ditentukan pada Persamaan 92 sebanding dengan kekakuannya masing-masing, kecuali jika dilakukan analisis umum.

$$M = 0,07[(w_d + 0,5w_l)\ell_2\ell_n^2 - w_d'\ell_2(\ell_n')^2] \quad (92)$$

dimana w_d' , ℓ_2' dan ℓ_n' adalah notasi yang merujuk pada bentang pendek.

15.7 — Cara rangka ekuivalen

15.7.1 — Perencanaan sistem pelat dengan cara rangka ekuivalen harus didasarkan pada asumsi-asumsi yang diberikan pada 15.7.2 hingga 15.7.6, dan semua penampang pelat dan komponen pendukungnya harus direncanakan terhadap momen dan geser yang didapat dari perhitungan tersebut.

15.7.1.1 — Bila digunakan kepala kolom dari baja maka pengaruhnya pada kekakuan dan kekuatan terhadap momen dan geser dapat diperhitungkan.

15.7.1.2 — Perubahan panjang kolom dan pelat akibat tegangan, serta lendutan akibat geser, dapat diabaikan.

PENJELASAN

S15.6.9 — Momen terfaktor pada kolom dan dinding

Pers. (92) mengacu pada dua bentang yang menyatu, dengan satu bentang lebih panjang dari lainnya, dan dengan beban mati penuh plus setengah beban hidup diterapkan pada bentang yang lebih panjang dan hanya beban mati yang diterapkan pada bentang yang lebih pendek.

Desain dan pendetailan tulangan yang mentransfer momen dari pelat ke kolom tepi adalah kritis pada kedua kinerja dan keamanan pelat datar dengan balok atau pelat datar tanpa balok tepi atau pelat kantilever. Adalah penting bahwa detail perencanaan lengkap ditunjukkan pada gambar perencanaan, seperti konsentrasi tulangan menyeluruh kolom oleh spasi yang lebih dekat atau tulangan tambahan.

S15.7 — Cara rangka ekuivalen

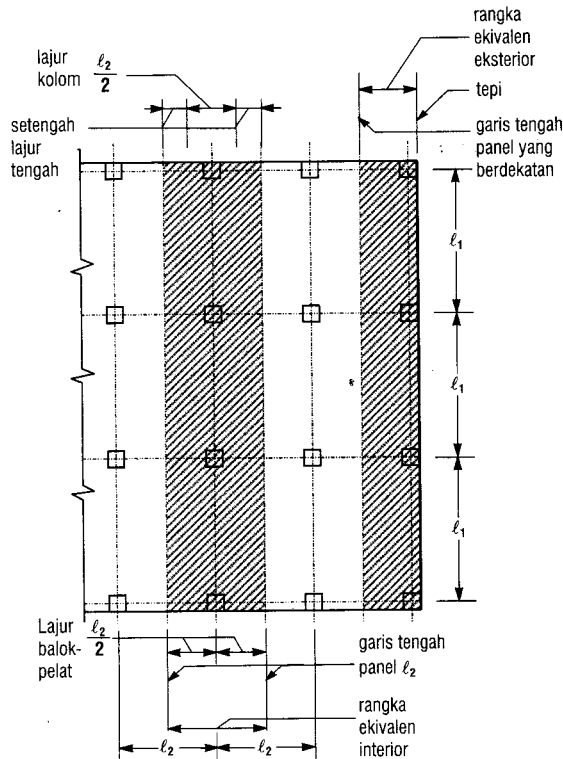
Cara rangka ekuivalen melibatkan representasi sistem pelat tiga-dimensi dengan serangkaian rangka dua-dimensi yang kemudian dianalisis untuk beban yang bekerja pada bidang rangka. Momen negatif dan positif yang ditentukan sedemikian di penampang desain kritis rangka didistribusikan ke penampang pelat sesuai dengan 15.6.4 (lajur kolom), 15.6.5 (balok), dan 15.6.6 (lajur tengah). Cara rangka ekuivalen didasarkan pada studi yang dilaporkan dalam Referensi 15.10, 15.12, dan 15.12. Banyak detail metoda rangka ekuivalen yang diberikan dalam Komentar dalam *ACI Code* 1989 dihilangkan dalam *ACI Code* 1995.

TATA CARA

15.7.2 — Rangka ekuivalen

15.7.2.1 — Struktur harus dianggap terdiri dari rangka-rangka ekuivalen pada garis-garis kolom yang diambil dalam arah longitudinal dan transversal bangunan.

15.7.2.2 — Masing-masing rangka terdiri dari sebaris kolom atau tumpuan dan lajur pelat-balok, dibatasi dalam arah lateral oleh garis tengah panel pada masing-masing sisi dari sumbu kolom atau tumpuan (Gambar 31).



Gambar 31—Definisi rangka ekuivalen

15.7.2.3 — Kolom atau tumpuan dianggap dihubungkan pada lajur pelat-balok oleh komponen puntir (15.7.5) yang arahnya transversal terhadap arah bentang yang ditinjau momennya dan memanjang hingga garis tengah panel-panel pada masing-masing sisi kolom.

15.7.2.4 — Rangka yang berdekatan dan sejajar terhadap suatu tepi dibatasi oleh tepi tersebut dan garis tengah panel yang berada di dekatnya.

15.7.2.5 — Setiap rangka ekuivalen dapat dianalisis sebagai suatu kesatuan; sebagai alternatif, untuk perhitungan akibat beban gravitasi, masing-masing lantai dan atap dapat dianalisis secara terpisah dengan menganggap bahwa ujung-ujung jauh dari kolom adalah terjepit.

PENJELASAN

S15.7.2 — Rangka ekuivalen

Penerapan rangka ekuivalen pada struktur yang beraturan diilustrasikan dalam Gambar 31. Bangunan tiga-dimensi dibagi menjadi serangkaian rangka komponen dua-dimensi (rangka ekuivalen) yang berpusat pada kolom atau garis pendukung dengan setiap rangka menjulang setinggi penuh bangunan. Lebar setiap rangka ekuivalen dibatasi oleh garis-pusat panel yang bersebelahan. Analisis lengkap sistem pelat untuk bangunan terdiri dari analisis serangkaian rangka ekuivalen (interior dan eksterior) yang membentang secara longitudinal dan transversal melalui bangunan.

Rangka ekuivalen terdiri dari tiga bagian: (1) lajur pelat horisontal, termasuk sembarang balok yang membentang dalam arah rangka, (2) kolom atau komponen struktur pendukung vertikal lainnya, yang menerus diatas dan dibawah pelat, dan (3) elemen struktur yang menyediakan transfer momen antara komponen struktur horisontal dan vertikal.

TATA CARA

15.7.2.6 — Bila pelat-balok dianalisis secara terpisah, dalam menentukan momen pada suatu tumpuan, dapat dianggap bahwa tumpuan jauh pada dua bentang berikutnya adalah terjepit selama pelat-balok adalah menerus melewati tumpuan jepit tersebut.

15.7.3 — Pelat-balok

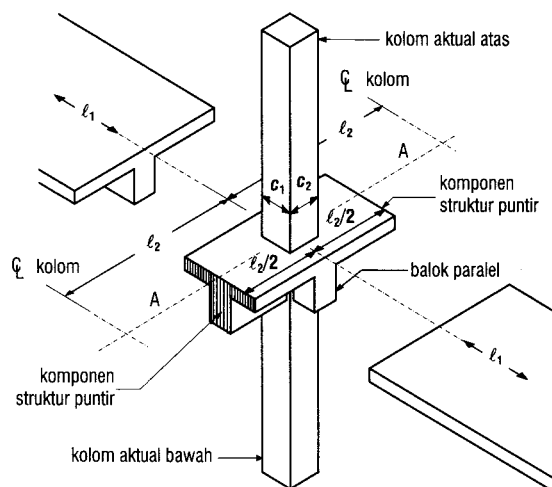
15.7.3.1 — Momen inersia pelat-balok pada sebarang penampang diluar hubungan balok-kolom atau kepala kolom, dapat didasarkan pada penampang bruto beton.

15.7.3.2 — Variasi pada momen inersia sepanjang sumbu pelat-balok harus diperhitungkan.

15.7.3.3 — Momen inersia pelat-balok dari sumbu kolom hingga muka kolom, konsol pendek, atau kepala kolom harus dianggap sama dengan momen inersia pelat-balok pada muka kolom, konsol pendek atau kepala kolom, dibagi dengan besaran $(1 - c_2/\ell_2)^2$ dimana c_2 dan ℓ_2 diukur dalam arah transversal terhadap arah bentang yang sedang ditinjau.

15.7.4 — Kolom

15.7.4.1 — Momen inersia kolom pada sebarang penampang di luar sambungan balok-kolom atau kepala kolom dapat didasarkan pada penampang bruto beton (Gambar 32).



Gambar 32—Kolom ekuivalen

15.7.4.2 — Variasi dari momen inersia sepanjang sumbu kolom harus diperhitungkan.

15.7.4.3 — Momen inersia kolom dari tepi atas hingga tepi bawah pelat-balok pada suatu sambungan balok-kolom harus dianggap tak-hingga.

PENJELASAN

S15.7.3 — Pelat-balok

S15.7.3.3 — Pendukung didefinisikan sebagai kolom, kepala-kolom, konsol pendek, atau dinding. Balok tidak dianggap sebagai komponen struktur pendukung untuk rangka ekuivalen.

S15.7.4 — Kolom

Kekakuan kolom didasarkan pada panjang kolom dari ketinggian-tengah pelat diatas sampai ketinggian -tengah pelat dibawah. Momen inersia kolom dihitung dengan dasar irisan penampangnya, dengan memperhitungkan peningkatan dalam kekakuan yang disediakan oleh kepala kolom, jika ada.

Bila pelat-balok dianalisis secara terpisah untuk beban gravitasi, konsep kolom ekuivalen digunakan, yang mengkombinasikan kekakuan pelat-balok dan komponen struktur puntir menjadi elemen komposit. Fleksibilitas kolom dimodifikasi untuk memperhitungkan fleksibilitas puntir hubungan pelat-ke-kolom yang mereduksi efisiensinya untuk transmisi momen. Kolom ekuivalen terdiri dari kolom aktual diatas dan dibawah pelat-balok, ditambah komponen struktur puntir yang dilekatkan pada setiap sisi kolom yang menerus ke garis-pusat panel yang bersebelahan seperti ditunjukkan dalam Gambar 32.

TATA CARA

15.7.5 — Komponen struktur puntir

15.7.5.1 — Komponen struktur puntir (15.7.2.3) harus dianggap berbentuk prismatic pada seluruh panjang komponen tersebut, yang diambil terbesar dari:

- Bagian dari pelat yang lebarnya sama dengan lebar kolom, konsol pendek, atau kepala kolom, dalam arah bentang yang sedang ditinjau momennya.
- Pada struktur monolit atau komposit penuh, bagian yang ditentukan dalam (a) ditambah dengan bagian balok transversal yang berada di atas dan di bawah pelat.
- Balok transversal sesuai dengan 15.2.4.

15.7.5.2 — Kekakuan K_t dari komponen struktur puntir dihitung dengan persamaan berikut:

$$K_t = \sum \frac{9E_{cp}C}{\ell_2 \left(1 - \frac{c_2}{\ell_2}\right)^3} \quad (93)$$

dimana c_2 dan ℓ_2 diukur pada bentang transversal pada setiap sisi kolom.

15.7.5.3 — Konstanta C pada Persamaan 93 dapat dihitung dengan membagi penampang yang ditinjau menjadi beberapa segmen persegi dan kemudian melakukan penjumlahan berikut:

$$C = \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} \quad (94)$$

15.7.5.4 — Bila terdapat balok yang merangka kepada kolom dalam arah bentang yang sedang ditinjau momennya, harga K_t yang dihitung pada Persamaan 93 harus dikalikan dengan rasio momen inersia pelat dengan balok terhadap momen inersia pelat tanpa balok tersebut.

15.7.6 — Pengaturan beban hidup

15.7.6.1 — Bila pola pembebanan sudah tertentu maka rangka ekuivalen dianalisis terhadap pola beban tersebut.

15.7.6.2 — Bila beban hidup bervariasi tetapi tidak melebihi

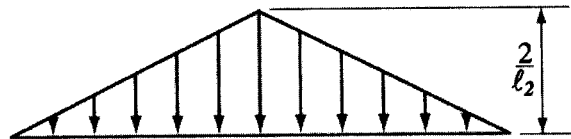
PENJELASAN

S15.7.5 — Komponen struktur puntir

Perhitungan kekakuan komponen struktur torsi memerlukan beberapa asumsi penyederhanaan. Jika tidak ada balok-transversal yang merangka kedalam kolom, bagian pelat yang sama dengan lebar kolom atau kepala kolom diasumsikan sebagai komponen struktur puntir. Jika balok merangka ke dalam kolom, aksi balok-T atau balok-L diasumsikan, dengan flens menerus pada setiap sisi balok dengan suatu jarak yang sama dengan proyeksi balok diatas atau dibawah pelat tetapi tidak lebih besar dari empat kali ketebalan pelat. Lebih jauh, diasumsikan bahwa tidak ada rotasi torsi yang terjadi pada balok menyeluruh lebar pendukung.

Penampang komponen struktur yang digunakan untuk menghitung kekakuan puntir didefinisikan dalam 15.7.5.1. Pers. (93) menspesifikasikan koefisien kekakuan K_t komponen struktur puntir.

Studi-studi analisis tiga-dimensi berbagai konfigurasi pelat menyarankan bahwa nilai kekakuan puntir yang sesuai dapat diperoleh dengan mengasumsikan distribusi momen sepanjang komponen struktur puntir yang bervariasi secara linier dari maksimum di pusat kolom sampai nol di tengah panel. Distribusi momen puntir unit yang diasumsikan sepanjang garis-pusat kolom ditunjukkan dalam Gambar 15.7.5.



Gambar S15.7.5—Distribusi momen puntir unit sepanjang garis-pusat kolom AA ditunjukkan dalam Gambar 32

Perumusan pendekatan untuk kekakuan komponen struktur puntir, didasarkan pada hasil analisis tiga-dimensi berbagai konfigurasi pelat (Referensi 15.10, 15.11, dan 15.12) diberikan dibawah sebagai berikut:

$$K_t = \sum \frac{9E_{cp}C}{\ell_2 \left(1 - \frac{c_2}{\ell_2}\right)^3}$$

dimana perumusan untuk C diberikan dalam 15.7.5.3.

S15.7.6 — Pengaturan beban hidup

Penggunaan hanya tiga-perempat beban hidup terfaktor penuh untuk pola pembebanan momen maksimum berdasarkan pada fakta bahwa momen beban hidup negatif maksimum dan positif maksimum tidak dapat terjadi secara

TATA CARA

tigaperempat beban mati, atau bila kondisi dari beban hidup adalah sedemikian hingga semua panel akan terbebani secara penuh bersama-sama, maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup penuh terfaktor pada seluruh sistem pelat.

15.7.6.3 — Untuk kondisi beban selain dari yang didefinisikan pada 15.7.6.2, momen positif maksimum terfaktor di dekat tengah bentang dari suatu panel terjadi bilamana tiga perempat beban hidup penuh terfaktor diaplikasikan pada panel yang ditinjau dan pada panel-panel lain secara berselang; dan momen negatif maksimum terfaktor pada tumpuan terjadi bilamana tiga perempat beban hidup penuh terfaktor diaplikasikan pada panel-panel di sebelah kiri dan kanan tumpuan yang ditinjau.

15.7.6.4 — Momen terfaktor harus diambil tidak kurang daripada yang didapat berdasarkan kondisi beban hidup penuh terfaktor yang diaplikasikan pada semua panel.

15.7.7 — Momen terfaktor

15.7.7.1 — Pada tumpuan dalam, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor (baik pada lajur kolom maupun lajur tengah) harus diambil pada muka tumpuan rektilinier, tapi tidak lebih jauh daripada $0,175l$ dari sumbu kolom.

15.7.7.2 — Pada tumpuan luar dengan konsol pendek atau kepala kolom, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor pada bentang yang arahnya tegak lurus terhadap sisi tepi panel harus diambil pada suatu jarak yang tidak lebih jauh daripada setengah proyeksi konsol pendek atau kepala kolom dari muka komponen penumpu.

15.7.7.3 — Penentuan lokasi penampang kritis untuk momen rencana negatif pada tumpuan yang berbentuk bundar atau poligon beraturan harus didasarkan pada anggapan bahwa tumpuan tersebut berbentuk bujur sangkar dengan luas yang sama.

15.7.7.4 — Bila sistem pelat yang memenuhi 15.6.1 dianalisis dengan cara rangka ekuivalen maka momen-momen yang dihasilkan dapat direduksi sedemikian hingga jumlah absolut momen positif dan momen negatif rata-rata pada suatu bentang tidak lebih besar daripada yang didapat dari Persamaan 91.

15.7.7.5 — Bila ketentuan pada 15.6.1.6 dipenuhi maka momen-momen pada penampang kritis dari setiap rangka ekuivalen dapat didistribusikan kepada lajur kolom, balok, dan lajur tengah, seperti yang diatur pada 15.6.4, 15.6.5, dan

PENJELASAN

serentak dan bahwa redistribusi momen maksimum dengan demikian mungkin terjadi sebelum kegagalan. Prosedur ini, kenyataannya, mengijinkan sedikit tegangan-berlebihan lokal dibawah beban hidup terfaktor penuh jika didistribusikan dalam cara yang diatur sebelumnya, tetapi tetap memastikan bahwa kapasitas ultimat sistem pelat setelah redistribusi momen masih tidak kurang dari yang disyaratkan untuk memikul beban mati dan hidup penuh terfaktor pada semua panel.

S15.7.7 — Momen terfaktor

S15.7.7.1–S15.7.7.3 — Pasal tata cara ini menyesuaikan momen terfaktor negatif ke muka pendukung. Penyesuaian tersebut dimodifikasi di pendukung eksterior untuk membatasi reduksi pada momen negatif eksterior. Gambar 29 mengilustrasikan beberapa pendukung persegi ekuivalen untuk penggunaan dalam membentuk muka pendukung untuk perencanaan dengan pendukung non-persegi.

S15.7.7.4 — *ACI Code* terdahulu telah mengandung sub-pasal ini. Ini mendasarkan pada prinsip bahwa jika dua metoda yang berbeda ditetapkan untuk mendapatkan jawaban tertentu, tata cara tidak harus mensyaratkan harga yang lebih besar dari nilai paling sedikit yang dapat diterima. Akibat pengalaman memuaskan yang panjang dengan perencanaan yang mempunyai momen statik yang tidak melebihi yang diberikan oleh Pers. (91), dipandang nilai-nilai ini memuaskan untuk desain bila batasan-batasan yang sesuai dipenuhi.

PASAL 16 — DINDING

TATA CARA

16.1 — Lingkup

16.1.1 — Ketentuan dalam Pasal 16 ini berlaku untuk merencanakan dinding terhadap beban aksial, dengan atau tanpa lentur.

16.1.2 — Dinding kantilever penahan tanah harus direncanakan menurut ketentuan perencanaan lentur Pasal 12 dengan tulangan horisontal minimum sesuai dengan 16.3.3.

16.2 — Umum

16.2.1 — Dinding harus direncanakan terhadap beban eksentris dan setiap beban lateral atau beban lain yang bekerja padanya.

16.2.2 — Dinding yang memikul beban aksial harus direncanakan menurut 16.2, 16.3, dan salah satu dari 16.4, 16.5, atau 16.8.

16.2.3 — Perencanaan untuk geser harus dilakukan sesuai dengan 13.10.

16.2.4 — Kecuali bila ditunjukkan dengan suatu analisis yang rinci, maka panjang horizontal dinding yang dapat dianggap efektif untuk setiap beban terpusat tidak boleh melebihi jarak pusat ke pusat antar beban, ataupun melebihi lebar daerah pembebanan ditambah 4 kali tebal dinding.

16.2.5 — Komponen struktur tekan yang dibuat menyatu dengan dinding harus memenuhi 12.8.2.

16.2.6 — Dinding harus diangkurkan pada komponen-komponen struktur yang berpotongan dengannya misalnya lantai dan atap, atau pada kolom, pilaster, sirip penyangga, dan dinding lain yang bersilangan, dan pada fondasi telapak.

16.2.7 — Jumlah tulangan dan batasan mengenai tebal yang ditentukan dalam 16.3 dan 16.5 boleh diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan analisis struktur bahwa dinding tersebut mempunyai kekuatan dan stabilitas yang cukup.

16.2.8 — Penyaluran gaya ke fondasi telapak pada bagian dasar dinding harus sesuai dengan ketentuan 17.8.

16.3 — Tulangan minimum

16.3.1 — Tulangan minimum vertikal dan horizontal harus sesuai dengan 16.3.2 dan 16.3.3 kecuali bila dibutuhkan jumlah yang lebih besar untuk menahan geser sesuai dengan 13.10.8 dan 13.10.9.

PENJELASAN

S16.1 — Lingkup

Pasal 16 berlaku pada umumnya pada dinding-dinding sebagai komponen pemikul beban yang vertikal. Dinding kantilever penahan tanah harus direncanakan sesuai ketentuan perencanaan lentur (Pasal 10). Dinding yang direncanakan untuk menahan gaya geser, seperti dinding geser, harus dirancang sesuai hal-hal yang berlaku pada Pasal 16 dan 13.10.

S16.2 — Umum

Dinding harus direncanakan untuk menahan semua beban yang bekerja padanya termasuk beban aksial eksentris dan beban lateral. Perencanaan harus dilaksanakan sesuai dengan Pasal 16.4 kecuali bila dinding memenuhi syarat-syarat dari Pasal 16.5.1.

Pada masing-masing kasus, dinding boleh direncanakan dengan menggunakan baik dengan metode perencanaan kekuatan batas dari tata cara ini maupun dengan metode desain alternatif berdasarkan Pasal 24.

S16.3 — Tulangan minimum

Syarat-syarat Pasal 16.3 adalah sama dengan yang ada pada tata cara sebelumnya. Hal ini berlaku untuk dinding-dinding yang direncanakan sesuai Pasal 16.4, 16.5, atau 16.8. Untuk dinding-dinding yang memikul gaya geser

TATA CARA

16.3.2 — Rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton haruslah:

16.3.2.1 — 0,0012 untuk batang ulir yang tidak lebih besar daripada D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan tidak kurang daripada 400 MPa, atau

16.3.2.2 — 0,0015 untuk batang ulir lainnya, atau

16.3.2.3 — 0,0012 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang tidak lebih besar daripada P16 atau D16.

16.3.3 — Rasio minimum untuk luas tulangan horizontal terhadap luas bruto beton haruslah:

16.3.3.1 — 0,0020 untuk batang ulir yang tidak lebih besar daripada D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan tidak kurang daripada 400 MPa, atau

16.3.3.2 — 0,0025 untuk batang ulir lainnya, atau

16.3.3.3 — 0,0020 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang tidak lebih besar daripada P16 atau D16.

16.3.4 — Pada dinding dengan ketebalan lebih besar daripada 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah, harus dipasang dua lapis tulangan di masing-masing arah yang sejajar dengan bidang muka dinding dengan pengaturan sebagai berikut:

16.3.4.1 — Satu lapis tulangan, yang terdiri dari tidak kurang daripada setengah dan tidak lebih daripada dua pertiga jumlah total tulangan yang dibutuhkan pada masing-masing arah, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang daripada 50 mm dan tidak lebih daripada sepertiga ketebalan dinding dari permukaan luar dinding.

16.3.4.2 — Lapisan lainnya, yang terdiri dari sisa tulangan dalam arah tersebut di atas, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang dari 20 mm dan tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan dalam dinding.

16.3.5 — Jarak antara tulangan-tulangan vertikal dan antara tulangan-tulangan horizontal tidak boleh lebih besar daripada tiga kali ketebalan dinding dan tidak pula lebih besar daripada 500 mm.

16.3.6 — Tulangan vertikal tidak perlu diberi tulangan pengikat lateral bila luas tulangan vertikal tidak lebih besar daripada 0,01 kali luas bruto penampang beton, atau bila tulangan vertikal tidak dibutuhkan sebagai tulangan tekan.

16.3.7 — Di samping adanya ketentuan mengenai tulangan minimum yang ditentukan dalam 16.3.1, di sekeliling semua bukaan jendela dan pintu harus dipasang minimal dua tulangan D16. Batang tulangan ini harus lebih panjang dari sisi-sisi

PENJELASAN

horizontal di bidangnya, penulangan yang direncanakan sesuai Pasal 13.10.9.2 dan 13.10.9.4 dapat melampaui persyaratan tulangan minimum berdasarkan Pasal 16.3.

TATA CARA

bukaan. Terhadap sudut-sudut bukaan, batang tulangan harus diperpanjang sejauh jarak yang diperlukan untuk mengembangkan kemampuannya tetapi tidak kurang dari 600 mm.

16.4 — Dinding yang direncanakan sebagai komponen struktur tekan

Kecuali sebagaimana yang ditentukan pada 16.5, dinding yang diberi beban aksial atau kombinasi lentur dan beban aksial harus direncanakan sebagai komponen struktur tekan sesuai dengan ketentuan 12.2, 12.3, 12.10, 12.11, 12.12, 12.13, 12.14, 12.17, dan 16.2 serta 16.3.

16.5 — Metode perencanaan empiris

16.5.1 — Dinding dengan penampang persegi empat yang masif boleh direncanakan berdasarkan ketentuan 16.5 bila resultan seluruh beban terfaktor terletak di dalam daerah sepertiga tengah ketebalan dinding total dan semua batasan yang tercantum pada 16.2, 16.3 dan 16.5 dipenuhi.

16.5.2 — Kuat aksial rencana ϕP_{nw} sebuah dinding yang memenuhi batasan 16.5.1 harus dihitung dengan Persamaan 95 kecuali bila direncanakan berdasarkan ketentuan 16.4;

$$\phi P_{nw} = 0,55 \phi f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{k \ell_c}{32 h} \right)^2 \right] \quad (95)$$

dimana $\phi = 0,70$ dan faktor panjang efektif k adalah:

Untuk dinding yang ditahan pada bagian puncak dan dasarnya terhadap translasi lateral dan

16.5.2.1 — dikembang terhadap rotasi pada salah satu atau kedua ujungnya (puncak dan/atau dasar) 0,8

16.5.2.2 — bebas berotasi pada kedua ujung 1,0

Untuk dinding yang tidak ditahan terhadap translasi lateral ... 2,0

PENJELASAN

S16.5 — Metode perencanaan empiris

Metode perencanaan empiris hanya berlaku pada penampang persegi panjang yang solid. Semua bentuk lain harus direncanakan sesuai Pasal 16.4.

Beban-beban eksentris dan beban-beban lateral dipakai untuk menentukan eksentrisitas total beban aksial terfaktor P_u . Bila resultan beban untuk semua kombinasi beban yang bekerja jatuh dalam daerah sepertiga tengah tebal dinding (yaitu eksentrisitas beban tidak lebih dari $h/6$ dari pusat penampang) pada semua penampang di sepanjang dinding yang belum berdeformasi, maka metode perencanaan empiris boleh dipakai. Perencanaan lalu dilaksanakan dengan menganggap P_u sebagai beban konsentris. Beban aksial terfaktor P_u harus lebih kecil daripada atau sama dengan kuat aksial rencana ϕP_{nw} yang dihitung dengan Pers. (95), yaitu $P_u \leq \phi P_{nw}$.

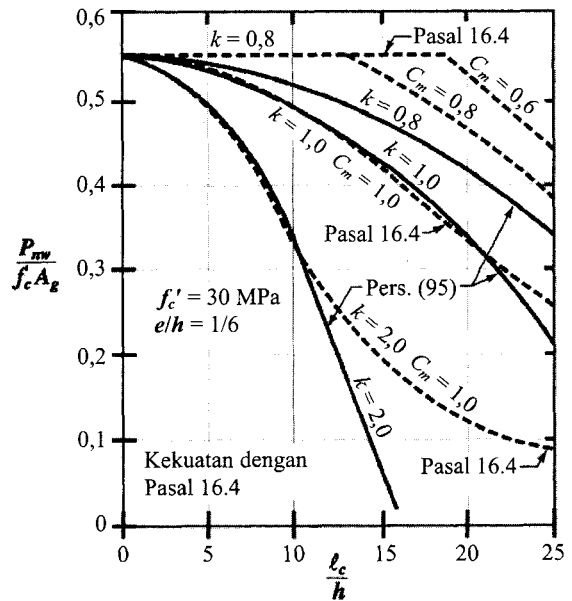
Pers. (95) telah direvisi untuk mencerminkan berbagai kondisi kekangan ujung yang mungkin ditemui dalam perencanaan-perencanaan dinding. Persamaan kuat dinding berdasarkan tata cara yang lalu diturunkan atas dasar asumsi bahwa dinding terjepit di ujung-ujung atas dan bawahnya terhadap pergerakan lateral, dan dengan momen menahan pada satu ujung yang sepadan dengan faktor panjang efektif antara 0,8 dan 0,9. Nilai kuat aksial yang ditentukan dari persamaan yang lalu ternyata bersifat tidak konservatif bila dibanding dengan hasil uji^{16.1} untuk dinding-dinding dengan kondisi sendi di kedua ujungnya, seperti yang terjadi pada beberapa aplikasi pracetak dan tilt up, atau apabila ujung atas dinding tidak ditahan terhadap goyangan, seperti yang terjadi pada dinding yang berdiri bebas atau pada struktur besar dimana terjadi defleksi diafragma atap yang signifikan akibat beban angin atau beban gempa. Pers. (95) memberikan hasil sama seperti persamaan yang lalu untuk dinding-dinding yang ditahan terhadap translasi dan ujung dasarnya ditahan terhadap rotasi.^{16.2} Nilai-nilai faktor panjang vertikal efektif k diberikan untuk kondisi ujung dinding yang umum dijumpai. Kondisi ujung "ditahan terhadap rotasi" yang disyaratkan faktor k sebesar 0,8 memberi implikasi adanya

TATA CARA

PENJELASAN

penyatuan terhadap komponen struktur yang memiliki kekakuan lentur EI/l minimum sebesar yang dimiliki dinding yang bersangkutan.

Suku kelangsingan pada Pers. (95) menghasilkan kekuatan yang relatif sepadan baik oleh Pasal 16.3 atau 16.4 untuk komponen struktur yang dibebani di sepertiga tengah tebal dengan berbagai kondisi kekangan ujung. Lihat Gambar S16.5.



Gambar S16.5—Desain empiris dinding, Pers. (95) versus 16.4

16.5.3 — Ketebalan minimum dinding yang direncanakan dengan metode empiris

16.5.3.1 — Ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang daripada 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak pula kurang daripada 100 mm.

16.5.3.2 — Ketebalan dinding luar ruang bawah tanah dan dinding fondasi tidak boleh kurang daripada 190 mm.

16.6 — Dinding non-pendukung

Tebal dinding non-pendukung tidak boleh kurang daripada 100 mm, dan tidak pula kurang daripada 1/30 jarak terpendek antara komponen-komponen struktur yang memberikan topangan lateral.

S16.5.3 — Ketebalan minimum dinding yang direncanakan dengan metode empiris.

Persyaratan ketebalan minimum dinding tidak perlu diberlakukan pada dinding yang direncanakan sesuai Pasal 16.4.

TATA CARA

16.7 — Fungsi dinding sebagai balok

16.7.1 — Dinding yang direncanakan sebagai balok di dalam tanah harus mempunyai tulangan atas dan bawah secukupnya untuk menahan momen sesuai dengan ketentuan 12.2 hingga 12.7. Perencanaan untuk geser harus sesuai dengan ketentuan pada Pasal 13.

16.7.2 — Bagian dinding balok tanah yang menonjol di atas tanah juga harus memenuhi ketentuan 16.3.

16.8 — Perencanaan alternatif untuk dinding langsing

16.8.1 — Bilamana tarik lentur menentukan perencanaan suatu dinding, maka persyaratan 16.8 harus diperhatikan untuk memenuhi 12.10.

16.8.2 — Dinding yang direncanakan berdasarkan 16.8 harus memenuhi 16.8.2.1 hingga 16.8.2.6.

16.8.2.1 — Panel dinding harus direncanakan sebagai komponen struktur tekan yang ditumpu sederhana, yang diberi beban lateral merata ke luar bidang, dengan momen dan lendutan maksimum terjadi di tengah bentang.

16.8.2.2 — Penampang melintang adalah tetap di sepanjang tinggi panel.

16.8.2.3 — Rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi $0,6\rho_b$.

16.8.2.4 — Tulangan harus direncanakan agar

$$\phi M_n \geq M_{cr} \quad (96)$$

dimana M_{cr} diperoleh dengan menggunakan modulus retak yang diberikan oleh Persamaan 14.

16.8.2.5 — Beban gravitasi terpusat yang diaplikasikan pada dinding di atas penampang lentur rencana harus dianggap terdistribusi sejauh suatu lebar yang:

(a) sama dengan lebar penumpu beban, ditambah dengan lebar pada masing-masing sisi yang membesar dengan kemiringan 2:1 sampai ke penampang rencana; tetapi,

(b) tidak lebih besar dari spasi beban terpusat, dan

(c) tidak keluar dari tepi-tepi panel dinding.

16.8.2.6 — Tegangan vertikal P_u/A_g pada penampang disetengah tinggi tidak boleh melebihi $0,06f'_c$.

16.8.3 — Kuat momen rencana ϕM_n untuk kombinasi beban-

PENJELASAN

S16.8 — Perencanaan alternatif untuk dinding langsing

Pasal 16.8 didasarkan pada persyaratan sesuai *Uniform Building Code (UBC)* dan kajian eksperimen.^{16.3}

Prosedur ini disajikan sebagai alternatif terhadap persyaratan Pasal 12.10 untuk perencanaan panel dinding pracetak terhadap aksi keluar bidang, dimana panel-panel dikekang terhadap guling di ujung atas.

Prosedur ini, sebagaimana dijelaskan dalam *UBC*, telah dikonversi dari perencanaan tegangan kerja ke perencanaan beban terfaktor.

Panel-panel yang memiliki banyak jendela atau lubang-lubang besar lainnya tidak dianggap memiliki penampang yang tetap di sepanjang tinggi panel. Dinding-dinding semacam itu harus direncanakan dengan memperhitungkan pengaruh lubang-lubang tersebut.

Banyak aspek perencanaan dinding-dinding dan bangunan-bangunan yang diangkat (*tilt-up*) dibahas dalam Referensi 16.4 dan 16.5.

TATA CARA

PENJELASAN

beban lentur dan aksial pada penampang melintang setengah tinggi harus memenuhi:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (97)$$

dimana:

$$M_u = M_{ua} + P_u \Delta_u \quad (98)$$

M_{ua} adalah momen pada penampang setengah tinggi dinding akibat beban terfaktor, dan Δ_u adalah:

$$\Delta_u = \frac{5M_u \ell_c^2}{(0,75) 48E_c I_{cr}} \quad (99)$$

M_u dapat diperoleh melalui iterasi lendutan, atau melalui perhitungan langsung menggunakan Persamaan 100.

$$M_u = \frac{M_{ua}}{1 - \frac{5P_u \ell_c^2}{(0,75) 48E_c I_{cr}}} \quad (100)$$

dimana:

$$I_{cr} = nA_{se}(d-c)^2 + \frac{\ell_w c^3}{3} \quad (101)$$

dan

$$A_{se} = \frac{P_u + A_s f_y}{f_y} \quad (102)$$

16.8.4 — Lendutan maksimum Δ_s akibat beban layan, termasuk pengaruh $P\Delta$, tidak melebihi $\ell_c/150$. Defleksi setengah tinggi Δ_s harus dihitung dengan persamaan-persamaan berikut:

$$\Delta_s = \frac{(5M) \ell_c^2}{48E_c I_e} \quad (103)$$

$$M = \frac{M_{sa}}{1 - \frac{5P_s \ell_c^2}{48E_c I_e}} \quad (104)$$

I_e harus dihitung menggunakan tata cara pada 11.5.2.3 dengan mengganti M untuk M_s . I_{cr} harus dievaluasi menggunakan Persamaan 101.

PASAL 17 — FONDASI TELAPAK

TATA CARA

17.1 — Lingkup

17.1.1 — Ketentuan dalam Pasal 17 berlaku untuk merencanakan fondasi telapak setempat dan bila sesuai, juga berlaku untuk kombinasi fondasi telapak dan fondasi pelat penuh.

17.1.2 — Ketentuan tambahan untuk perencanaan kombinasi fondasi telapak dan fondasi pelat penuh diberikan dalam 17.10.

17.2 — Beban dan reaksi

17.2.1 — Fondasi telapak harus dirancang untuk menahan beban terfaktor dan reaksi tanah yang diakibatkannya, sesuai dengan ketentuan perencanaan yang berlaku dalam tata cara ini dan seperti yang tercantum dalam Pasal 17.

17.2.2 — Luas bidang dasar fondasi telapak atau jumlah dan penempatan tiang pancang harus ditetapkan berdasarkan gaya dan momen tidak terfaktor yang disalurkan oleh fondasi pada tanah atau tiang pancang dan berdasarkan tekanan tanah izin atau kapasitas tiang izin yang ditentukan berdasarkan prinsip mekanika tanah.

17.2.3 — Untuk fondasi telapak di atas tiang pancang, perhitungan momen dan geser boleh didasarkan pada anggapan bahwa reaksi dari setiap tiang pancang adalah terpusat di titik pusat tiang.

PENJELASAN

S17.1 — Lingkup

Sementara ketentuan Pasal 17 ini berlaku untuk fondasi telapak yang memikul kolom atau dinding tunggal, sebagian besar ketentuan ini pada umumnya juga berlaku untuk kombinasi fondasi telapak dan pelat yang memikul beberapa kolom atau dinding atau kombinasi daripadanya.^{17.1,17.2}

S17.2 — Beban dan reaksi

Fondasi telapak dibutuhkan untuk menahan beban terfaktor yang bekerja dan reaksi-reaksi yang timbul termasuk beban aksial, momen, dan geser yang harus ditahan di dasar fondasi telapak atau kepala tiang.

Setelah tekanan tanah ijin atau kapasitas tiang izin ditentukan dengan prinsip-prinsip mekanika tanah dan sesuai dengan peraturan bangunan umum, ukuran bidang dasar fondasi telapak di atas tanah atau jumlah dan pengaturan tiang-tiang harus ditentukan berdasarkan beban kerja (tidak terfaktor) seperti D , L , W , dan E dalam kombinasi apa saja yang menentukan desain.

Hanya momen-momen ujung hasil perhitungan yang terdapat di dasar kolom (atau kolom pendek) perlu ditransfer ke fondasi telapak; syarat momen minimum untuk pertimbangan kelangsingan yang ditentukan di Pasal 12.12.3.2 tidak perlu diperhitungkan untuk transfer gaya-gaya dan momen-momen ke fondasi telapak.

Dalam kasus-kasus dimana beban eksentris atau momen harus dipertimbangkan, tegangan tanah terbesar atau reaksi tiang terbesar yang diperoleh dari pembebanan tersebut harus berada dalam batas-batas nilai yang diizinkan. Begitupun halnya, reaksi resultante akibat beban kerja dikombinasikan dengan momen gaya geser, atau keduanya, yang disebabkan oleh beban angin atau gempa tidak boleh melebihi nilai yang diizinkan untuk kondisi beban sementara (lihat Peraturan Pembebanan terkait).

Untuk perancangan kekuatan fondasi telapak atau poer, tegangan tanah atau reaksi tiang akibat beban terfaktor yang bekerja (lihat Pasal 10.1.1) harus ditentukan. Untuk fondasi telapak yang terkena beban konsentris tunggal, reaksi tanah q_s akibat beban terfaktor adalah $q_s = U/A_f$ dimana U adalah beban konsentrik yang ditahan oleh fondasi telapak, dan A_f adalah luas dasar fondasi telapak sebagaimana ditentukan oleh prinsip-prinsip yang tersebut di Pasal 17.2.2 yang memakai beban-beban tidak terfaktor dan tekanan tanah diizinkan.

TATA CARA

17.3 — Fondasi telapak yang mendukung kolom atau *pedestal* yang berbentuk lingkaran atau segi banyak beraturan

Kolom atau *pedestal* beton yang berbentuk lingkaran atau segi banyak beraturan boleh diperlakukan sebagai penampang bujur sangkar dengan luas yang sama, yang digunakan untuk menentukan letak penampang kritis bagi momen, geser dan penyaluran tulangan di dalam fondasi telapak.

17.4 — Momen pada fondasi telapak

17.4.1 — Momen luar di setiap irisan penampang fondasi telapak harus ditentukan dengan membuat potongan bidang vertikal pada fondasi tersebut, dan menghitung momen dari semua gaya yang bekerja, pada satu sisi dari bidang fondasi telapak yang dipotong oleh bidang vertikal tersebut.

17.4.2 — Momen terfaktor maksimum untuk sebuah fondasi telapak setempat, harus dihitung berdasarkan 17.4.1 pada penampang kritis yang terletak di:

17.4.2.1 — Muka kolom, *pedestal*, atau dinding, untuk fondasi telapak yang mendukung kolom, *pedestal* atau dinding beton;

17.4.2.2 — Setengah dari jarak yang diukur dari bagian tengah ke tepi dinding, untuk fondasi telapak yang mendukung dinding pasangan;

17.4.2.3 — Setengah dari jarak yang diukur dari muka kolom ke tepi pelat alas baja, untuk fondasi yang mendukung kolom yang menggunakan pelat dasar baja.

17.4.3 — Pada fondasi telapak satu arah, dan fondasi telapak

PENJELASAN

q , adalah reaksi yang dihitung untuk beban terfaktor yang dipakai untuk menghasilkan kondisi kuat perlu yang sama terkait dengan lentur, geser, dan panjang penyaluran tulangan dalam fondasi telapak atau poer, sebagaimana berlaku pada komponen struktur lain.

Dalam kasus pembebanan eksentris, faktor beban dapat menimbulkan eksentrisitas dan reaksi-reaksi yang berlainan dari yang diperoleh berdasarkan beban tidak terfaktor. Bila metode perencanaan Pasal 25 digunakan untuk perencanaan fondasi telapak tegangan tanah atau reaksi tiang adalah yang disebabkan oleh beban kerja (tanpa faktor beban). Tegangan ijin tanah atau reaksi tiang diijinkan disamakan langsung dengan tegangan atau reaksi beban layan yang bekerja untuk menentukan luas dasar fondasi telapak atau jumlah dan pengaturan tiang-tiang. Bila beban-beban lateral akibat angin atau gempa dimasukkan dalam kombinasi beban yang menentukan untuk fondasi telapak, maka kuat perlu dapat direduksi 25% sesuai Pasal 25.2.2.

S17.4 — Momen pada fondasi telapak

TATA CARA

bujur sangkar dua arah, tulangan harus tersebar merata pada seluruh lebar fondasi telapak.

17.4.4 — Pada fondasi telapak persegi panjang dua arah, tulangan harus dipasang sebagai berikut:

17.4.4.1 — Tulangan dalam arah panjang harus tersebar merata pada seluruh lebar fondasi telapak;

17.4.4.2 — Untuk tulangan dalam arah pendek, sebagian dari tulangan total yang diberikan dalam Persamaan 105 harus tersebar merata dalam suatu jalur (yang berpusat di sumbu kolom atau *pedestal*) yang lebarnya sama dengan panjang dari sisi pendek fondasi telapak. Sisa tulangan yang dibutuhkan dalam arah pendek harus disebar merata di luar lebar jalur pusat tersebut di atas.

$$\frac{\text{Tulangan pada jalur}}{\text{Tulangan total dalam arah pendek}} = \frac{2}{\beta + 1} \quad (105)$$

17.5 — Geser pada fondasi telapak

17.5.1 — Kuat geser fondasi telapak harus sesuai dengan persyaratan 13.12.

17.5.2 — Lokasi penampang kritis untuk geser sebagaimana ditetapkan dalam Pasal 13 harus diukur dari muka kolom, *pedestal*, atau dinding, untuk fondasi telapak yang mendukung kolom, *pedestal*, atau dinding. Untuk fondasi telapak yang mendukung kolom atau *pedestal* yang menggunakan pelat dasar baja, penampang kritisnya harus diukur dari lokasi yang didefinisikan dalam 17.4.2.3.

PENJELASAN

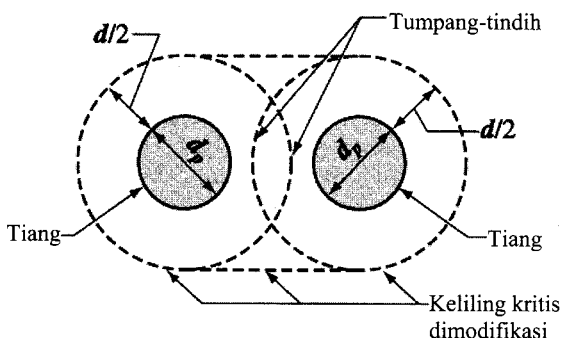
S17.4.4 — Pada tata cara sebelumnya, penulangan arah pendek pada fondasi telapak persegi panjang harus didistribusi sehingga luas tulangan yang ditentukan oleh Pers. (105) terpasang pada suatu jalur yang lebarnya sama dengan panjang sisi pendek dari fondasi telapak. Jalur tersebut berpusat pada garis tengah kolom.

Sisa penulangan arah pendek yang disyaratkan hendaknya didistribusikan secara merata di dua segmen di luar lebar jalur tersebut, setengah untuk tiap segmen.

S17.5 — Geser pada fondasi telapak

S17.5.1 dan S17.5.2 — Kuat geser fondasi telapak ditentukan berdasarkan kondisi yang lebih parah dari 13.12.1.1 atau 13.12.1.2. Penampang kritis geser diukur dari muka perletakan komponen struktur (kolom, *pedestal*, atau dinding), kecuali untuk komponen struktur yang ditumpu di atas pelat dasar baja.

Perhitungan geser mensyaratkan bahwa reaksi tanah q_s diperoleh dari beban terfaktor dan perencanaan dilakukan dengan persamaan-persamaan yang sesuai pada Pasal 13.



Gambar S17.5—Keliling kritis dimodifikasi untuk geser dengan keliling kritis tumpang-tindih

Bila perlu, geser di sekeliling tiang-tiang tunggal dapat diperiksa sesuai dengan Pasal 13.12.1.2. Bila batas keliling geser saling tindih, maka batas keliling kritis yang dimodifikasi b_o harus diambil sebagai porsi dari envelope yang paling kecil dari batas keliling geser tunggal yang akan secara aktual menahan geser kritis untuk kelompok

TATA CARA

17.5.3 — Perhitungan geser pada sebarang potongan yang melalui fondasi telapak yang didukung di atas tiang pancang harus didasarkan pada ketentuan berikut:

17.5.3.1 — Seluruh reaksi dari sebarang tiang pancang yang sumbuanya berada pada jarak $d_p/2$ atau lebih di sebelah luar penampang yang ditinjau harus dianggap memberikan geser pada penampang tersebut.

17.5.3.2 — Reaksi dari sebarang tiang pancang yang sumbuanya berada pada jarak $d_p/2$ atau lebih di sebelah dalam penampang yang ditinjau harus dianggap tidak menimbulkan geser pada penampang tersebut.

17.5.3.3 — Untuk sumbu tiang pancang yang berada di antaranya, bagian dari reaksi tiang pancang yang dapat dianggap menimbulkan geser pada penampang yang ditinjau harus berdasarkan pada interpolasi garis lurus antara nilai pada $d_p/2$ di sebelah luar penampang dan nilai nol pada $d_p/2$ di sebelah dalam penampang.

17.6 — Penyaluran tulangan dalam fondasi telapak

17.6.1 — Penyaluran tulangan dalam fondasi telapak harus sesuai dengan ketentuan Pasal 14.

17.6.2 — Gaya tarik atau tekan pada tulangan di masing-masing penampang harus disalurkan pada setiap sisi penampang melalui metode panjang penyaluran, bengkokan/kait (hanya untuk tarik) atau alat sambung mekanis, atau kombinasi dari beberapa kemungkinan tersebut.

17.6.3 — Penampang kritis untuk penyaluran tulangan harus berada pada lokasi yang didefinisikan pada 17.4.2 untuk momen terfaktor maksimum, dan pada semua bidang vertikal di mana terjadi perubahan penampang atau penulangan. Lihat 14.10.6.

17.7 — Tebal minimum fondasi telapak

Ketebalan fondasi telapak di atas lapisan tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk fondasi telapak di atas tanah; ataupun tidak kurang dari 300 mm untuk fondasi telapak di atas pancang.

17.8 — Penyaluran gaya-gaya pada dasar kolom, dinding, atau *pedestal* bertulang

17.8.1 — Gaya-gaya dan momen-momen pada dasar kolom,

PENJELASAN

tiang yang ditinjau. Salah satu situasi yang dimaksud digambarkan pada Gambar S17.5.

S17.5.3 — Bila tiang terletak dalam daerah yang dibatasi oleh irisan kritis yang berjarak d atau $d/2$ dari muka kolom, masing-masing untuk geser satu-arah atau dua-arah, batas atas kuat geser pada suatu irisan dekat muka kolom harus dipertimbangkan. *CRSI Handbook*^{17.3} menyediakan pedoman untuk situasi ini.

S17.8 — Penyaluran gaya-gaya pada dasar kolom, dinding, atau *pedestal* bertulang

Pasal 17.8 menyediakan syarat-syarat khusus untuk

TATA CARA

dinding, atau *pedestal* harus disalurkan ke *pedestal* atau fondasi telapak pendukung dengan cara tumpu pada beton dan dengan tulangan, pasak, dan alat sambung mekanis.

17.8.1.1 — Tegangan tumpu pada beton di bidang kontak antara komponen struktural yang didukung dan yang mendukung tidak boleh melampaui kuat tumpu masing-masing permukaan sebagaimana ditetapkan dalam 12.17.

17.8.1.2 — Tulangan, pasak, atau alat sambung mekanis antara komponen struktur yang didukung dan yang mendukung harus cukup kuat untuk menyalurkan:

- (a) Semua gaya tekan yang melampaui kuat tumpu beton dari masing-masing komponen struktur tersebut.
- (b) Semua gaya tarik yang dihitung, yang melalui bidang kontak.

Sebagai tambahan, tulangan, pasak atau alat sambung mekanis harus memenuhi 17.8.2 atau 17.8.3.

17.8.1.3 — Bila momen-momen yang dihitung disalurkan ke *pedestal* atau fondasi telapak penumpu, maka tulangan, pasak, atau alat sambung mekanis harus memenuhi ketentuan 14.17.

PENJELASAN

penyaluran gaya dari kolom, dinding, atau pedestal (komponen struktur yang didukung) ke *pedestal* atau pondasi telapak (komponen yang mendukung). Penyaluran gaya harus melalui tumpuan pada beton (hanya gaya tekan) dan melalui penulangan (gaya tarik atau tekan). Penulangan boleh terdiri dari perpanjangan batang longitudinal, pasak, baut jangkar, atau sambungan mekanikal yang sesuai.

Persyaratan 17.8.1 berlaku pada konstruksi cor setempat dan konstruksi pracetak. Syarat-syarat tambahan untuk konstruksi cor setempat diberikan di 17.8.2. Pasal 17.8.3 memberikan syarat-syarat tambahan untuk konstruksi pracetak.

S17.8.1.1 — Gaya tekan dapat disalurkan pada pedestal pendukung atau fondasi telapak oleh melalui tumpuan pada beton. Untuk perencanaan kekuatan, tegangan tumpu yang diperbolehkan pada daerah terbebani adalah sama dengan $0,85\phi_c'$ (dimana $\phi = 0,7$), bila daerah yang kena beban sama dengan daerah yang mendukungnya.

Pada kasus umum dimana kolom menumpu pada fondasi telapak yang lebih besar daripada kolom, kuat tumpu harus diperiksa di dasar kolom dan tepi atas fondasi telapak. Kekuatan di bagian bawah kolom harus diperiksa mengingat tulangan kolom di dekat dasar kolom tidak dapat dianggap efektif karena gaya dalam tulangan belum berkembang untuk daerah sejarak tertentu di atas dasar kolom, kecuali bila dipakai pasak-pasak, atau tulangan kolom diteruskan ke dalam fondasi telapak. Tegangan tumpuan kolom biasanya diambil $0,85\phi_c'$ (dengan nilai $\phi = 0,7$, ini menjadi $0,6f_c'$). Kuat landasan diijinkan pada fondasi telapak boleh dinaikkan sesuai Pasal 12.17, dan biasanya akan menjadi dua kali $0,85\phi_c'$. Gaya tekan yang melebihi nilai yang diperoleh oleh penerapan kuat tumpu yang diperbolehkan pada dasar kolom atau pada bagian atas fondasi telapak harus dipikul oleh pasak atau perpanjangan batang memanjang. Untuk metoda perencanaan Pasal 25, tegangan tumpu diizinkan dibatasi sampai 50 persen nilai yang ada pada Pasal 12.17.

S17.8.1.2 — Semua gaya tarik, apakah ditimbulkan oleh gaya angkat (*uplift*), momen, atau cara-cara lain, harus disalurkan ke pedestal pendukung atau fondasi telapak yang seluruhnya oleh penulangan atau sambungan mekanik yang sesuai. Umumnya, sambungan mekanik hanya dipakai pada konstruksi pracetak.

S17.8.1.3 — Bila momen hasil perhitungan disalurkan dari kolom ke fondasi telapak, beton di daerah tekan kolom akan mengalami tegangan hingga $0,85f_c'$ oleh kondisi

TATA CARA

17.8.1.4 — Gaya-gaya lateral harus disalurkan ke *pedestal* dan fondasi telapak penumpu sesuai dengan ketentuan geser-friksi pada 13.7, atau dengan cara lain yang tepat.

17.8.2 — Dalam konstruksi yang dicor setempat, tulangan yang diperlukan untuk memenuhi 17.8.1 harus dipasang dengan cara memperpanjang batang-batang tulangan longitudinal sampai ke *pedestal* atau fondasi telapak penumpu, atau dengan pasak.

17.8.2.1 — Luas tulangan yang melalui bidang kontak dari kolom dan *pedestal* yang dicor setempat tidak boleh kurang dari 0,005 kali luas bruto komponen struktur yang ditumpu.

17.8.2.2 — Luas tulangan yang melalui bidang kontak dari dinding yang dicor setempat, tidak boleh kurang dari tulangan vertikal minimum yang diberikan oleh 16.3.2.

17.8.2.3 — Batang tulangan memanjang D-44 dan D-56 pada fondasi telapak yang berada dalam kondisi tekan saja, dapat disambung-lewatkan dengan pasak untuk memberikan penulangan yang disyaratkan sesuai dengan 17.8.1. Pasak tidak boleh lebih besar dari D-36 dan harus diperpanjang ke komponen yang ditumpu sejarak tidak kurang dari panjang penyaluran batang D-44 atau D-56 atau panjang sambungan pasak, tergantung mana yang paling besar, dan ke fondasi telapak dengan jarak yang tidak kurang dari panjang penyaluran pasak.

17.8.2.4 — Bila pada konstruksi yang dicor setempat

PENJELASAN

beban terfaktor, sebagai hasilnya, semua tulangan pada umumnya harus ditanam ke dalam fondasi telapak.

S17.8.1.4 — Metoda geser friksi yang diberikan di 13.7 dapat dipakai untuk memeriksa penyaluran gaya lateral ke *pedestal* penumpu atau fondasi telapak. Kunci geser (*shear key*) dapat dipakai, asalkan tulangan yang melintasi sambungan memenuhi persyaratan 17.8.2.1, 17.8.3.1, dan persyaratan geser friksi Pasal 13.7. Pada konstruksi pracetak, tahanan terhadap gaya lateral dapat diberikan oleh geser-friksi, kunci geser (*shear keys*), atau perangkat mekanik.

S17.8.2.1 dan S17.8.2.2 — Suatu jumlah tulangan minimum disyaratkan pada bidang kontak antara semua komponen struktur yang ditumpu dan yang menumpu untuk menjamin perilaku daktail. Tata cara ini tidak mensyaratkan semua batang tulangan dalam kolom diteruskan masuk dan dijangkar dalam fondasi telapak. Namun demikian, penulangan dengan luas 0,005 kali luas kolom atau pasak dengan luas yang sama yang disambung secara baik, disyaratkan menerus ke dalam fondasi telapak dengan penjangkaran yang baik. Penulangan ini diperlukan untuk memberi tingkat integritas struktur selama dalam tahap pelaksanaan dan selama masa pakai struktur.

S17.8.2.3 — Sambungan lewatan batang tulangan tekan memanjang D-44 dan no D-56 saja dengan pasak-pasak dari fondasi telapak, secara khusus diijinkan di 17.8.2.3. Batang-batang pasak harus berukuran D-36 atau yang lebih kecil. Panjang sambungan lewatan harus memenuhi yang lebih besar dari dua kriteria berikut: (a) sanggup menyalurkan tegangan pada batang tulangan D-44 dan D-56, dan (b) dapat mengembangkan tegangan secara penuh di pasak-pasak sebagai sambungan.

Ketentuan ini adalah pengecualian pada Pasal 14.14.2.1 yang melarang sambungan lewatan pada batang tulangan D-44 dan D-56. Pengecualian ini dihasilkan dari pengalaman yang sukses selama bertahun-tahun untuk penggunaan sambungan lewatan dari batang tulangan kolom yang besar dengan pasak-pasak fondasi telapak yang berukuran lebih kecil. Alasan untuk melarang penggunaan ukuran pasak yang besar adalah masih diakui adanya masalah panjang penjangkaran dari batang-batang besar, dan mengizinkan pemakaian pasak-pasak dengan ukuran yang lebih kecil. Pengecualian yang sama dibolehkan untuk sambungan lewatan tekan antara batang-batang tulangan dengan ukuran yang berbeda di 14.16.2.

TATA CARA

dipasang suatu sambungan sendi atau pin, maka sambungan tersebut harus memenuhi 17.8.1 dan 17.8.3;

17.8.3 — Dalam konstruksi pracetak, baut jangkar, atau alat sambung mekanis yang sesuai dapat dipasang untuk memenuhi persyaratan 17.8.1:

17.8.3.1 — Sambungan antara kolom atau *pedestal* pracetak dan komponen penumpu harus memenuhi 18.5.1.3(a).

17.8.3.2 — Sambungan antara dinding pracetak dan komponen penumpu harus memenuhi 18.5.1.3(b) dan 18.5.1.3(c).

17.8.3.3 — Baut ankur dan alat sambung mekanis harus direncanakan untuk mencapai kekuatan rencananya sebelum terjadi keruntuhan pengankuran atau keruntuhan beton sekeliling.

17.9 — Fondasi telapak miring atau berundak

17.9.1 — Pada fondasi telapak miring atau berundak, sudut kemiringan atau kedalaman dan lokasi undak harus sedemikian hingga persyaratan perencanaan dipenuhi pada setiap penampang (lihat 14.10.6).

17.9.2 — Pelaksanaan konstruksi fondasi telapak miring atau berundak yang direncanakan sebagai satu kesatuan, harus dapat menjamin agar fondasi tersebut dapat bekerja sebagai satu kesatuan.

17.10 — Kombinasi fondasi telapak dan fondasi pelat penuh

17.10.1 — Fondasi-fondasi telapak yang mendukung lebih dari satu kolom, *pedestal*, atau dinding (kombinasi fondasi telapak atau fondasi pelat penuh) harus dirancang untuk memikul beban terfaktor dan reaksi yang diakibatkannya, berdasarkan persyaratan perencanaan yang sesuai dalam tata cara ini.

PENJELASAN

S17.8.3.1 dan S17.8.3.2 — Untuk kolom-kolom cor setempat, 17.8.2.1 mensyaratkan luas minimum tulangan sebesar $0,005A_g$ di daerah pertemuan kolom dan fondasi telapak untuk memberikan tingkat integritas struktur. Untuk kolom pracetak syarat ini dinyatakan dalam syarat-syarat gaya tarik ekuivalen yang harus disalurkan. Jadi, di daerah pertemuan tersebut, $A_{f_y} = 1,5A_g$ dalam kN [lihat 18.5.1.3(a)]. Syarat kuat tarik minimum untuk sambungan dinding dan fondasi telapak [lihat 18.5.1.3(b)] adalah sedikit lebih kecil daripada yang disyaratkan untuk kolom, karena beban berlebih akan didistribusikan secara lateral dan suatu kemungkinan terjadinya keruntuhan mendadak adalah kecil. Karena nilai kuat tarik di 18.5.1.3 telah dipilih secara sembarang, dipandang tidak perlu untuk memakai faktor reduksi kekuatan ϕ dalam perhitungan-perhitungan ini.

S17.10 — Kombinasi fondasi telapak dan fondasi pelat penuh

S17.10.1 — Suatu anggapan distribusi tekanan tanah atau reaksi tiang dapat dipakai sepanjang konsisten dengan jenis struktur dan sifat-sifat tanah, dan sesuai dengan prinsip-prinsip mekanika tanah yang ada (lihat 17.1). Hal yang sama, sebagaimana diuraikan di 17.2.2 untuk fondasi telapak yang terpisah, luas dasar atau pengaturan tiang dari kombinasi fondasi telapak dan pelat penuh harus ditentukan dengan memakai gaya tak terfaktor, momen, atau keduanya, yang disalurkan oleh fondasi telapak ke tanah, dengan memperhatikan tekanan tanah dan reaksi tiang yang diijinkan.

TATA CARA**PENJELASAN**

Metoda desain dengan menggunakan beban-beban terfaktor dan faktor reduksi kekuatan ϕ dapat dipakai pada kombinasi fondasi telapak atau pelat penuh, tanpa tergantung pada distribusi tegangan tanahnya.

Rekomendasi rinci untuk perencanaan kombinasi fondasi telapak dan pelat penuh dilaporkan oleh *ACI Committee 336*.^{17.1} Lihat juga Referensi 17.2.

17.10.2 — Metode perencanaan langsung pada Pasal 15 tidak boleh digunakan untuk merencanakan kombinasi fondasi telapak dan fondasi pelat penuh.

17.10.3 — Distribusi tekanan tanah di bawah kombinasi fondasi telapak atau fondasi pelat penuh harus konsisten dengan sifat tanah, struktur dan prinsip mekanika tanah yang baku.

PASAL 18 — BETON PRACETAK

TATA CARA

18.1 — Lingkup

Semua persyaratan di dalam tata cara ini yang tidak secara khusus dikecualikan, dan tidak bertentangan dengan Pasal 18, berlaku untuk komponen struktur beton pracetak.

18.2 — Umum

18.2.1 — Perencanaan komponen struktur beton pracetak dan sambungannya harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekangan deformasi mulai dari saat pabrikasi awal, hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan.

18.2.2 — Apabila komponen struktur pracetak dimasukkan ke dalam sistem struktural, maka gaya-gaya dan deformasi yang terjadi di dan dekat sambungan harus diperhitungkan di dalam perencanaan.

18.2.3 — Toleransi untuk komponen struktur pracetak dan elemen penghubungnya harus dicantumkan dalam spesifikasi. Perencanaan komponen pracetak dan sambungan harus memperhitungkan pengaruh toleransi tersebut.

PENJELASAN

S18.1 — Lingkup

S18.1.1 — Definisi beton pracetak dapat dilihat pada Pasal 3.16. Persyaratan desain dan konstruksi untuk komponen struktur beton pracetak berbeda dalam beberapa hal dari komponen struktur beton yang dicor setempat dan perbedaan-perbedaan ini diterangkan dalam pasal ini. Ketentuan-ketentuan untuk beton cor setempat yang berlaku sama untuk beton pracetak tidak diulang di sini. Begitu pula hal-hal terkait dengan beton komposit di Pasal 19 dan dengan beton prategang di Pasal 20 yang berlaku pada beton pracetak tidak akan diterangkan ulang di pasal ini.

Rekomendasi yang lebih rinci perihal beton pracetak diberikan dalam Referensi 18.1 sampai 18.7. Konstruksi beton yang diangkat (*tilt-up*) adalah suatu bentuk beton pracetak (lihat Referensi 18.8).

S18.2 — Umum

S18.2.1 — Tegangan-tegangan yang terjadi pada komponen pracetak selama periode dari pengecoran sampai ke penyambungan akhir dapat lebih besar daripada tegangan-tegangan akibat beban kerja. Prosedur pengangkutan dapat menimbulkan deformasi yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, perhatian harus diberikan pada metode-metode penyimpanan, pengangkutan, dan pemasangan komponen pracetak sehingga kinerja pada beban kerja dan kekuatan akibat beban-beban terfaktor memenuhi persyaratan tata cara ini.

S18.2.2 — Perilaku struktural komponen pracetak bisa berbeda banyak dari komponen beton cor setempat yang serupa. Perencanaan sambungan untuk meminimalkan atau menyalurkan gaya akibat susut, rangkai, perubahan temperatur, deformasi elastis, perbedaan settlement, angin, dan gempa bumi menuntut pertimbangan khusus pada konstruksi pracetak.

S18.2.3 — Desain komponen dan sambungan pracetak sangat peka terhadap toleransi pada dimensi dari individuil komponen individunya dan pada posisinya dalam struktur. Untuk mencegah salah pengertian persyaratan, toleransi yang dipakai dalam desain, harus dirinci dalam dokumen kontrak (spesifikasi teknis). Perencana boleh merinci standar toleransi yang dipakai dalam desain. Selain itu, penyimpangan-penyimpangan terhadap standar yang sudah disetujui perlu dirinci dalam spesifikasi.

Toleransi yang ditentukan pada Pasal 9.5 dianggap sebagai standar minimal yang dapat diterima untuk penulangan beton pracetak. Perencana harus merujuk pada publikasi

TATA CARA

18.2.4 — Hal-hal berikut harus ada di dalam dokumen kontrak atau gambar kerja struktur beton pracetak.

18.2.4.1 — Detail penulangan, sisipan, dan alat-alat bantu pengangkatan yang diperlukan untuk menahan beban-beban sementara yang timbul selama proses penanganan, penyimpanan, pengangkutan, dan ereksi.

18.2.4.2 — Kuat beton perlu pada umur yang ditetapkan, atau pada tahapan-tahapan konstruksi.

18.3 — Distribusi gaya-gaya pada komponen-komponen struktur

18.3.1 — Distribusi gaya-gaya yang tegak lurus bidang komponen struktur harus ditetapkan dengan analisis atau dengan pengujian.

18.3.2 — Apabila perilaku sistem membutuhkan gaya-gaya sebidang yang disalurkan antara komponen-komponen struktur pada sistem dinding atau lantai pracetak, maka ketentuan berikut berlaku:

- (a) Lintasan gaya bidang harus menerus melalui sambungan-sambungan dan komponen-komponen struktur.
- (b) Lintasan menerus dari baja atau tulangan baja harus disediakan di daerah dimana terjadi gaya tarik.

PENJELASAN

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) (Referensi 18.9, 18.10, 18.11) sebagai pedoman produk standar industri yang sudah mapan dan toleransi pemasangan. Pedoman tambahan diberikan pada Referensi 18.12.

S18.2.4 — Persyaratan tambahan dapat dimasukkan baik dalam dokumen kontrak atau gambar kerja, tergantung pada penugasan pertanggung jawaban untuk desain.

S18.3 — Distribusi gaya-gaya pada komponen-komponen struktur

S18.3.1 — Beban terpusat dan garis dapat didistribusikan pada komponen-komponen struktur asalkan komponen tersebut memiliki kekakuan torsi yang memadai dan gaya geser dapat disalurkan melalui sambungan. Komponen-komponen yang memiliki kekakuan puntir yang tinggi seperti pelat berongga atau pelat pejal mempunyai sifat penyaluran beban yang lebih baik daripada komponen-komponen yang fleksibel dalam puntir seperti balok-T ganda dengan sayap/flens tipis. Distribusi beban yang sesungguhnya adalah tergantung pada banyak faktor yang didiskusikan secara rinci di Referensi 18.13 sampai 18.19. Lubang/bukaan besar dapat menimbulkan perubahan yang berarti dalam distribusi gaya.

S18.3.2 — Gaya-gaya bidang terutama hasil gaya diafragma di lantai dan atap, menyebabkan tegangan tarik atau tekan pada tepi-tepi diafragma dan geser pada badan diafragma. Jalur menerus baja, tulangan atau keduanya, yang menggunakan sambungan lewatan, sambungan mekanikal atau pengelasan, harus diadakan untuk memikul gaya tarik yang terjadi, sedangkan geser dan gaya tekan bisa dipikul oleh penampang beton saja. Jalur baja menerus melintasi sambungan adalah termasuk baut, pelat dilas, stud berkepala, atau perangkat baja lainnya. Gaya tarik pada sambungan disalurkan ke tulangan utama komponen struktur.

Gaya-gaya bidang pada sistem dinding pracetak ditimbulkan terutama dari reaksi diafragma dan beban lateral dari luar.

Detail sambungan harus menjamin pengaruh gaya dan deformasi akibat susut, rangkai, dan suhu. Detail sambungan dapat dipilih untuk mengakomodasi perubahan volum dan rotasi yang disebabkan oleh perbedaan temperatur dan lendutan jangka panjang. Bila pengaruh ini dikekan, sambungan-sambungan dan komponen struktur

TATA CARA

18.4 — Perencanaan komponen struktur

18.4.1 — Pada pelat atap dan lantai pracetak satu arah dan pada dinding panel pracetak prategang satu arah, yang tidak lebih lebar dari pada 4 m, dan dimana komponen-komponen tidak disambung secara mekanis untuk mengekang deformasi arah transversal, persyaratan tulangan susut dan temperatur pada 9.12 dalam arah tegak lurus tulangan lentur dapat diabaikan. Pengabaian ini tidak berlaku untuk komponen struktur yang membutuhkan tulangan untuk menahan tegangan lentur transversal.

18.4.2 — Untuk dinding pracetak non-prategang, tulangan harus direncanakan berdasarkan pada persyaratan Pasal 12 atau 16 kecuali bahwa luas masing-masing tulangan horizontal dan vertikal tidak boleh kurang dari 0,001 kali luas penampang bruto panel dinding. Jarak tulangan tidak boleh melebihi 5 kali tebal dinding ataupun 750 mm untuk dinding dalam atau 450 mm untuk dinding luar.

18.5 — Integritas struktural

18.5.1 — Kecuali apabila ketentuan pada 18.5.2 berlaku, maka ketentuan minimum berikut ini untuk integritas struktural harus diberlakukan pada semua struktur beton pracetak:

18.5.1.1 — Tulangan pengikat longitudinal dan transversal yang dibutuhkan berdasarkan 9.13.3 harus menghubungkan komponen-komponen struktur sedemikian hingga terbentuk sistem penahan beban lateral.

PENJELASAN

harus direncanakan untuk memberikan kekuatan dan daktilitas yang memadai.

S18.4 — Perencanaan komponen struktur

S18.4.1 — Untuk komponen-komponen struktur beton prategang yang tidak lebih lebar dari 4 m, seperti pelat berongga, pelat pejal, atau pelat berusuk, biasanya tidak perlu diberi tulangan melintang untuk menahan tegangan susut dan temperatur di arah pendek. Hal ini pada umumnya berlaku juga pada pelat lantai dan atap non prategang. Lebar 4 m adalah lebih kecil daripada lebar pelat dimana pengaruh yang ditimbulkan oleh tegangan susut dan temperatur yang membutuhkan tulangan melintang. Selain itu, sebagian besar susut terjadi sebelum komponen-komponen itu terikat dalam struktur. Sesudah jadi satu dengan struktur, komponen-komponen tersebut biasanya tidak dihubungkan pada arah melintang sekaku seperti beton monolit, jadi tegangan kekangan arah melintang akibat susut dan perubahan temperatur banyak berkurang.

Pembebasan ini tidak berlaku untuk komponen struktur seperti balok-T tunggal dan ganda dengan flens tipis dan lebar.

S18.4.2 — Luasan minimum tulangan dinding, sebagai pengganti dari nilai minimum dalam 16.3, telah digunakan selama bertahun-tahun dan direkomendasikan oleh *PCI*^{18.4} dan *Canadian Building Code*.^{18.20} Ketentuan untuk tulangan minimum tereduksi dan spasi lebih besar menunjukkan bahwa panel dinding pracetak mempunyai kekangan yang sangat kecil di tepinya selama tahap perawatan dan membentuk tegangan susut yang lebih kecil daripada dinding cetak setempat yang setara.

S18.5 — Integritas struktural

S18.5.1 — Ketentuan-ketentuan Pasal 9.13.3 berlaku pada semua struktur beton pracetak. Pasal 18.5.1 dan 18.5.2 menyediakan syarat-syarat minimal untuk memenuhi Pasal 9.13.3. Syarat-syarat minimal ini bukan meniadakan ketentuan-ketentuan lain untuk desain struktur beton pracetak yang berlaku dalam tata cara ini.

Integritas struktur secara menyeluruh dapat ditingkatkan sebesar-besarnya dengan perubahan-perubahan kecil dalam jumlah, lokasi dan detailing penulangan komponen dan dalam detailing perangkat sambungan.

S18.5.1.1 — Komponen-komponen struktur individual dapat disatukan dalam suatu sistem pemikul bebal lateral dengan metode-metode alternatif. Misalkan, balok tepi (*spandrel*) dapat disatukan pada suatu diafragma (bagian dari sistem pemikul beban lateral). Integritas struktural dapat dicapai dengan penyatuan balok tepi ke dalam seluruh atau suatu bagian dari komponen pelat yang

TATA CARA

18.5.1.2 — Apabila elemen pracetak membentuk diafragma atap atau lantai, maka sambungan antara diafragma dan komponen-komponen struktur yang ditopang secara lateral oleh diafragma tersebut harus mempunyai kekuatan tarik nominal yang mampu menahan sedikitnya 4,5 kN/m.

18.5.1.3 — Persyaratan tulangan pengikat vertikal pada 9.13.3 berlaku pada semua komponen struktur vertikal kecuali komponen tempelan, dan harus dicapai dengan menggunakan sambungan di *joint* horizontal berdasarkan pada hal-hal berikut:

(a) Kolom pracetak harus mempunyai kekuatan nominal tarik minimum sebesar $1,5A_p$ dalam kN. Untuk kolom dengan penampang yang lebih besar dari pada yang diperlukan berdasarkan tinjauan pembebanan, luas efektif tereduksi A_p , yang didasarkan pada penampang yang diperlukan tetapi tidak kurang dari pada setengah luas total, boleh digunakan.

(b) Panel dinding pracetak harus mempunyai sedikitnya dua tulangan pengikat per panel, dengan kuat tarik nominal tidak kurang dari 45 kN per tulangan pengikat.

(c) Apabila gaya-gaya rencana tidak menimbulkan tarik di dasar struktur, maka tulangan pengikat yang diperlukan berdasarkan 18.5.1.3(b) boleh diangkur ke dalam fondasi pelat lantai beton bertulang.

18.5.1.4 — Detail sambungan yang berdasarkan hanya pada friksi yang ditimbulkan oleh beban gravitasi tidak dapat digunakan.

18.5.2 — Untuk struktur dinding penumpu pracetak yang tingginya tiga tingkat atau lebih, ketentuan minimum berikut berlaku (Gambar 33):

PENJELASAN

membentuk diafragma. Alternatif lain, balok tepi (*spandrel*) hanya disatukan pada kolom-kolom penumpu, yang selanjutnya dihubungkan dengan diafragma.

S18.5.1.2 — Diafragma merupakan bagian dari sistem pemikul beban lateral. Pengikat-pengikat yang diuraikan pada Pasal 18.5.1.2 adalah syarat minimal untuk mengikat komponen struktur pada diafragma lantai dan atap. Gaya pengikat adalah setara dengan nilai beban kerja 3,0 kN/m yang diberikan dalam *Uniform Building Code*.

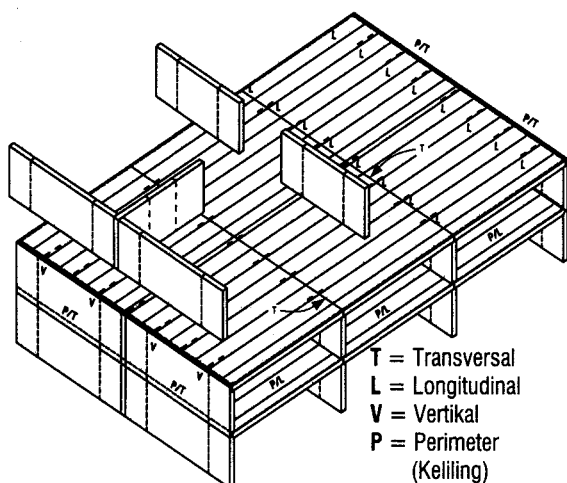
S18.5.1.3 — Sambungan dasar dan sambungan pada joints horisontal di kolom pracetak dan panel dinding, termasuk dinding geser, di desain untuk mentransfer semua gaya-gaya dan momen-momen desain. Syarat tulangan pengikat minimum dari Pasal 18.5.1.3 bukan merupakan tambahan terhadap persyaratan desain ini. Dalam praktek, penempatan ikatan dinding adalah simetris terhadap pusat vertikal dinding panel dan dalam batas seperempat terluar dari lebar panel, manapun yang memungkinkan.

S18.5.1.4 — Dalam hal terjadi kerusakan pada suatu balok, adalah penting bahwa perpindahan komponen pendukungnya dibuat seminimal mungkin, sehingga komponen-komponen lain tidak akan kehilangan kapasitas memikul bebannya. Situasi ini menunjukkan mengapa detail sambungan yang mengandalkan secara penuh pada friksi yang timbul akibat beban gravitasi tidak dipakai. Pengecualian dapat berupa struktur modular yang berat (satu atau lebih sel pada struktur tipe sel) dimana tahanan terhadap guling atau sliding ke arah mana saja memiliki faktor keamanan yang besar. Penerimaan sistem seperti itu harus didasarkan pada ketentuan dari 4.1.5.3.

S18.5.2 — Ketentuan tulangan pengikat minimum untuk integritas struktur bagi struktur dinding penumpu, biasa disebut struktur panel besar, dimaksud untuk memberi suatu pendukung penggantung catenary bila terjadi kegagalan pada tumpuan dinding penumpu, sebagaimana ditunjukkan oleh pengujian.^{18.21}

Gaya yang ditimbulkan oleh pembebanan, perubahan temperatur, rangkai, dan angin atau gempa dapat membutuhkan jumlah gaya pengikat yang besar. Ketentuan umum beton pracetak Pasal 18.5.1 berlaku pada struktur

TATA CARA



Gambar 33—Pengaturan tulangan pengikat tarik pada struktur panel

18.5.2.1 — Tulangan pengikat longitudinal dan transversal harus dipasang pada sistem lantai dan atap sedemikian hingga menghasilkan kekuatan nominal 20 kN per meter lebar atau panjang. Tulangan pengikat harus dipasang di atas tumpuan dinding dalam dan di antara komponen-komponen struktur dan dinding-dinding luar. Tulangan pengikat harus diletakkan pada atau di dalam jarak 0,6 m dari bidang sistem lantai atau atap.

18.5.2.2 — Tulangan pengikat longitudinal yang sejajar dengan bentang pelat lantai atau atap harus dipasang dengan spasi sumbu-ke-sumbu yang tidak melebihi 3,0 m. Pengaturan harus dilakukan untuk menyalurkan gaya-gaya di sekitar lubang/bukaan.

18.5.2.3 — Tulangan pengikat transversal yang tegak lurus bentang pelat lantai atau atap harus dipasang dengan spasi yang tidak lebih besar daripada spasi dinding penumpu.

18.5.2.4 — Tulangan pengikat di sekeliling perimeter setiap lantai dan atap, di dalam rentang jarak 1,2 m dari tepi, harus memberikan kekuatan tarik nominal sedikitnya 70 kN.

18.5.2.5 — Tulangan pengikat tarik vertikal harus dipasang di semua dinding dan harus menerus di seluruh tinggi bangunan. Tulangan-tulangan tersebut harus memberikan kekuatan tarik nominal yang tidak kurang dari 40 kN per meter horizontal dinding. Sedikitnya dua tulangan pengikat harus dipasang pada setiap panel pracetak.

PENJELASAN

dengan ketinggian kurang dari 3 tingkat.

Tulangan pengikat minimum pada struktur tingkat 3 atau lebih, sesuai dengan 18.5.2.1, 18.5.2.2, 18.5.2.3, 18.5.2.4, dan 18.5.2.5, disyaratkan untuk integritas struktur (Gambar 33). Ketentuan-ketentuan ini didasarkan pada rekomendasi *PCI* untuk desain bangunan dinding penumpu beton pracetak.^{18.22} Kapasitas tulangan pengikat didasarkan atas kuat leleh.

S18.5.2.1 — Tulangan pengikat longitudinal dapat dibuat menonjol keluar dari pelat lantai dan disambung lewatan, dilas atau disambung mekanis, atau tulangan pengikat itu ditanam dalam sistem sambungan grout, dengan panjang dan penutup beton yang memadai untuk mengembangkan gaya yang diperlukan. Panjang lekatan untuk tulang pretegang yang tidak ditegangkan harus cukup untuk mengembangkan kuat lelehnya.^{18.23} Posisi tulangan pengikat pada dinding pada umumnya jarang ditempatkan sangat dekat dengan bidang sistem lantai atau atap.

S18.5.2.3 — Tulangan pengikat transversal boleh berjarak merata baik yang dipasang dalam panel-panel atau dalam topping, atau tulangan pengikat tersebut boleh terpusat di dinding penumpu melintang.

S18.5.2.4 — Persyaratan tulangan pengikat tepi (perimeter) tidak perlu merupakan tambahan dengan persyaratan tulangan pengikat memanjang dan transversal.

TATA CARA

18.6 — Perencanaan sambungan dan tumpuan

18.6.1 — Gaya-gaya boleh disalurkan antara komponen-komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi dari cara-cara tersebut.

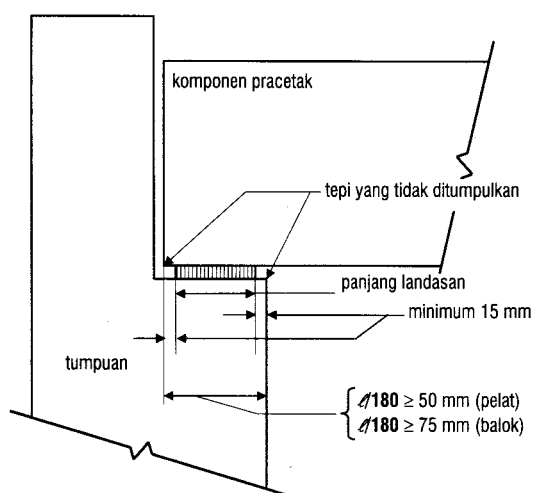
18.6.1.1 — Kemampuan sambungan untuk menyalurkan gaya-gaya antara komponen-komponen struktur harus ditentukan dengan analisis atau dengan pengujian. Apabila geser merupakan pembebanan utama, maka ketentuan pada 13.7 dapat digunakan.

18.6.1.2 — Dalam merencanakan sambungan dengan menggunakan bahan-bahan dengan sifat struktural yang berbeda, maka daktilitas, kekuatan, dan kekakuan relatifnya harus ditinjau.

18.6.2 — Tumpuan untuk komponen lantai dan atap pracetak di atas perletakan sederhana harus memenuhi ketentuan berikut:

18.6.2.1 — Tegangan tumpu ijin di permukaan kontak antara komponen yang didukung dan yang mendukung dan antara elemen-elemen pendukung tidak boleh melebihi kekuatan tumpu untuk masing-masing permukaan dan elemen pendukung. Kekuatan tumpu beton dinyatakan dalam 12.17.

18.6.2.2 — Kecuali bila dapat dibuktikan melalui pengujian atau analisis bahwa kemampuan strukturnya tidak berkurang, maka persyaratan minimum berikut ini harus dipenuhi (Gambar 34):



Gambar 34—Panjang landasan

PENJELASAN

S18.6 — Perencanaan sambungan dan tumpuan

S18.6.1 — Tata cara ini mengizinkan berbagai metoda untuk menyambung komponen-komponen struktur. Hal ini semua dimaksud untuk penyaluran gaya-gaya yang bekerja dalam bidang dan tegak lurus bidang komponen-komponen struktur.

S18.6.1.2 — Berbagai komponen dalam suatu sambungan (seperti baut, las, pelat, dan sisipan) memiliki sifat-sifat yang berbeda yang dapat mempengaruhi keseluruhan perilaku sambungan.

S18.6.2.1 — Bila gaya tarik terjadi di bidang tumpuan, maka tegangan tumpu ijin sebaiknya dikurangi, atau penulangan pengekangan disediakan, atau kedua-duanya. Pedoman untuk hal ini diberikan pada Referensi 18.4.

S18.6.2.2 — Pasal ini membedakan antara panjang tumpuan dan panjang ujung komponen pracetak yang ditumpu (Gambar 34). Pelat landasan menyebarkan beban terpusat dan reaksi-reaksi ke area landasan, dan mengizinkan secara terbatas gerak horisontal dan rotasi untuk melepas tegangan. Untuk mencegah pengelupasan (*spalling*) akibat beban berat pada area landasan, pelat landasan tidak boleh menerus sampai tepi tumpuan kecuali tepi tersebut diperkuat. Bagian tepi tumpuan dapat diperkuat dengan pelat baja atau siku-siku yang dijangkar. Pasal 13.9.7 memberikan syarat-syarat untuk landasan di atas siku-siku atau konsol.

TATA CARA

(a) Setiap komponen struktur dan sistem pendukungnya harus mempunyai dimensi rencana yang dipilih sedemikian hingga, setelah peninjauan toleransi, jarak dari tepi tumpuan ke ujung komponen struktur pracetak dalam arah bentang sedikitnya 1/180 kali bentang bersih l , tetapi tidak boleh kurang dari:

Untuk pelat masif atau berongga 50 mm
Untuk balok 75 mm

(b) Pelat landasan di tepi yang tidak ditumpukan harus mempunyai celah sedikitnya 15 mm dari muka tumpuan, atau sedikitnya sama dengan dimensi penumpulan pada tepi yang ditumpukan.

18.6.2.3 — Persyaratan pada 14.11.1 tidak berlaku untuk tulangan momen lentur positif pada komponen struktur pracetak statis tertentu, tetapi sedikitnya sepertiga dari tulangan tersebut harus diperpanjang sampai ke tengah panjang landasan.

18.7 — Benda-benda yang ditanam sesudah pengecoran beton

18.7.1 — Apabila disetujui oleh perencana, benda-benda yang ditanam (seperti pasak atau sisipan lainnya) yang menonjol keluar dari beton atau tetap terekspos untuk tujuan pemeriksaan boleh ditanam pada saat beton berada dalam kondisi plastis asalkan:

18.7.1.1 — Benda-benda yang ditanam tidak disyaratkan untuk dikaitkan atau diikat ke tulangan di dalam beton.

18.7.1.2 — Benda-benda yang ditanam tetap berada pada posisi yang benar selama beton masih plastis.

18.7.1.3 — Beton di sekeliling benda yang tertanam harus dipadatkan secara benar.

18.8 — Penandaan dan identifikasi

18.8.1 — Setiap komponen struktur pracetak harus ditandai untuk menunjukkan lokasi dan orientasinya pada struktur serta tanggal pabriksinya.

18.8.2 — Tanda identifikasi harus sesuai dengan yang ada pada gambar rencana untuk penempatan komponen.

18.9 — Penanganan

18.9.1 — Perencanaan komponen struktur pracetak harus meninjau gaya-gaya dan distorsi selama perawatan, pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan, dan ereksi sedemikian hingga komponen struktur pracetak tersebut

PENJELASAN

S18.6.2.3 — Penggunaan tulangan momen positif di luar ujung elemen pracetak tidak diperlukan bila sistem pracetak tersebut adalah statis tertentu.

S18.7 — Benda-benda yang ditanam sesudah pengecoran beton

S18.7.1 — Pasal 18.7.1 adalah suatu pengecualian terhadap ketentuan Pasal 9.5.1. Banyak produk pracetak dibuat dengan cara sedemikian, sehingga sulit, bahkan bisa tak mungkin, untuk menempatkan penulangan yang menonjol keluar dari beton sebelum dicor. Benda-benda seperti tulangan pengikat ikatan untuk geser horizontal dan sisipan dapat dipasang saat beton masih plastis, bila pengaturan yang wajar sebelumnya dilakukan. Pengecualian ini tidak berlaku untuk penulangan yang sepenuhnya ditanam, atau benda-benda yang tertanam yang diberi kait atau diikat pada tulangan yang tertanam.

S18.9 — Penanganan

S18.9.1 — Tata cara ini mensyaratkan kinerja yang memadai pada kondisi beban kerja dan cukup kuat pada kondisi beban terfaktor. Namun, beban penanganan tidak boleh menimbulkan tegangan permanen, regangan, retak,

TATA CARA

tidak mengalami tegangan yang berlebihan, atau rusak.

18.9.2 — Selama ereksi, komponen struktur pracetak harus diikat dan ditopang secukupnya untuk menjamin tercapainya kedudukan yang benar dan integritas struktur hingga sambungan yang permanen selesai dipasang.

18.10 — Evaluasi kekuatan konstruksi pracetak

18.10.1 — Elemen pracetak yang akan dibuat komposit dengan beton yang dicor setempat boleh diuji terhadap lentur sebagai elemen pracetak saja menurut ketentuan berikut:

18.10.1.1 — Beban uji diterapkan hanya bilamana perhitungan mengindikasikan bahwa elemen pracetak tersebut tidak akan kritis terhadap tekan atau tekuk.

18.10.1.2 — Beban uji harus berupa beban yang, apabila diterapkan pada komponen pracetak saja, menghasilkan gaya total yang sama di tulangan tarik, sebagaimana yang ditimbulkan oleh pembebanan pada komponen struktur komposit dengan beban uji yang disyaratkan pada 22.3.2.

18.10.2 — Ketentuan pada 22.5 harus menjadi dasar untuk penerimaan atau penolakan elemen pracetak.

PENJELASAN

atau lendutan yang tidak konsisten dengan ketentuan tata cara ini. Komponen pracetak tidak perlu ditolak bila terjadi retak dan spalling minor asalkan tidak mengurangi kekuatan dan keawetannya. Pedoman penilaian retak-retak diberikan di laporan *PCI* perihal retak-retak akibat fabrikasi dan pengangkutan.^{18.24,18.25}

S18.9.2 — Semua sambungan sementara untuk ereksi, pengikatan, penopangan demikian juga urutan pembongkaran dari benda-benda itu harus ditunjukkan dalam kontrak atau gambar ereksi.

S18.10 — Evaluasi kekuatan konstruksi pracetak

Prosedur evaluasi kekuatan dari Pasal 22 juga berlaku untuk komponen-komponen pracetak.

PASAL 19 — KOMPONEN STRUKTUR LENTUR BETON KOMPOSIT

TATA CARA

19.1 — Lingkup

19.1.1 — Ketentuan dalam Pasal 19 ini berlaku untuk perencanaan komponen struktur lentur beton komposit, yang didefinisikan sebagai elemen beton pracetak dan/atau beton dicor setempat yang dibuat dengan tahap pengecoran yang terpisah tetapi saling berhubungan sedemikian hingga seluruh elemen bereaksi terhadap beban sebagai satu kesatuan.

19.1.2 — Semua ketentuan dalam tata cara perencanaan ini berlaku untuk komponen struktur lentur beton komposit, kecuali apabila secara khusus dimodifikasi dalam Pasal 19.

19.2 — Umum

19.2.1 — Komponen struktur yang seluruh atau sebagiannya terbuat dari komposit boleh digunakan untuk memikul geser dan momen.

19.2.2 — Masing-masing elemen harus diperiksa terhadap semua tahapan-tahapan kritis pembebanan.

19.2.3 — Jika kekuatan, berat satuan, atau sifat lain dari berbagai elemen adalah berbeda, maka sifat masing masing elemen atau nilai-nilai yang paling kritis harus digunakan dalam perencanaan.

19.2.4 — Dalam perhitungan kekuatan komponen struktur komposit tidak perlu dibedakan antara komponen struktur yang ditopang dan yang tidak ditopang dalam pengecorannya.

19.2.5 — Semua elemen harus direncanakan untuk memikul semua beban yang bekerja sebelum kuat rencana komponen struktur komposit tercapai secara penuh.

19.2.6 — Tulangan harus disediakan sesuai dengan yang diperlukan untuk mengendalikan retak dan untuk mencegah pemisahan dari masing-masing elemen pada komponen struktur komposit.

19.2.7 — Komponen struktur komposit harus memenuhi ketentuan mengenai pengendalian lendutan sesuai dengan 11.5.5.

PENJELASAN

S19.1 — Lingkup

S19.1.1 — Lingkup Pasal 19 dimaksud untuk semua tipe komponen lentur beton komposit. Dalam beberapa kasus dengan beton cor setempat penuh, dipandang perlu untuk mendesain daerah interface yang terbentuk antara urutan penempatan beton seperti disyaratkan pada komponen-komponen komposit. Komponen-komponen komposit struktur baja-beton tidak tercakup dalam pasal ini. Ketentuan-ketentuan desain untuk komponen-komponen komposit seperti itu dapat dilihat dalam Referensi 19.1.

S19.2 — Umum

S19.2.4 — Hasil pengujian telah menunjukkan bahwa kekuatan komponen komposit adalah sama apakah elemen pertama ditopang atau tidak selama pengecoran dan pemeliharaan elemen kedua.

S19.2.6 — Besar retak tergantung pada faktor-faktor seperti lingkungan, estetis, dan okupansi. Sebagai tambahan, aksi komposit jangan sampai melemah.

S19.2.7 — Pembebanan yang prematur dari elemen-elemen pracetak dapat menyebabkan lendutan rangkai dan susut yang berlebihan. Hal ini khusus terjadi pada umur-umur awal di saat kandungan kelembaban tinggi dan kekuatan rendah.

TATA CARA

19.3 — Penopangan

Bila digunakan, maka sistem penopang tidak boleh dibuka hingga elemen yang ditopang telah mencapai sifat rencana yang diperlukan untuk memikul semua beban serta membatasi lendutan dan keretakan pada saat pembongkaran sistem penopang.

19.4 — Kuat geser vertikal

19.4.1 — Bila keseluruhan komponen struktur komposit diasumsikan memikul geser vertikal, maka perencanaan harus disesuaikan dengan ketentuan Pasal 13 sebagaimana yang berlaku untuk komponen struktur dengan penampang yang sama, yang dicor secara monolit.

19.4.2 — Tulangan geser harus dijangkarkan sepenuhnya ke dalam elemen yang saling berhubungan, sesuai dengan 14.13.

19.4.3 — Tulangan geser yang diperpanjang dan terangkur dengan baik boleh diperhitungkan sebagai tulangan pengikat untuk geser horizontal.

19.5 — Kuat geser horizontal

19.5.1 — Pada komponen struktur komposit, transfer gaya geser horizontal secara penuh harus dapat dijamin pada bidang kontak antara elemen-elemen yang dihubungkan.

19.5.2 — Kecuali apabila dihitung sesuai dengan 19.5.3, maka perencanaan penampang terhadap geser horizontal harus didasarkan pada

$$V_u \leq \phi V_{nh} \quad (106)$$

dimana V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_{nh} adalah kuat geser horizontal nominal sesuai dengan ketentuan berikut:

19.5.2.1 — Bila bidang kontak bersih dan bebas dari serpihan dan secara sengaja dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,60b_v d$ dalam Newton.

19.5.2.2 — Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 19.6 dan bidang kontak bersih dan bebas dari serpihan, tetapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,6b_v d$, dalam Newton.

PENJELASAN

Transfer geser oleh lekatan langsung adalah penting bila lendutan berlebihan akibat slip ingin dihindari. Kunci geser (*shear key*) adalah faktor keamanan mekanis tambahan tapi ini baru bekerja setelah slip terjadi.

S19.3 — Penopangan

Ketentuan-ketentuan Pasal 11.5.5 mencakup persyaratan terkait pada lendutan komponen yang ditopang atau tidak.

S19.5 — Kuat geser horizontal

S19.5.1 — Transfer penuh geser horizontal antara segmen-segmen komponen komposit harus terjamin oleh kuat geser horizontal di permukaan kontak atau tulangan ikat yang terjangkar dengan baik, atau keduanya.

S19.5.2 — Kuat geser horizontal nominal V_{nh} berlaku bila desain didasarkan pada faktor beban dan faktor ϕ dari Pasal 11.

Bila metoda desain Pasal 25 dipakai untuk mendesain komponen-komponen komposit, V_u adalah geser akibat beban-beban kerja, dan 55 persen dari nilai yang diberikan Pasal 19.5.2 adalah berlaku. Lihat Pasal 25.7.3. Juga, bila beban gravitasi digabung dengan beban-beban lateral akibat angin atau gempa pada kombinasi beban yang menentukan geser horizontal, maka reduksi 25 persen dapat diberlakukan pada syarat kekuatan sesuai Pasal 25.2.2.

Dalam meninjau kembali komponen lentur beton pracetak untuk beban-beban selama penanganan dan pelaksanaan, V_u boleh diganti oleh geser akibat beban kerja penanganan/pelaksanaan di Pers. (106). Gaya geser horizontal akibat beban penanganan harus dibandingkan dengan kuat geser horizontal nominal yaitu $0,55V_{nh}$ (sebagaimana ditentukan di Pasal 25) untuk menjamin hasil

TATA CARA

19.5.2.3 — Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 19.6, dan bidang kontak nya bersih dan bebas dari serpihan dan dengan sengaja dikasarkan hingga mencapai tingkat kekasaran penuh dengan amplitudo kira-kira 5 mm, maka kuat geser V_{nh} dapat diambil sama dengan $(1,8 + 0,6\rho_v f_y)\lambda b_v d$, tetapi tidak lebih besar daripada $3,5b_v d$ dalam Newton. Nilai λ dapat diambil sesuai dengan 13.7.4.3.

19.5.2.4 — Apabila gaya geser terfaktor V_u pada penampang yang ditinjau melebihi $\phi(3,5b_v d)$, maka perencanaan untuk geser horizontal harus dilakukan sesuai dengan 13.7.4.

19.5.2.5 — Dalam menentukan kuat geser horizontal nominal pada permukaan atas elemen struktur beton prategang, d diambil sebagai nilai terbesar dari $0,8h$ atau jarak dari serat tekan terluar ke titik pusat tulangan tarik pada penampang komposit.

19.5.3 — Sebagai alternatif terhadap 19.5.2, geser horizontal dapat ditentukan dengan jalan menghitung perubahan aktual gaya tekan atau gaya tarik di dalam sebarang segmen, dan pengaturan harus dilakukan untuk menyalurkan gaya tersebut sebagai geser horizontal kepada elemen pendukung. Gaya geser horizontal terfaktor tidak boleh melebihi kuat geser horizontal ϕV_{nh} yang diberikan dalam 19.5.2.1 hingga 19.5.2.4, dimana luas bidang kontak A_c harus digunakan sebagai pengganti $b_v d$ di dalam persamaan-persamaan terkait yang ada pada butir-butir tersebut.

19.5.3.1 — Bila sengkang pengikat yang dipasang untuk menahan geser horizontal direncanakan untuk memenuhi 19.5.3, maka rasio antara luas sengkang pengikat dan spasi pengikat di sepanjang komponen struktur harus merefleksikan distribusi gaya-gaya geser pada komponen struktur tersebut.

19.5.4 — Bila terdapat tarik pada bidang kontak antara elemen-elemen yang saling dihubungkan, maka penyaluran geser secara kontak hanya boleh digunakan bila dipasang

PENJELASAN

faktor keamanan yang memadai untuk beban penanganan dan pelaksanaan. Komponen prategang yang dipakai dalam konstruksi komposit dapat memiliki variasi pada kedalaman tulangan tarik di sepanjang komponen karena posisi tendon-tendon yang dilendutkan atau diturunkan. Karena variasi ini, definisi d yang dipakai di Pasal 13 untuk menentukan kuat geser vertikal masih dapat dipakai untuk menentukan kuat geser horizontal.

S19.5.2.3 — Kuat geser horizontal yang diijinkan dan persyaratan amplitudo 5 mm untuk kekasaran yang sengaja dibuat adalah didasarkan pada hasil uji yang dibahas di Referensi 19.2 sampai 19.4.

S19.5.3.1 — Distribusi tegangan geser horizontal di sepanjang permukaan kontak di komponen komposit akan mencerminkan distribusi geser di sepanjang komponen. Kegagalan geser horizontal akan dimulai dimana tegangan geser horizontal mencapai maksimum dan akan menyebar ke daerah dengan tegangan yang lebih rendah. Karena slip pada tahanan geser horizontal puncak adalah kecil sekali bagi permukaan kontak beton-beton, redistribusi tahanan geser horizontal arah memanjang jadinya sangat terbatas. Oleh karena itu, spasi sengkang pengikat di sepanjang permukaan kontak haruslah sedemikian sehingga memberikan tahanan geser horizontal yang mendekati distribusi geser yang bekerja pada komponen struktur.

S19.5.4 — Penjangkaran sengkang pengikat yang melintasi bidang kontak haruslah baik untuk mempertahankan kontak pada bidang muka-kontak (*interface*).

TATA CARA

senggang pengikat minimum sesuai dengan 19.6.

19.6 — Senggang pengikat untuk geser horizontal

19.6.1 — Bila senggang pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horizontal, maka luas senggang pengikat tidak boleh kurang daripada luas yang diperlukan oleh 13.5.5.3, dan spasi senggang pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang didukung, ataupun 600 mm.

19.6.2 — Senggang pengikat untuk geser horizontal harus terdiri dari batang atau kawat tulangan tunggal, senggang berkaki banyak, atau kaki vertikal dari jaring-kawat (polos atau ulir).

19.6.3 — Semua senggang pengikat harus diangkurkan sepenuhnya ke dalam elemen-elemen yang saling dihubungkan sesuai dengan 14.13.

PENJELASAN**S19.6 — Senggang pengikat untuk geser horizontal**

Luas minimum dan jarak maksimum adalah atas dasar data hasil pengujian yang diberikan oleh Referensi 19.2 sampai 19.6.

PASAL 20 — BETON PRATEGANG

TATA CARA

20.1 — Lingkup

20.1.1 — Ketentuan yang tercantum dalam Pasal 20 berlaku untuk komponen struktur beton prategang yang menggunakan kawat, *strand*, atau batang tulangan yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku untuk tendon prategang dalam 5.5.5.

20.1.2 — Semua ketentuan dalam tata cara ini yang tidak secara khusus dikecualikan, dan tidak bertentangan dengan ketentuan Pasal 20, berlaku untuk beton prategang.

20.1.3 — Beberapa ketentuan berikut ini tidak berlaku untuk beton prategang, kecuali bila dinyatakan lain: 9.6.5, 10.4, 10.10.2, 10.10.3, 10.10.4, 10.11, 12.3.2, 12.3.3, 12.5, 12.6, 12.9.1, dan 12.9.2.; Pasal 15 dan 16.3, 16.5 dan 16.6.

PENJELASAN

S20.1 — Lingkup

S20.1.1 — Pasal 20 dikembangkan utamanya untuk komponen-komponen struktur seperti pelat, balok, dan kolom yang umum dipakai di bangunan. Banyak ketentuan yang ada boleh diterapkan pada tipe konstruksi lain, seperti, container bertekanan, lantai perkerasan, pipa, dan pengikat silang. Penerapan ketentuan-ketentuan yang ada diserahkan sepenuhnya pada pertimbangan insinyur dalam kasus-kasus yang belum diatur secara khusus dalam tata cara ini.

S20.1.3 — Beberapa bagian tata cara ini dikeluarkan dari pemakaian dalam desain beton prategang untuk alasan-alasan khusus. Diskusi di bawah ini memberikan penjelasan untuk hal tersebut:

Pasal 9.6.5 — Persyaratan untuk penulangan dengan lekatan dan tendon-tendon tanpa lekatan untuk komponen struktur cor setempat diatur berturut-turut dalam Pasal 20.9 dan 20.12.

Pasal 10.4 — Redistribusi momen untuk beton prategang diatur dalam 20.10.4.

Pasal 10.10.2, 10.10.3, dan 10.10.4 — Ketentuan-ketentuan empiris dari Pasal 10.10.2, 10.10.3, dan 10.10.4 untuk balok-T dikembangkan untuk beton non-prategang dan bila dipakai pada beton prategang akan menyebabkan penyisihan banyak produk standar prategang yang memenuhi syarat. Bukti yang diperoleh dari pengalaman mengijinkan adanya variasi.

Dengan tidak memasukkan 10.10.2, 10.10.3, dan 10.10.4, tidak ada persyaratan khusus untuk balok-T beton prategang dalam tata cara ini. Penentuan lebar efektif flens/sayap diserahkan pada pengalaman dan pertimbangan tenaga ahli yang terlibat. Bila memungkinkan, lebar flens/sayap di 10.10.2, 10.10.3, dan 10.10.4 harus dipakai kecuali pengalaman telah membuktikan bahwa variasi-variasi yang dijumpai adalah aman dan memuaskan. Pemakaian lebar flens/sayap maksimum yang diijinkan di 10.10.2 dalam analisis dan desain tidak selalu menghasilkan desain yang konservatif.

Pasal 10.10.1 dan 10.10.5 memberi persyaratan umum untuk balok-T yang juga berlaku untuk balok beton prategang. Pembatasan spasi untuk tulangan pelat didasarkan atas tebal flens/sayap, untuk flens/sayap yang tidak prismatis, dapat digunakan nilai ketebalan flens/sayap rata-rata..

TATA CARA

PENJELASAN

Pasal 10.11 — Batas-batas empiris yang diadakan untuk konstruksi pelat berusuk beton bertulang konvensional didasarkan pada kinerja sukses yang lalu dari konstruksi pelat berusuk dengan memakai sistem cetakan pelat berusuk standar. Untuk konstruksi pelat berusuk prategang, pengalaman dan pertimbangan harus digunakan. Ketentuan 10.11 boleh dipakai sebagai pedoman.

Pasal 12.3.2, 12.3.3, 12.5, 12.9.1, dan 12.9.2 — Pembatasan penulangan untuk beton prategang diberikan di Pasal 20.8, 20.9, dan 20.11.2.

Pasal 12.6 — Perilaku komponen struktur prategang sangat berlainan dari perilaku komponen struktur non-prategang. Pengalaman dan pertimbangan harus dipakai untuk pendistribusian penulangan yang baik pada komponen struktur prategang.

Pasal 15 — Perencanaan pelat beton prategang harus memperhatikan adanya momen sekunder yang ditimbulkan oleh profil tendon prategang yang berombak. Perubahan volume yang disebabkan oleh gaya prategang dapat menghasilkan tambahan tegangan pada struktur yang tidak cukup terliput dalam Pasal 15. Oleh karena itu, banyak prosedur perencanaan Pasal 15 yang tidak cocok untuk struktur beton prategang dan diganti oleh ketentuan Pasal 20.12.

Pasal 16.3, 16.5, dan 16.6 — Persyaratan untuk tulangan minimum dan perencanaan dinding dalam Pasal 16.3, 16.5, dan 16.6 adalah sebagian besar empiris, memakai pertimbangan yang tidak dimaksud untuk penerapan pada beton prategang.

20.2 — Umum

20.2.1 — Komponen struktur beton prategang harus memenuhi ketentuan kekuatan yang ditetapkan dalam tata cara ini.

20.2.2 — Perencanaan komponen struktur beton prategang harus didasarkan pada kekuatan dan perilaku komponen struktur pada kondisi beban kerja untuk semua tahap pembebanan kritis yang mungkin selama masa layan struktur sejak saat pertama prategang diberikan.

S20.2 — Umum

S20.2.1 dan 20.2.2 — Proses desain harus termasuk semua tahap yang mungkin berarti. Tiga tahap utama adalah: (1) tahap pendongkrakan (*jacking*), atau tahap penyaluran pratekan—saat gaya pratekan disalurkan ke beton dan tingkat tegangan yang terjadi relatif tinggi terhadap kekuatan beton; (2) tahap beban layan/kerja—sesudah terjadinya perubahan volume jangka panjang; dan (3) tahap beban terfaktor—saat kekuatan komponen struktur diperiksa. Ada tahap pembebanan lain yang mungkin perlu diselidiki. Misalkan, bila beban retak cukup berarti, maka tahap beban ini perlu dipelajari, atau tahap pengangkutan dan pengangkutan dapat menjadi kritis.

Dari sudut pandang perilaku yang memuaskan, dua tahap yang paling penting adalah tahapan beban layan dan beban terfaktor.

Tahap beban layan merujuk pada beban yang ditentukan dalam standar pembebanan bangunan umum (tanpa faktor beban), seperti beban hidup dan beban mati, sedangkan tahap beban terfaktor merujuk pada beban yang diperbesar

TATA CARA

20.2.3 — Konsentrasi tegangan akibat pemberian prategang harus diperhitungkan dalam perencanaan.

20.2.4 — Harus diambil suatu langkah pengamanan untuk memperhitungkan pengaruh deformasi elastis dan plastis, lendutan, perubahan panjang dan rotasi akibat prategang pada konstruksi yang berdekatan. Pengaruh suhu dan penyusutan juga harus ikut diperhitungkan.

20.2.5 — Kemungkinan terjadinya tekuk pada suatu komponen struktur di antara titik-titik dimana terjadi pertemuan antara beton dan tendon prategang dan tekuk pada bagian badan dan sayap penampang yang tipis harus diperhitungkan.

20.2.6 — Dalam menghitung sifat penampang sebelum terjadinya lekatan tendon prategang, pengaruh pengurangan luas penampang akibat adanya lubang selongsong harus diperhitungkan.

20.2.7 — Adapun skema penampang yang digunakan pada tata cara ini adalah sebagai berikut:

PENJELASAN

oleh faktor beban yang sesuai.

Pasal 20.3.2 memberikan asumsi-asumsi yang dapat dipakai untuk pemeriksaan pada beban layan dan sesudah penyaluran gaya prategang.

S20.2.5 — Pasal 20.2.5 merujuk pada tipe pasca tarik, dimana tendon bersinggungan dengan komponen struktur beton prategang secara terputus-putus. Tindakan khusus harus dilakukan untuk mencegah tekuk pada komponen struktur tersebut.

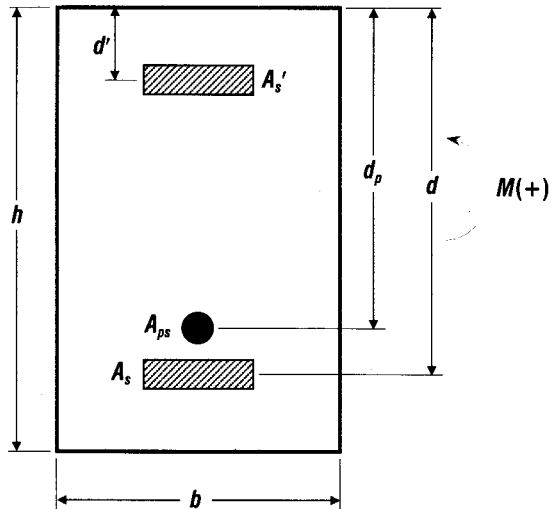
Bila tendon tersebut sepenuhnya bersinggungan dengan komponen struktur yang diprategang, atau merupakan tendon tanpa lekatan dalam selongsong yang ukurannya tidak jauh lebih besar dari tendonnya, maka komponen struktur tersebut tidak mungkin menekuk akibat gaya prategang yang sedang diterapkan.

S20.2.6 — Dalam mempertimbangkan luas selongsong terbuka, penampang kritis harus mencakup bagian-bagian yang memiliki lapisan-lapisan penyambung yang mungkin berukuran lebih besar dari selongsong yang berisi tendon. Selain itu, dalam beberapa kejadian, bagian trompet, atau bagian transisi dari konduit ke sistem ankur mungkin punya ukuran yang dapat menimbulkan penampang kritis. Bila pengaruh luas selongsong terbuka dianggap diabaikan pada perencanaan, maka sifat-sifat penampang dapat didasarkan pada luas total.

Pada komponen struktur pasca tarik setelah peng-grut-an (*grouting*) dan pada komponen struktur pratarik, sifat-sifat penampang dapat didasarkan pada penampang efektif memakai luas tendon berlekatan yang ditransformasi dan luas bruto tulangan biasa, atau penampang bersih.

TATA CARA

PENJELASAN



Gambar 35—Skema penampang

20.3 — Asumsi perencanaan

20.3.1 — Perencanaan kekuatan komponen struktur prategang terhadap momen lentur dan gaya aksial harus didasarkan pada asumsi yang diberikan dalam 12.2, kecuali 12.2.4 hanya berlaku untuk penulangan yang sesuai dengan 5.5.3.

20.3.2 — Dalam pemeriksaan tegangan pada saat penyaluran gaya prategang, baik pada kondisi beban kerja, maupun pada kondisi beban retak, boleh digunakan teori garis-lurus dengan asumsi sebagai berikut:

20.3.2.1 — Regangan bervariasi secara linier terhadap tinggi untuk seluruh tahap pembebanan.

20.3.2.2 — Pada penampang retak, beton tidak memikul tarik.

20.4 — Tegangan ijin beton untuk komponen struktur lentur

20.4.1 — Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

S20.4 — Tegangan ijin beton untuk komponen struktur lentur

Tegangan ijin beton ditujukan untuk pemeriksaan kemampuan layanan struktur. Tegangan ijin tidak menjamin kecukupan kekuatan struktur, yang harus dicek kesesuaiannya dengan persyaratan lain dalam tata cara ini.

S20.4.1 — Tegangan beton pada tahap ini disebabkan oleh gaya pada tendon prategang saat transfer setelah dikurangi oleh perpendekan elastis beton, relaksasi tendon, pergeseran ankur, dan tegangan-tegangan akibat berat sendiri komponen struktur. Umumnya, pengaruh susut dan

TATA CARA

20.4.1.1 — Tegangan serat tekan terluar $0,60f'_c$

20.4.1.2 — Tegangan serat tarik terluar kecuali seperti yang diijinkan dalam 20.4.1.3 $(1/4)\sqrt{f'_c}$

20.4.1.3 — Tegangan serat tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur di tas perletakan sederhana $(1/2)\sqrt{f'_c}$

Bila tegangan tarik terhitung melampaui nilai tersebut di atas, maka harus dipasang tulangan tambahan (non-prategang atau prategang) dalam daerah tarik untuk memikul gaya tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh yang belum retak.

20.4.2 — Tegangan beton pada kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut:

20.4.2.1 — Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup tetap $0,45f'_c$

20.4.2.2 — Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup total $0,6f'_c$

PENJELASAN

rangkak tidak dimasukkan pada tahap ini. Tegangan-tegangan ini dikenakan baik pada beton pratarik maupun pasca tarik dengan modifikasi seperlunya kehilangan saat transfer.

S20.4.1.2 dan S20.4.1.3 — Batasan tegangan tarik ijin sebesar $(1/4)\sqrt{f'_c}$ dan $(1/2)\sqrt{f'_c}$ merujuk pada tegangan tarik di lokasi selain daerah tarik yang sebelumnya tertekan. Bila tegangan tarik melampaui nilai ijin, gaya total di daerah tegangan tarik dapat dihitung dan dipasang penulangan sesuai gaya tersebut dengan nilai tegangan dibatasinya $0,6f'_c$, tapi tidak lebih dari 200 MPa. Pengaruh rangkak dan susut, mulai menurunkan tegangan tarik hampir seketika; namun demikian, sebagian tegangan tarik akan tetap berada di daerah ini setelah semua kehilangan prategang diperhitungkan.

S20.4.2.1 dan S20.4.2.2 — Batas tegangan tekan ijin $0,45f'_c$ telah ditetapkan secara konservatif untuk mengurangi kemungkinan kegagalan komponen struktur beton prategang akibat beban berulang. Selain itu, penyusun tata cara yang lama berpendapat bahwa batas ini wajar untuk membebaskan deformasi rangkak yang berlebihan. Pada tegangan yang lebih tinggi, regangan rangkak cenderung meningkat lebih cepat seiring dengan peningkatan tegangan yang bekerja. Hal ini tidak konsisten dengan asumsi desain bahwa regangan rangkak berbanding lurus dengan tegangan dalam menghitung lawan lendut (*camber*) dan lendutan dan kehilangan tegangan prategang tergantung waktu.

Perubahan batasan tegangan ijin dalam tata cara ini didasarkan atas hasil uji lelah pada beton prategang yang membuktikan bahwa kegagalan beton bukan merupakan kriteria pengendali, dan bahwa perencanaan dengan beban hidup yang bergerak dibanding dengan beban mati+hidup yang bersifat tetap, telah dirugikan oleh batas tegangan tekan tunggal sebelumnya. Karena itu, batas tegangan $0,60f'_c$ mengijinkan kenaikan sepertiga tegangan tekan yang diijinkan untuk komponen struktur yang dikenai beban hidup yang bergerak.

Beban hidup yang bersifat tetap adalah sebagian beban hidup layan yang bekerja tetap untuk periode waktu yang cukup lama untuk menyebabkan defleksi jangka panjang yang signifikan. Bila beban mati dan beban hidup yang bersifat tetap memberikan persentase yang besar terhadap beban layan total, maka batas $0,45f'_c$ akan menentukan.

TATA CARA

20.4.2.3 — Tegangan serat tarik terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan $(1/2)\sqrt{f'_c}$

20.4.2.4 — Tegangan serat tarik terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan dari komponen-komponen struktur (kecuali pada sistem pelat dua-arah), dimana analisis yang didasarkan pada penampang retak transformasi dan hubungan momen-lendutan bilinear menunjukkan bahwa lendutan seketika dan lendutan jangka panjang memenuhi persyaratan 10.5.4, dan dimana persyaratan selimut beton memenuhi 9.7.3.2 $\sqrt{f'_c}$

PENJELASAN

Tapi sebaliknya, bila porsi terbesar beban layan terdiri dari beban hidup sementara (bergerak), maka batas tegangan berdasarkan 20.4.2.2 boleh dipakai.

Batas tegangan tekan $0,45 f'_c$ untuk prategang ditambah beban tetap akan terus mengendalikan perilaku jangka panjang komponen struktur prategang.

S20.4.2.3 — Zona tarik yang sebelumnya tertekan adalah bagian penampang komponen struktur dimana tarik lentur terjadi akibat beban mati dan hidup. Beton prategang biasanya direncanakan sedemikian hingga gaya prategang menghasilkan tekanan di daerah ini, yang secara efektif akan mengurangi besar tegangan tarik yang terjadi.

Tegangan tarik ijin sebesar $(1/2)\sqrt{f'_c}$ adalah kompatibel dengan persyaratan selimut beton dari 9.7.3.1. Untuk kondisi lingkungan korosif, yang didefinisikan sebagai lingkungan dimana dijumpai serangan bahan kimia seperti air laut, daerah industri, saluran buangan atau lingkungan korosif lainnya, selimut beton yang lebih besar dari yang ditetapkan oleh 9.7.3.1 harus digunakan, sesuai dengan 9.7.3.2, dan tegangan tarik dikurangi untuk menurunkan kemungkinan terjadi retak pada beban layan. Insinyur harus menggunakan pertimbangan untuk menentukan tambahan ketebalan selimut beton dan apakah diperlukan pengurangan tegangan tarik.

S20.4.2.3 dan S20.4.2.4 — Tegangan tarik ijin beton tergantung pada ada atau tidak tersedianya tulangan lekatan yang memadai untuk mengurangi lebar dan spasi retak. Tulangan lekatan tersebut dapat terdiri atas tendon prategang atau non prategang atau baja tulangan non-prategang. Lebar dan spasi retak tergantung tidak saja pada jumlah tulangan yang dipasang tapi juga pada distribusinya di daerah tarik.

Karena persyaratan tulangan lekatan pada Pasal 20.9, perilaku komponen-komponen struktur tersegmen umumnya akan sebanding dengan perilaku komponen-komponen struktur monolit yang setara. Karena itu, batas tegangan tarik ijin Pasal 20.4.2.3 dan 20.4.2.4 berlaku pada baik komponen-komponen struktur tersegmen maupun monolit. Bila lendutan dipandang penting, retak yang sudah ada pada komponen-komponen struktur tersegmen harus dipertimbangkan dalam perhitungan.

S20.4.2.4 — Tegangan tarik ijin sebesar $\sqrt{f'_c}$ memberikan perbaikan kinerja beban layan, khususnya bila beban hidup bersifat sementara. Untuk memanfaatkan kenaikan tegangan ijin, tata cara ini mensyaratkan peningkatan ketebalan selimut beton, sebagaimana dianjurkan di 9.7.3.2, dan untuk menyelidiki sifat-sifat lendutan komponen struktur, khususnya pada beban yang menyebabkan perubahan perilaku komponen struktur dari kondisi tidak retak ke kondisi retak.

TATA CARA

20.4.3 — Tegangan ijin beton dalam 20.4.1 dan 20.4.2 boleh dilampaui bila dapat ditunjukkan dengan pengujian atau analisis bahwa kemampuan strukturnya tidak berkurang dan lebar retak yang terjadi tidak melebihi nilai yang disyaratkan.

20.5 — Tegangan ijin tendon prategang

Tegangan tarik pada tendon prategang tidak boleh melampaui nilai berikut:

20.5.1 — Akibat gaya pengangkutan tendon..... $0,94f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,80f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkut.

20.5.2 — Sesaat setelah penyaluran gaya prategang $0,82f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74f_{pu}$.

20.5.3 — Tendon pasca tarik, pada daerah angkut dan sambungan, segera setelah penyaluran gaya $0,70f_{pu}$

20.6 — Kehilangan prategang

20.6.1 — Untuk menentukan nilai tegangan prategang efektif

PENJELASAN

Tidak dimasukkannya sistem pelat dua arah didasarkan pada Referensi 20.1, yang merekomendasikan bahwa tegangan tarik ijin jangan lebih besar dari $(1/2)\sqrt{f'_c}$ untuk desain pelat datar (*flat plates*) beton prategang yang dianalisis dengan metoda portal ekuivalen atau metoda pendekatan lain. Untuk pelat datar yang didesain berdasarkan analisis yang lebih eksak, atau untuk sistem pelat dua arah yang lain yang dianalisis dan didesain secara komplit untuk kekuatan dan kemampuan layanan, tegangan batas boleh dilampaui sesuai 20.4.3.

Referensi 20.2 memberikan informasi pada pemakaian hubungan momen-lendutan bilinear.

S20.4.3 — Pasal ini menyediakan mekanisme dimana pengembangan produk material, dan teknik baru dalam konstruksi beton prategang tidak perlu dihambat oleh batasan tegangan yang ada dalam tata cara ini. Persetujuan untuk desain harus sesuai dengan 4.1.5.3 dari tata cara ini.

S20.5 — Tegangan ijin tendon prategang

Tata cara ini tidak membedakan antara tegangan tendon prategang efektif dan sementara. Hanya ada satu batas tegangan tendon prategang. Hal ini dikarenakan tegangan awal tendon (segera setelah transfer) dapat berlaku untuk waktu yang cukup panjang, bahkan hingga setelah struktur dipakai. Karena itu tegangan ini harus memiliki faktor keamanan yang memadai pada kondisi layan dan tidak dapat dianggap sebagai tegangan sementara. Penurunan berturut-turut tegangan tendon akibat kehilangan tegangan hanya dapat memperbaiki kondisi dan batas pengurangan tegangan tersebut tidak dibatasi dalam tata cara ini.

S20.5.1 — Tegangan ijin tendon telah direvisi untuk mengakomodasi kuat leleh yang lebih tinggi dari kawat dan *strand* relaksasi rendah yang memenuhi persyaratan-persyaratan *ASTM A 421* dan *A 416*. Untuk tendon-tendon tersebut, tegangan ijin sebagai fungsi kuat leleh minimum yang ditetapkan *ASTM* adalah lebih baik digunakan daripada sebagai fungsi kuat tarik minimum yang ditetapkan *ASTM*. Untuk kawat dan *strand* relaksasi rendah, dengan f_{py} sama dengan $0,90f_{pu}$, maka batas $0,94f_{py}$ dan $0,82f_{py}$ akan berturut-turut ekuivalen dengan $0,85f_{pu}$ dan $0,74f_{pu}$.

Mengingat sejak tata cara yang sebelumnya telah diperkenankan memakai tegangan awal tendon ijin yang lebih tinggi, maka tegangan akhir dapat lebih besar. Perencana harus waspada dalam menentukan batas pada tegangan akhir bila struktur terkena kondisi lingkungan yang korosif atau pembebanan berulang.

S20.6 — Kehilangan prategang

S20.6.1 — Untuk menjelaskan bagaimana menghitung

TATA CARA

f_{se} , harus diperhitungkan kehilangan tegangan prategang akibat beberapa hal berikut:

20.6.1.1 — Dudukan angkur pada saat penyaluran gaya.

20.6.1.2 — Perpendekan elastis beton.

20.6.1.3 — Rangkak beton.

20.6.1.4 — Susut beton.

20.6.1.5 — Relaksasi tegangan tendon.

20.6.1.6 — Friksi akibat kelengkungan yang disengaja atau tidak disengaja dalam tendon pasca-tarik.

20.6.2 — Kehilangan akibat friksi pada tendon pasca-tarik

20.6.2.1 — Pengaruh kehilangan akibat friksi pada tendon pasca-tarik harus dihitung dari

$$P_s = P_x e^{(K\ell_x + \mu\alpha)} \quad (107)$$

bila $(K\ell_x + \mu\alpha)$ tidak lebih besar dari 0,30, maka pengaruh kehilangan akibat friksi boleh dihitung sebagai berikut,

$$P_s = P_x (1 + K\ell_x + \mu\alpha) \quad (108)$$

20.6.2.2 — Kehilangan akibat friksi harus didasarkan pada koefisien friksi akibat *wobble* K dan kelengkungan μ yang ditentukan secara eksperimental, dan harus dibuktikan pada saat pelaksanaan penarikan tendon dilakukan.

20.6.2.3 — Nilai koefisien friksi akibat *wobble* dan kelengkungan yang dipakai dalam perhitungan perencanaan harus dicantumkan dalam gambar perencanaan (Tabel 14).

PENJELASAN

kehilangan prategang, lihatlah Referensi 20.3 sampai dengan 20.6. Nilai jumlah gabungan (*lump sum*) kehilangan prategang untuk komponen struktur pratarik dan pasca tarik yang diperlihatkan sebelum 1983 dianggap tak terpakai lagi. Penaksiran kehilangan tegangan prategang yang cukup akurat dapat dilakukan sesuai dengan rekomendasi di Referensi 20.6, yang mempertimbangkan tingkat tegangan awal ($0,7f_{pu}$ atau lebih tinggi), jenis tulangan prategang (kawat, *strand*, atau batang yang bebas tegangan atau relaksasi rendah), kondisi paparan (*exposure*), dan tipe pelaksanaan konstruksi (pratarik, pasca tarik dengan lekatan atau tanpa lekatan).

Kehilangan aktual, lebih besar atau lebih kecil dari nilai perhitungan, punya pengaruh kecil pada kekuatan komponen struktur, tapi berpengaruh pada perilaku beban layan (lendutan, lawan-lendut, beban retak) dan sambungan. Pada beban layan, penaksiran berlebihan kehilangan prategang dapat mengakibatkan kerusakan yang hampir sama dengan yang diakibatkan oleh penaksiran kurang, karena yang disebut pertama dapat menghasilkan lawan-lendut berlebihan dan gerak horizontal.

S20.6.2 — Kehilangan akibat friksi pada tendon pasca-tarik

Koefisien yang tertera di Tabel 14 memberikan kisaran yang umumnya dapat diterima. Karena banyak jenis selongsong, tendon, dan bahan pembungkus yang ada, nilai-nilai ini hanya dapat dipakai sebagai acuan. Bila dipakai selongsong kaku, koefisien *wobble* K dapat dianggap nol. Untuk tendon besar dalam jenis selongsong semi kaku faktor *wobble* dapat juga dianggap nol. Nilai-nilai koefisien yang akan dipakai untuk jenis tendon dan selongsong khusus harus diperoleh dari pabrik tendon-tendon yang bersangkutan. Suatu evaluasi kehilangan friksi yang terlalu rendah dapat menyebabkan nilai lawan-lendut komponen struktur yang tidak betul dan prategangan yang kurang. Penaksiran yang berlebihan dapat menghasilkan ekstra gaya prategang. Hal ini dapat menjurus pada camber berlebihan dan perpendekan komponen struktur secara berlebihan. Bila faktor-faktor friksi yang dipakai kurang dari yang diasumsikan dalam perencanaan, penarikan tendon harus disesuaikan agar hanya memberikan gaya prategang di bagian-bagian kritis struktur yang disyaratkan oleh desain.

S20.6.2.3 — Bila keamanan atau kemampuan layanan struktur akan sangat dipengaruhi maka kisaran gaya penarikan tendon atau batas persyaratan-persyaratan lain yang dapat diterima harus diberikan atau disetujui oleh insinyur struktur didalam memenuhi tegangan ijin dari Pasal 20.4 dan 20.5.

TATA CARA

PENJELASAN

**TABEL 14—KOEFSIEN FRIKSI TENDON PASCA TARIK
UNTUK DIGUNAKAN PADA PERSAMAAN 107 ATAU 108**

		Koefisien wobble K (1/m)	Koefisien friksi μ
Tendon yang di- gROUT dalam pembungkus logam	Tendon kawat	0,0033 - 0,0049	0,15 - 0,25
	Batang kekuatan tinggi	0,0003 - 0,0020	0,08 - 0,30
	Strand 7 kawat	0,0016 - 0,0066	0,15 - 0,25
Tendon tanpa lekatan Dilapisi semen- perekat (mastric)	Tendon kawat	0,0033 - 0,0066	0,05 - 0,15
	Strand 7 kawat	0,0033 - 0,0066	0,05 - 0,15
Tendon tanpa lekatan Di pra-lumasi (pre-greased)	Tendon kawat	0,0010 - 0,0066	0,05 - 0,15
	Strand 7 kawat	0,0010 - 0,0066	0,05 - 0,15

20.6.3 — Bila kehilangan prategang dalam suatu komponen struktur terjadi akibat komponen struktur tersebut menyatu dengan komponen struktur lain disekitarnya, maka kehilangan gaya prategang tersebut harus diperhitungkan dalam perencanaan.

20.7 — Kuat lentur

20.7.1 — Kuat momen rencana dari komponen struktur lentur harus dihitung dengan metode perencanaan batas yang tercantum dalam tata cara ini. Dalam perhitungan kekuatan dari tendon prategang, f_y harus diganti dengan f_{ps} .

20.7.2 — Bila tidak dihitung secara lebih teliti berdasarkan konsep kompatibilitas regangan, nilai f_{ps} boleh didekati dengan formula berikut asalkan nilai f_{se} tidak kurang dari $0,5f_{pu}$.

(a) Untuk komponen struktur yang menggunakan tendon prategang dengan lekatan penuh:

S20.7 — Kuat lentur

S20.7.1 — Kuat momen rencana komponen struktur lentur prategang boleh dihitung memakai persamaan-persamaan kekuatan yang sama dengan yang dipakai untuk komponen-komponen beton non-prategang. Tata cara sebelumnya menyediakan persamaan-persamaan kekuatan untuk penampang persegi panjang dan yang pakai flens, dengan hanya tulangan tarik saja dan dengan tulangan tarik dan tekan. Bila sebagian tulangan prategang berada di daerah tekan, suatu metoda berdasarkan kondisi keseimbangan praktis dan kompatibilitas regangan pada kondisi beban terfaktor harus dipakai.

Untuk penampang-penampang lain, kuat momen rencana ϕM_n dihitung dengan analisis berdasarkan pada kompatibilitas tegangan dan regangan, memakai sifat-sifat terganggan-regangan tendon prategang dan asumsi yang diberikan di Pasal 12.2.

S20.7.2 — Pers. (109) dapat memberikan nilai taksiran yang rendah untuk kekuatan balok dengan persentase tulangan yang tinggi dan untuk evaluasi kekuatan yang lebih akurat, dapat digunakan metoda komtabilitas regangan dan metode keseimbangan. Pemakaian Pers. (109) dipandang cocok bila semua penulangan prategang berada di daerah tarik. Bila sebagian penulangan prategang berada di daerah tekan maka metoda komtabilitas regangan dan keseimbangan harus dipakai.

TATA CARA

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right) \quad (109)$$

jika pengaruh tulangan tekan diperhitungkan pada saat menghitung f_{ps} dengan Persamaan 109, maka suku

$$\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right]$$

harus diambil tidak kurang dari 0,17 dan d' tidak lebih dari **0,15 d_p** .

(b) Untuk komponen struktur yang menggunakan tendon prategang tanpa lekatan dan dengan rasio perbandingan antara bentang terhadap tinggi komponen struktur tidak lebih dari 35:

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\rho_p} \quad (110)$$

tetapi nilai f_{ps} dalam Persamaan 110 tidak boleh diambil lebih besar dari f_{py} ataupun ($f_{se} + 400$).

(c) Untuk komponen struktur yang menggunakan tendon prategang tanpa lekatan dan dengan suatu rasio bentang terhadap tinggi lebih besar dari 35:

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300\rho_p} \quad (111)$$

tetapi nilai f_{ps} dalam Persamaan 111 tidak boleh diambil lebih besar dari f_{py} ataupun ($f_{se} + 200$).

20.7.3 — Tulangan non-prategang dari baja-tulangan ulir bila digunakan bersama-sama dengan tendon prategang, boleh dianggap menyumbangkan gaya tarik dan boleh dimasukkan dalam perhitungan kuat momen dengan tegangan sebesar tegangan leleh rencana f_y . Tulangan non-prategang jenis lainnya boleh disertakan dalam perhitungan kekuatan hanya bila analisis yang digunakan untuk menentukan tegangan pada tulangan tersebut didasarkan pada kompatibilitas regangan.

20.7.4 — Skema penampang dalam keadaan lentur batas adalah sebagai berikut (Gambar 36):

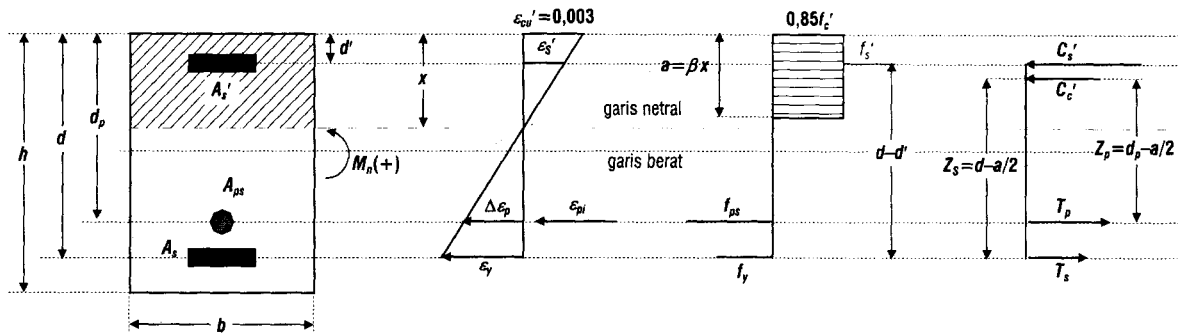
PENJELASAN

Dengan memasukkan suku ω' , Pers. (109) mencerminkan peningkatan nilai f_{ps} yang diperoleh bila tulangan tekan disediakan pada balok dengan indeks tulangan besar. Bila suku $[\rho_p f_{pu} / f'_c + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ dalam Pers. (109) kecil, tinggi garis netral akan kecil, tulangan tekan tidak akan mencapai kuat lelehnya, dan Pers. (109) menjadi tidak konservatif. Inilah yang menjadi alasan mengapa suku $[\rho_p f_{pu} / f'_c + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ dalam Pers. (109) tidak boleh diambil kurang dari 0,17 bila tulangan tekan diperhitungkan pada waktu menghitung f_{ps} . Bila tulangan tekan diabaikan waktu memakai Pers. (109), maka ω' diambil bernilai nol, kemudian suku $[\rho_p f_{pu} / f'_c + (d/d_p)\omega]$ boleh kurang dari 0,17 dan diperoleh nilai f_{ps} yang lebih tinggi dan benar.

Bila d' bernilai tinggi, regangan tulangan tekan dapat menjadi sangat kecil dibanding dengan regangan lelehnya. Dalam kasus demikian, tulangan tekan tidak mempengaruhi f_{ps} ke arah yang menguntungkan sebagaimana terimplikasi dalam Pers. (109). Untuk alasan ini, pemakaian Pers. (109) dibatasi pada balok-balok yang d' -nya bernilai kurang dari atau sama dengan **0,15 d_p** .

Suku $[\rho_p f_{pu} / f'_c + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ dalam Pers. (109) boleh juga ditulis $[\rho_p f_{pu} / f'_c + A_s f_y / (b d_p f'_c) - A_s' f_y / (b d_p f'_c)]$. Bentuk ini mungkin lebih memudahkan, seperti halnya bila tidak ada tulangan tarik non-prategang.

Pers. (111) mencerminkan hasil-hasil uji pada komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan rasio bentang terhadap tinggi lebih besar dari 35 (pelat satu arah, pelat datar, dan lantai datar (*flat slabs*)).^{20.7} Hasil uji ini juga menunjukkan bahwa Pers. (110) yang sebelumnya dipakai untuk semua rasio bentang terhadap tinggi, memberi taksiran jumlah peningkatan tegangan yang lebih besar dalam komponen-komponen struktur seperti itu. Meskipun hasil uji tersebut menunjukkan bahwa kuat momen pada komponen-komponen struktur yang tidak tinggi yang direncanakan memakai Pers. (110) memenuhi persyaratan kuat beban terfaktor, hal ini menunjukkan pengaruh persyaratan tulangan lekatan minimum, dan begitu juga pembatasan tegangan tarik beton yang sering mengendalikan jumlah gaya prategang yang diperlukan.



Gambar 36—Skema penampang dalam keadaan lentur batas

Keterangan:

- a = tinggi blok tekan
- C'_s = gaya pada tulangan tekan
- C'_c = gaya tekan pada beton
- ϵ_{pi} = regangan awal kabel prategang
- T_p = gaya pada kabel prategang
- T_s = gaya pada tulangan tarik
- x = jarak garis netral dari serat tekan terluar
- $\Delta\epsilon_p$ = regangan kabel prategang akibat lentur

Keseimbangan penampang:

$$(a) C'_s + C'_c = T_p + T_s$$

$$C'_s = A'_s f'_s$$

$$C'_c = 0,85 f'_c b a$$

$$T_p = A_p f_{ps}$$

$$T_s = A_s f_y$$

$$(b) M_n = C'_c (h/2 - a/2) + C'_s (h/2 - d') + T_s (d - h/2) + T_p (d_p - h/2)$$

Jika tulangan tekan diabaikan:

$$M_n = T_s (d - a/2) + T_p (d_p - a/2)$$

Keterangan:

$T_s (d - a/2)$ = momen nominal yang dipikul oleh tulangan tarik

$T_p (d_p - a/2)$ = momen nominal yang dipikul oleh kabel prategang

Persentase prategang:

$$p = \frac{T_p (d_p - a/2)}{T_p (d_p - a/2) + T_s (d - a/2)} 100\%$$

TATA CARA**PENJELASAN**

Apabila penampang merupakan beton prategang penuh:

$$M_n = T_p (d_p - a/2)$$

20.8 — Batasan tulangan pada komponen struktur lentur

20.8.1 — Rasio baja tulangan prategang dan baja tulangan non-prategang yang digunakan untuk perhitungan kuat momen suatu komponen struktur, kecuali seperti ditentukan dalam 20.8.2, harus sedemikian hingga ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$, atau $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega_w - \omega'_w)]$ harus tidak boleh lebih besar dari $0,36\beta_1$.

20.8.2 — Bila rasio tulangan yang ada melampaui nilai yang ditentukan dalam 20.8.1, maka kuat momen rencana tidak boleh melampaui kuat momen yang dihitung berdasarkan bagian tekan dari momen kopel.

20.8.3 — Jumlah total baja tulangan non-prategang dan baja tulangan prategang harus cukup untuk dapat menghasilkan beban terfaktor paling sedikit sebesar 1,20 kali beban retak yang dihitung berdasarkan nilai modulus retak f_r , yang ditentukan dalam 11.5.2.3. Aturan ini dapat diabaikan untuk:

- (a) Pelat dua arah pasca tarik tanpa lekatan
- (b) Komponen struktur lentur dengan kuat geser dan lentur paling sedikit dua kali dari yang ditentukan dalam 11.2.

S20.8 — Batasan tulangan pada komponen struktur lentur

S20.8.1 — Suku-suku ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$, dan $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega_w - \omega'_w)]$ masing-masing adalah sama dengan $0,85a/d_p$, dimana a adalah tinggi blok tegangan persegi ekuivalen untuk penampang yang ditinjau, sebagaimana didefinisikan di 12.2.7.1. Pemakaian hubungan ini dapat menyederhanakan perhitungan yang diperlukan untuk memeriksa kesesuaian dengan 20.8.1.

S20.8.2 — Kuat momen rencana komponen struktur dengan tulangan-lebih (*overreinforced*) boleh dihitung dengan memakai persamaan kekuatan yang sama dengan yang digunakan untuk komponen struktur beton non prategang. *ACI Code* 1983 menyediakan persamaan kekuatan untuk penampang persegi panjang dan yang pakai flens.

S20.8.3 — Ketentuan ini adalah untuk mencegah terjadinya gagal lentur mendadak yang dapat berkembang segera setelah terbentuknya retak. Komponen struktur lentur yang direncanakan sesuai ketentuan-ketentuan tata cara ini mensyaratkan tambahan beban yang cukup besar di atas kondisi beban retak untuk mencapai kekuatan lenturnya. Tambahan beban ini akan menghasilkan lendutan yang lumayan besarnya sehingga dapat menjadi peringatan bahwa kuat nominal komponen struktur hampir tercapai. Bila kuat lentur tercapai segera setelah terjadi retak, peringatan lendutan tersebut tidak akan terjadi.

Karena sangat terbatasnya lingkup retak awal di daerah momen negatif dekat kolom-kolom dari pelat datar dua arah, pola beban-defleksi tidak memperlihatkan perubahan mendadak dalam kekakuan di saat modulus retak beton tercapai.

Hanya pada tingkat beban rencana yang di luar beban (terfaktor) tambahan retak yang cukup besar dapat menyebabkan perubahan mendadak dalam pola beban-lendutan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa tendon-tendon pasca tarik tanpa lekatan di pelat dua arah tidak mungkin putus (bahkan leleh) sebelum terjadi kegagalan geser pons.^{20.8.20.9, 20.10.,20.11, 20.12, 20.13} Pemakaian tendon tanpa lekatan dalam kombinasi dengan persyaratan tulangan dengan lekatan minimum dari 20.9.3 dan 20.9.4 telah menunjukkan dapat memberikan daktilitas pasca retak dan bahwa pola kegagalan getas tidak akan terjadi setelah terbentuknya retak pertama.

TATA CARA

20.9 — Tulangan non-prategang minimum

20.9.1 — Pada semua komponen struktur lentur yang menggunakan sistem tendon prategang tanpa lekatan, harus dipasang suatu tulangan non-prategang minimum yang memenuhi ketentuan 20.9.2 dan 20.9.3.

20.9.2 — Kecuali bila dihitung berdasarkan ketentuan dalam 20.9.3, luas tulangan non-prategang minimum harus dihitung dari

$$A_s = 0,004A \quad (112)$$

20.9.2.1 — Tulangan non-prategang yang ditentukan oleh Persamaan 112 harus disebar merata pada daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan, dan dipasang sedekat mungkin ke serat tarik terluar dari penampang.

20.9.2.2 — Tulangan non-prategang tetap diperlukan tanpa memperhatikan tingkat kondisi tegangan yang terjadi akibat beban layan yang bekerja.

20.9.3 — Untuk pelat datar dua-arah, yang didefinisikan sebagai pelat masif dengan tebal yang seragam, luas minimum dan distribusi dari tulangan non-prategangnya harus mengikuti ketentuan berikut.

20.9.3.1 — Tulangan non-prategang tidak diperlukan pada daerah momen positif dimana tegangan tarik beton yang didapat dari perhitungan pada beban kerja (setelah semua

PENJELASAN

S20.9 — Tulangan non-prategang minimum

S20.9.1 — Sejumlah tulangan non-prategang disyaratkan oleh tata cara ini pada komponen struktur prategang dengan tendon tanpa lekatan untuk menjamin kinerja lentur pada kekuatan batas komponen, daripada hanya sebagai suatu aksi lengkung, dan untuk membatasi lebar dan spasi retak pada beban layan ketika tegangan tarik beton melampaui modulus retaknya. Pemasangan tulangan non prategang minimum sebagaimana dianjurkan dalam 20.9 membantu menjamin kinerja yang memadai tampilan.

Penelitian menunjukkan bahwa komponen struktur pasca tarik tanpa lekatan tidak memiliki kapasitas besar untuk mendisipasi energi pada kondisi gempa kuat karena respons komponen struktur tersebut yang utamanya bersifat elastis. Untuk alasan ini, komponen struktur pasca tarik tanpa lekatan yang diberi tulangan sesuai ketentuan pasal ini harus dianggap hanya memikul beban vertikal saja dan bertindak sebagai diafragma horizontal di antara komponen-komponen struktur pendisipasi energi pada saat terkena gempa kuat sebagaimana yang ditetapkan dalam 23.2.1.1. Tulangan non-prategang minimum yang disyaratkan oleh Pers. (112) dan (114) adalah luas minimum absolut yang tidak tergantung pada mutu baja atau kuat leleh desain.

S20.9.2 — Jumlah minimum tulangan non prategang untuk komponen struktur selain pelat datar dua arah didasarkan pada riset yang membandingkan perilaku tendon balok pasca tarik yang berlekatan dan tanpa lekatan. Walaupun riset terbatas pada komponen struktur selain balok dan pelat datar, ketentuan dari 20.9.2 juga dapat digunakan untuk balok dan sistem pelat yang tidak secara spesifik disebut di Referensi 20.14. Kebutuhan untuk memakai Pers. (112) pada pelat datar dua arah belum didukung oleh data uji, dan karena itu, persyaratan yang aslinya dimuat dalam *ACI Code 71* telah dimodifikasi dalam *ACI Code 77*.

S20.9.3 — Jumlah minimum tulangan non prategang pada pelat datar dua arah didasarkan atas laporan *ACI-ASCE Committee 423*.^{20.3,20.15} Beberapa hasil riset yang tersedia, yang jumlahnya terbatas, untuk lantai datar dua arah dengan panel turun (*drop panels*)^{20.16} atau pelat wafel^{20.17} menunjukkan bahwa perilaku sistem-sistem ini adalah sama dengan perilaku pelat datar. Namun, sampai diperoleh informasi yang lebih lengkap, Pasal 20.9.3 dibatasi hanya berlaku untuk pelat datar dua arah (pelat pejal dengan tebal seragam) dan 20.9.2 dapat diberlakukan untuk pada semua sistem pelat dua arah yang lain.

S20.9.3.1 — Untuk kondisi beban dan panjang bentang yang umum, uji pelat datar yang dirangkum dalam laporan *ACI-ASCE Committee 423*^{20.3} dan pengalaman sejak *ACI*

TATA CARA

kehilangan tegangan prategang diperhitungkan) tidak melampaui $(1/6)\sqrt{f'_c}$.

20.9.3.2 — Pada daerah momen positif dimana tegangan tarik beton yang didapat dari perhitungan pada beban kerja melampaui $(1/6)\sqrt{f'_c}$, luas minimum dari tulangan non-prategang harus dihitung dari

$$A_s = \frac{N_c}{0,5f_y} \quad (113)$$

dimana tegangan leleh rencana f_y tidak melampaui 400 MPa. Tulangan non-prategang harus didistribusikan secara merata pada daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan, dan diletakkan sedekat mungkin pada serat tarik terluar dari penampang.

20.9.3.3 — Dalam daerah momen negatif pada kolom penumpu, luas tulangan non-prategang minimum dalam masing-masing arah yang dipasang pada bagian atas pelat harus dihitung dari

$$A_s = 0,00075 A_{cf} \quad (114)$$

Tulangan non-prategang yang disyaratkan oleh Persamaan 114 harus didistribusikan dalam suatu lebar pelat yang dibatasi dua garis yang berjarak $1,5h$ dari masing-masing sisi muka kolom penumpu yang saling bertolak belakang. Dalam masing-masing arah, paling sedikit harus dipasang empat batang tulangan atau kawat. Spasi tulangan non-prategang haruslah tidak melebihi 300 mm.

20.9.4 — Panjang minimum tulangan non-prategang yang ditentukan dalam 20.9.2 dan 20.9.3 adalah sebagai berikut:

20.9.4.1 — Dalam daerah momen positif, panjang minimum tulangan non-prategang adalah sepertiga bentang bersih dan dipasang secara sentral dalam daerah momen positif.

PENJELASAN

Code 1963 berlaku menunjukkan bahwa komponen struktur prategang tanpa tulangan non-prategang memperlihatkan kinerja yang memuaskan di daerah yang dijelaskan dalam Pasal 20.9.3.1.

S20.9.3.2 — Di daerah momen positif, dimana tegangan tarik beton berada diantara $(1/6)\sqrt{f'_c}$ dan $(1/2)\sqrt{f'_c}$, suatu tulangan dengan lekatan minimum perlu diadakan sesuai Pers. (113). Gaya tarik N_c dihitung pada beban kerja berdasarkan penampang homogen yang tidak retak.

S20.9.3.3 — Riset pada pelat datar pasca tarik tanpa lekatan yang dievaluasi oleh *ACI-ASCE Committee* 423^{20.1,20.3,20.16} menunjukkan bahwa tulangan non-prategang di daerah momen negatif, yang diproporsikan berdasarkan 0,075 persen dari luas penampang melintang lajur pelat-balok, memberikan daktilitas yang cukup dan mengurangi lebar dan spasi retak. Untuk memperhitungkan perbedaan bentang tributari yang bersebelahan, Pers. (114) diberikan atas dasar portal ekuivalen sebagaimana ditentukan di Pasal 15.7.2 dan diilustrasikan pada Gambar 31. Untuk pelat panel persegi panjang, Pers. (114) secara konservatif didasarkan pada nilai yang lebih besar dari luas penampang dua lajur balok-pelat rangka ekuivalen yang berpotongan di kolom. Hal ini menjamin agar prosentase minimum baja yang direkomendasi oleh riset disediakan pada kedua arah. Konsentrasi tulangan ini di bagian atas pelat langsung di atas dan sedekat mungkin dengan kolom adalah sangat penting. Hasil riset juga menunjukkan bahwa bilamana terjadi tegangan tarik rendah pada beban kerja, maka perilaku yang memuaskan akan dapat dicapai pada beban terfaktor tanpa tulangan non prategang. Namun demikian, peraturan mensyaratkan pemasangan tulangan non prategang minimum tanpa peduli pada tingkat tegangan beban pada layan untuk membantu menjamin kontinuitas dan daktilitas lentur, dan untuk membatasi lebar dan spasi retak akibat beban berlebih, temperatur, atau susut. Hasil riset pada sambungan pelat datar pasca tarik ke kolom dilaporkan di Referensi 20.10, 20.11, 20.18, 20.19, dan 20.20.

S20.9.4 — Tulangan non-prategang harus dijangkar untuk mengembangkan gaya beban terfaktor. Persyaratan-persyaratan dalam Pasal 14 akan menjamin bahwa tulangan non-prategang yang dibutuhkan untuk kuat lentur terhadap beban terfaktor sesuai dengan 20.7.3, atau untuk kondisi tegangan tarik pada beban layan sesuai dengan 20.9.3.2, akan terjangkar untuk mengembangkan gaya-gaya tarik

TATA CARA

20.9.4.2 — Dalam daerah momen negatif, tulangan non-prategang harus diperpanjang hingga seperenam dari bentang bersih pada masing-masing sisi dari komponen penumpu.

20.9.4.3 — Bila untuk kuat momen rencana disediakan tulangan non-prategang sesuai dengan ketentuan 20.7.3, atau untuk kondisi tegangan tarik yang sesuai dengan ketentuan 20.9.3.2, maka panjang minimum tulangan harus juga memenuhi ketentuan Pasal 14.

20.10 — Struktur statis tak-tentu

20.10.1 — Rangka dan struktur menerus beton prategang harus direncanakan agar memenuhi syarat kemampuan layan pada kondisi beban kerja dan agar memberikan kekuatan yang cukup.

20.10.2 — Tingkat layan dari struktur pada kondisi beban kerja harus ditentukan dengan analisis elastis, yang memperhitungkan reaksi, momen, geser, dan gaya aksial yang timbul akibat adanya prategang, rangkai, susut, perubahan suhu, deformasi aksial, kekangan deformasi yang diberikan oleh komponen struktur yang menyatu dengan elemen yang ditinjau, dan penurunan fondasi.

20.10.3 — Momen yang digunakan untuk menghitung kuat perlu adalah jumlah dari momen akibat reaksi yang ditimbulkan oleh pelaksanaan prategang (dengan suatu faktor beban sama dengan 1,0) dan momen akibat beban terfaktor, termasuk redistribusi momen seperti yang diizinkan dalam 20.10.4.

PENJELASAN

atau tekan. Panjang minimum berlaku untuk tulangan non prategang yang disyaratkan oleh 20.9.2 atau 20.9.3.3, tapi tidak disyaratkan untuk kuat lentur sesuai dengan 20.7.3. Hasil riset^{20.1} pada bentang menerus menunjukkan bahwa panjang minimum tersebut menghasilkan perilaku yang memadai pada kondisi beban layan dan beban terfaktor.

S20.10 — Struktur statis tak-tentu

S20.10.3 — Untuk struktur statis tak-tentu, momen akibat reaksi-reaksi yang ditimbulkan oleh gaya prategang, yang disebut sebagai momen sekunder, cukup berarti baik pada status elastis maupun inelastis. Bila sendi-sendi dan redistribusi penuh momen terjadi untuk membentuk struktur statis tertentu, maka momen sekunder menghilang. Namun demikian, deformasi elastis yang ditimbulkan oleh tendon yang ditarik secara tidak berurutan (*nonconcordant*) mengubah jumlah rotasi inelastis yang diperlukan untuk memperoleh sejumlah tertentu redistribusi momen. Sebaliknya, untuk balok dengan suatu kapasitas rotasi inelastis yang diketahui, jumlah dengan mana momen di perletakan bisa divariasikan dapat diubah oleh suatu jumlah yang sama dengan momen sekunder di tumpuan akibat prategang. Jadi, tata cara mensyaratkan bahwa momen sekunder dimasukkan dalam penentuan momen desain.

Untuk menentukan momen yang dipakai dalam desain, urutan perhitungan haruslah sebagai berikut: (a) tentukan momen akibat beban mati dan beban hidup; (b) modifikasi dengan penambahan momen sekunder; (c) redistribusi sebagaimana diijinkan. Momen sekunder positif di perletakan yang ditimbulkan oleh tendon yang berubah bentuk ke bawah dari suatu profil konkordan akan mengurangi momen negatif dekat perletakan tersebut dan meningkatkan momen positif di daerah tengah bentang. Tendon yang berubah bentuk ke atas akan mempunyai pengaruh sebaliknya.

TATA CARA

20.10.4 — Redistribusi momen negatif pada komponen struktur lentur prategang menerus

20.10.4.1 — Pada daerah tumpuan dimana disediakan tulangan non-prategang berdasarkan ketentuan 20.9, momen negatif yang dihitung dengan teori elastis untuk setiap pola pembebanan boleh diperbesar atau diperkecil tidak lebih dari

$$20 \left[1 - \frac{\omega_p + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')}{0,36\beta_1} \right] \%$$

20.10.4.2 — Momen negatif yang telah diubah tadi harus digunakan untuk menghitung momen-momen pada penampang di sepanjang bentang untuk pola pembebanan yang sama.

20.10.4.3 — Redistribusi momen negatif hanya boleh dilakukan bila penampang yang momennya direduksi direncanakan sedemikian hingga ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$, atau $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega_w - \omega'_w)]$, yang manapun yang berlaku, tidak lebih besar dari $0,24\beta_1$.

20.11 — Komponen struktur tekan — Kombinasi gaya lentur dan aksial

20.11.1 — Komponen struktur beton prategang yang mengalami beban kombinasi lentur dan aksial, dengan ataupun tanpa tulangan non-prategang, harus dirancang dengan menggunakan metode perencanaan kekuatan yang ditetapkan dalam Tata cara ini untuk komponen struktur non-prategang.

PENJELASAN

S20.10.4 — Redistribusi momen negatif pada komponen struktur lentur prategang menerus

Pada saat perilaku komponen struktur mendekati kekuatannya, perilaku inelastis di beberapa penampang dapat menghasilkan redistribusi momen di balok dan pelat beton prategang. Mengetahui adanya perilaku ini dapat menguntungkan dalam desain pada keadaan tertentu. Metode perencanaan yang tepat untuk redistribusi momen adalah kompleks. Namun, adanya redistribusi momen dapat diselesaikan dengan mengijinkan penyesuaian yang masuk akal mengenai jumlah momen dari hasil akibat beban gravitasi terfaktor yang dihitung secara elastis dan momen sekunder tidak terfaktor akibat prategang. Jumlah penyesuaian harus dijaga dalam batas-batas aman yang telah ditentukan sebelumnya.

Jumlah redistribusi secukupnya yang diperkenankan tergantung pada kemampuan penampang kritis untuk berubah bentuk secara inelastis. Kemampuan layanan dijelaskan di 20.4. Pilihan $0,24\beta_1$, sebagai indeks terbesar tulangan tarik, ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$, atau $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega_w - \omega'_w)]$, untuk mana redistribusi momen diperkenankan adalah cocok dengan persyaratan $0,5\rho_b$ untuk beton non prategang yang disebut di 10.4

Suku-suku ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$, atau $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega_w - \omega'_w)]$, muncul dalam Pasal 20.10.4.1 dan 20.10.4.3 dan masing-masing sama dengan $0,85a/d_p$, dimana a adalah tinggi persegi panjang ekuivalen distribusi tegangan untuk penampang yang dibahas sebagaimana didefinisikan di 12.2.7.1. Pemakaian hubungan ini dapat menyederhanakan perhitungan yang diperlukan untuk menentukan jumlah redistribusi momen yang diijinkan oleh 20.10.4.1 dan untuk memeriksa kesesuaian dengan pembatasan tulangan lentur yang terkandung di 20.10.4.3.

Untuk prinsip-prinsip redistribusi momen dari 20.10.4 yang diberlakukan pada balok-balok dan pelat dengan tendon tanpa lekatan, adalah perlu bahwa balok dan pelat seperti itu mengandung cukup tulangan non prategang untuk menjamin agar komponen-komponen struktur tadi bekerja sebagai komponen struktur lentur sesudah terjadi retak dan tidak sebagai rangkaian busur berpengikat. Persyaratan tulangan dengan lekatan minimum dari 20.9 dapat mengakomodasi tujuan ini.

S20.11 — Komponen struktur tekan — Kombinasi gaya lentur dan aksial

TATA CARA

Pengaruh dari prategang, rangkai, susut, dan perubahan suhu harus ikut diperhitungkan.

20.11.2 — Batasan untuk tulangan pada komponen struktur prategang yang mengalami tekan

20.11.2.1 — Komponen struktur dengan tegangan rata-rata f_{pc} kurang dari 1,5 MPa harus mempunyai tulangan minimum sesuai dengan 12.9.1, 12.9.2 dan 9.10 untuk kolom atau 16.3 untuk dinding.

20.11.2.2 — Kecuali untuk dinding, semua tendon prategang dari komponen struktur yang mempunyai tegangan prategang rata-rata f_{pc} tidak kurang dari 1,5 MPa harus dilindungi dengan tulangan spiral atau pengikat lateral berdasarkan ketentuan berikut:

(a) Tulangan spiral harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan dalam 9.10.4.

(b) Ukuran minimum dari tulangan pengikat lateral adalah D-10 atau menggunakan jaring-kawat-baja-las dengan luas ekuivalen, dan dipasang dengan spasi vertikal tidak lebih dari 48 kali diameter tulangan atau kawat pengikat lateral, atau tidak lebih dari dimensi terkecil dari komponen struktur tekan.

(c) Tulangan pengikat harus dipasang pada jarak vertikal tidak lebih dari setengah spasinya di atas permukaan fondasi atau pelat pada sebarang lantai, dan pada jarak vertikal tidak lebih dari setengah spasinya di bawah tulangan horizontal yang paling bawah dari komponen struktur yang ditumpu di atasnya.

(d) Bila terdapat keadaan dimana balok atau *braket* merangka pada suatu kolom pada keempat sisinya, maka tulangan pengikat boleh dihentikan pada posisi tidak lebih dari 75 mm di bawah tulangan terbawah dari balok atau *braket* tersebut.

20.11.2.3 — Untuk dinding dengan tegangan prategang rata-rata f_{pc} sama dengan atau lebih besar dari 1,5 MPa, ketentuan tulangan minimum dalam 16.3 boleh diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan analisis struktur bahwa dinding tersebut mempunyai kekuatan dan stabilitas yang memadai.

20.12 — Sistem pelat

20.12.1 — Besarnya momen dan geser terfaktor yang bekerja pada sistem pelat prategang yang ditulangi lebih dari satu arah harus ditentukan berdasarkan 15.7 (kecuali 15.7.7.4 dan 15.7.7.5), atau dengan prosedur perencanaan yang lebih rinci.

PENJELASAN

S20.11.2 — Batasan untuk tulangan pada komponen struktur prategang yang mengalami tekan

S20.11.2.3 — Jumlah minimum tulangan pada Pasal 16.3 tidak perlu diberlakukan pada dinding beton prategang, asalkan prategang rata-ratanya adalah 1,5 MPa atau lebih besar dan analisis struktur dilakukan untuk menunjukkan tersedianya kekuatan dan stabilitas yang memadai dengan jumlah tulangan yang lebih rendah itu.

S20.12 — Sistem pelat

S20.12.1 — Pemakaian metode analisis rangka ekuivalen (lihat 15.7) atau prosedur analisis yang lebih teliti disyaratkan untuk menentukan momen serta geser layan dan terfaktor untuk sistem pelat prategang. Metode analisis rangka ekuivalen, telah dibuktikan melalui percobaan-percobaan pada model-model struktur besar, dapat memberikan taksiran momen dan geser terfaktor pada sistem pelat prategang secara memuaskan. (Lihat Referensi

TATA CARA

20.12.2 — Kuat lentur pelat prategang pada setiap penampang paling sedikit harus sama dengan kuat lentur perlu dengan memperhatikan 11.2, 11.3, 20.10.3 dan 20.10.4. Kuat geser pelat prategang pada kolom paling sedikit harus sama dengan kuat geser perlu dengan memperhatikan 11.2, 11.3, 13.1, 13.12.2 dan 13.12.6.2.

20.12.3 — Pada kondisi beban layan, semua batasan yang bersangkutan dengan kriteria kemampuan layan, termasuk batasan yang ditetapkan untuk lendutan, harus dipenuhi, dengan mempertimbangkan secara tepat pengaruh dari faktor yang terdapat pada 20.10.2.

20.12.4 — Untuk beban hidup yang normal dan beban terdistribusi merata, spasi tendon atau kelompok tendon prategang dalam satu arah harus tidak lebih dari 8 kali tebal pelat, ataupun 1,5 m. Spasi tendon tersebut harus juga mampu menghasilkan tegangan prategang rata-rata minimum (sesudah memperhitungkan semua kemungkinan kehilangan prategang) sebesar 0,9 MPa pada penampang pelat dalam batas tributari dari tendon atau kelompok tendon tersebut. Pada penampang geser kritis di sekitar kolom harus disediakan minimum dua tendon dalam masing-masing arah. Penentuan spasi tendon untuk pelat dengan beban terpusat harus dilakukan secara khusus.

20.12.5 — Pada pelat dengan tendon prategang tanpa lekatan, harus disediakan tulangan non-prategang sesuai dengan ketentuan 20.9.3 dan 20.9.4.

PENJELASAN

20.8, 20.9, 20.10, 20.11, 20.18, dan 20.21). Hasil riset yang dirujuk tersebut juga menunjukkan bahwa analisis memakai penampang prismatik atau perkiraan kekakuan dapat memberikan hasil salah yang tidak aman. Pasal 15.7.7.4 tidak dipakai untuk aplikasi pada sistem pelat prategang karena terkait pada pelat beton bertulang yang direncanakan dengan metode desain langsung, dan karena redistribusi momen untuk pelat prategang diatur dalam Pasal 20.10.4. Pasal 15.7.7.5 tidak berlaku untuk sistem pelat prategang karena distribusi momen antara jalur kolom dan jalur tengah yang disyaratkan oleh 15.7.7.5 didasarkan pada pengujian pelat beton non-prategang. Metode analisis sederhana memakai koefisien rata-rata tidak berlaku untuk sistem pelat beton prategang.

S20.12.2 — Percobaan-percobaan mengindikasikan bahwa kuat momen dan geser pelat prategang dikendalikan oleh kuat tendon total dan oleh jumlah serta lokasi tulangan non prategang, dan bukan oleh distribusi tendon (Lihat Referensi 20.8, 20.9, 20.10, 20.11, 20.18, dan 20.21).

S20.12.3 — Untuk lantai datar prategang menerus dengan dua atau lebih bentang pada masing-masing arah, rasio bentang-tebal, pada umumnya jangan lebih dari 42 untuk lantai dan 48 untuk atap; batasan-batasan ini dapat ditambah masing-masing menjadi 48 dan 52 bila perhitungan membuktikan bahwa baik lendutan serta lawan lendut jangka pendek maupun jangka panjang, serta frekuensi dan amplitudo getaran ternyata dapat diterima.

Lendutan dan lawan lendut jangka panjang harus dihitung dan diperiksa terhadap persyaratan kemampuan layan struktur.

Panjang maksimum pelat di antara sambungan-sambungan konstruksi umumnya dibatasi 30 hingga 45 m untuk mengurangi pengaruh perpendekan pelat, dan untuk menghindarkan kehilangan prategang akibat friksi.

S20.12.4 — Pasal ini secara spesifik memberikan pedoman mengenai distribusi tendon yang membolehkan pemakaian distribusi tendon selebar tertentu (*banded*) dalam satu arah. Hasil riset telah menunjukkan metoda distribusi tendon seperti ini memberikan kinerja yang memuaskan.

TATA CARA

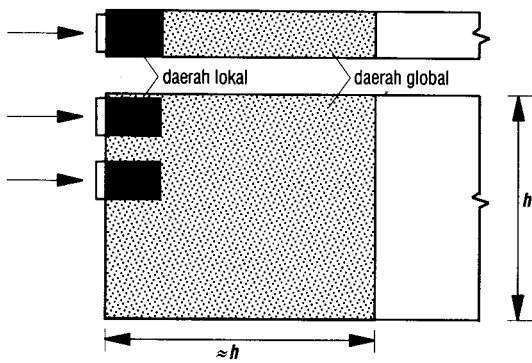
PENJELASAN

20.12.6 — Pada konstruksi pelat angkat, tulangan bawah non-prategang harus didetail sesuai dengan 15.3.8.6.

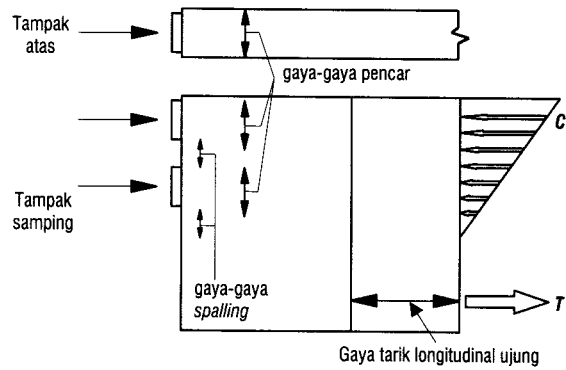
20.13 — Daerah pengangkuran tendon pasca tarik

S20.13 — Daerah pengangkuran tendon pasca tarik

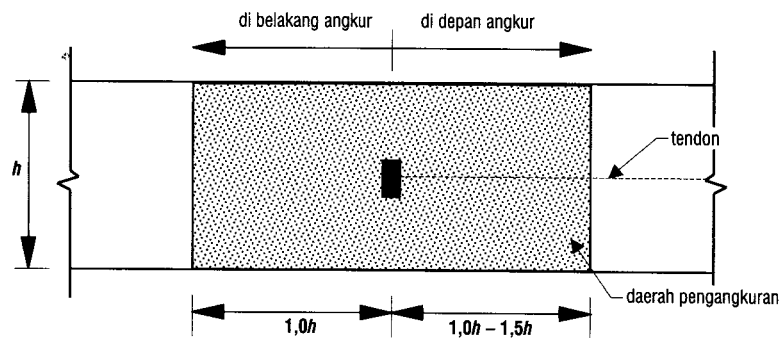
Pasal 20.13 ini telah mengalami revisi secara ekstensif dan kompatibel dengan *AASHTO* 1996 “*Standard Specifications for Highway Bridges*”^{20,22} dan rekomendasi dari *NCHRP Report 356*.^{20,23}



(a) Konsep daerah lokal dan global



(c) Daerah tegangan tarik



(b) Daerah global untuk ankur antara

Gambar 37—Daerah ankur

TATA CARA

20.13.1 — Daerah pengankuran

Daerah pengankuran dapat dibagi atas 2 daerah:

(a) Daerah pengankuran lokal, yang berbentuk prisma persegi yang berada di sekitar ankur dan tulangan-tulangan pengegang [Gambar 37(a)].

(b) Daerah pengankuran global, yang merupakan daerah pengankuran sebagaimana didefinisikan dalam 3.4 (definisi) yang juga mencakup daerah pengankuran lokal (Gambar 37).

20.13.1.1 — Daerah pengankuran lokal

20.13.1.1.1 — Perencanaan daerah pengankuran lokal harus didasarkan pada gaya tendon terfaktor, P_{su} , dan pada ketentuan 11.2.8 dan 11.3.2.5.

20.13.1.1.2 — Tulangan daerah pengankuran lokal harus dipasang di tempat dimana dibutuhkan agar ankur dapat berfungsi dengan baik.

20.13.1.1.3 — Persyaratan daerah pengankuran lokal pada 20.13.2.2 dipenuhi oleh 20.14.1 atau 20.15.1 dan 20.15.2.

20.13.1.2 — Daerah pengankuran global

20.13.1.2.1 — Perencanaan daerah pengankuran global harus didasarkan pada gaya tendon terfaktor, P_{su} , dan pada ketentuan 11.2.8 dan 11.3.2.5.

20.13.1.2.2 — Bila diperlukan pada daerah pengankuran tendon harus dipasang tulangan untuk memikul gaya pencar, belah, dan pecah yang timbul akibat pengankuran tendon. Daerah dimana terdapat perubahan penampang yang mendadak harus diberi tulangan yang cukup (Gambar 38).

20.13.1.2.3 — Persyaratan daerah pengankuran global pada 20.13.3.2 dipenuhi oleh 20.13.4, 20.13.5, 20.13.6, dan salah satu yang berlaku dari 20.14.2 atau 20.14.3 atau 20.15.3.

PENJELASAN

S20.13.1 — Daerah pengankuran

Berdasarkan atas prinsip *Saint-Venant*, lingkup daerah pengankuran dapat diestimasi kira-kira sama dengan dimensi terbesar penampang melintang. Daerah lokal dan daerah global ditunjukkan dalam Gambar 37(a). Untuk perangkat ankur antara, tegangan tarik yang tinggi juga dapat terjadi di belakang lokasi ankur. Tegangan tarik tersebut timbul akibat ketidaksesuaian deformasi di depan [sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 37(b)] dan di belakang ankur. Seluruh daerah terarsir harus dipertimbangkan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 37(b).

S20.13.1.1 — Daerah pengankuran lokal

Daerah pengankuran lokal menahan tegangan tinggi lokal yang diakibatkan oleh perangkat ankur dan menyalurkannya ke daerah pengankuran global. Perilaku daerah pengankuran lokal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat khusus perangkat ankur dan tulangan pengegangannya dan tidak terlalu dipengaruhi oleh geometri dan pembebanan dari struktur keseluruhan. Perencanaan daerah pengankuran lokal kadang-kadang tidak dapat diselesaikan sampai perangkat ankur khusus ditetapkan pada tahap gambar pelaksanaan. Bila dipakai perangkat ankur spesial, pemasok perangkat ankur harus melengkapi informasi uji yang menunjukkan bahwa perangkatnya telah memenuhi *AASHTO "Standard Specification for Highway Bridges", Division II, Artikel 10.3.2.3* dan menyediakan informasi yang berkenaan dengan kondisi-kondisi yang diperlukan untuk pemakaian ankur tersebut. Pertimbangan utama dalam perencanaan daerah pengankuran lokal adalah pengaruh tekanan tumpuan yang tinggi dan kecukupan tulangan pengegang yang ada dalam meningkatkan kapasitas beton yang menahan tegangan tumpuan.

S20.13.1.2 — Daerah pengankuran global

Dalam daerah pengankuran global ini asumsi dasar teori balok bahwa penampang datar adalah tetap datar tidak berlaku.

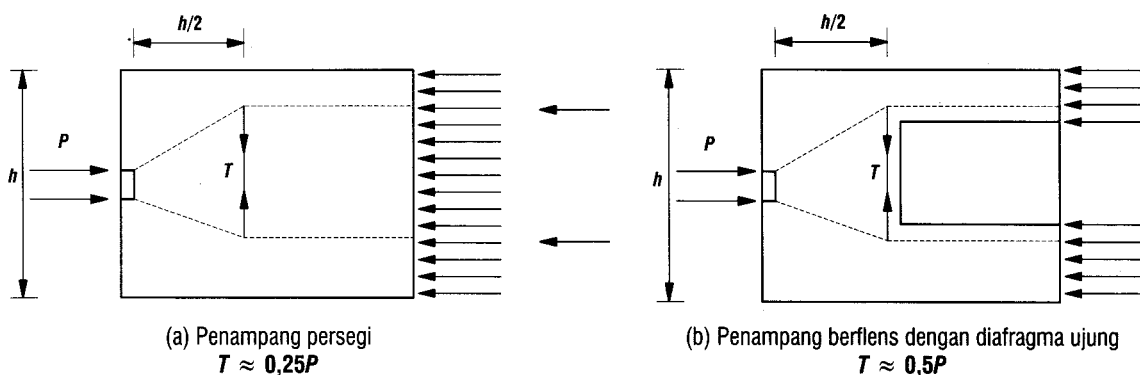
Perencanaan harus mempertimbangkan seluruh daerah tegangan tarik yang disebabkan oleh perangkat ankur tendon, termasuk pencaran, *spalling* (pecah), dan tegangan tarik tepi sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 37(c). Selain itu, tegangan tekan yang langsung berada di depan daerah pengankuran lokal [seperti ditunjukkan dalam Gambar 37(b)] harus diperiksa. Kadang-kadang kebutuhan tulangan tidak dapat ditentukan hingga tendon khusus dan letak perangkat ankur telah ditetapkan pada tahap pembuatan gambar pelaksanaan.

Tanggung jawab perencanaan dan persetujuan harus jelas tertera di gambar-gambar proyek dan spesifikasinya.

TATA CARA

PENJELASAN

Perubahan mendadak penampang dapat menyebabkan penyimpangan yang cukup berarti pada lintasan gaya. Penyimpangan-penyimpangan ini dapat meningkatkan gaya tarik yang besar sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 38.



Gambar 38—Pengaruh dari perubahan potongan penampang

20.13.2 — Kuat material nominal

20.13.2.1 — Kuat tarik nominal tulangan dengan lekatan dibatasi sebesar f_y untuk tulangan non-prategang dan sebesar f_{py} untuk tulangan prategang. Tegangan tarik nominal tulangan prategang tanpa lekatan untuk menahan gaya tarik pada daerah pengangkuran dibatasi sebesar $f_{ps} = f_{pe} + 70$.

20.13.2.2 — Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global dibatasi sebesar $0,7\lambda f'_{ci}$, kecuali untuk beton yang terkekang oleh tulangan spiral atau sengkang tertutup yang memberikan kekangan yang nilainya ekuivalen dengan yang diberikan oleh Persamaan 27.

20.13.2.3 — Kuat tekan beton pada saat penarikan tendon pasca tarik harus dicantumkan pada gambar rencana. Tendon pasca tarik tidak boleh ditegangkan sampai nilai f'_{ci} yang didapat dari pengujian tekan contoh silinder yang dirawat sesuai dengan komponen strukturnya mencapai 28 MPa untuk tendon majemuk atau paling sedikit 17,5 MPa untuk tendon atau batang tunggal. Hal di atas dapat diabaikan bilamana digunakan angkur yang ukurannya lebih besar untuk mengkompensasi nilai kuat tekan yang lebih rendah atau bilamana penegangan tendon pascatarik dibatasi maksimum 50% gaya tendon akhir.

S20.13.2 — Kuat material nominal

Deformasi inelastis beton dapat terjadi karena perencanaan daerah pengangkuran didasarkan pada pendekatan kekuatan. Nilai kuat tekan nominal yang rendah untuk beton tidak terkekang mencerminkan kemungkinan ini. Untuk beton yang terkekang dengan baik, kuat tekan efektif dapat meningkat (Lihat Referensi 20.23). Nilai kuat tarik nominal tulangan prategang berlekatan dibatasi sebesar kuat leleh baja prategang karena Pers. (109) tidak berlaku pada pemakaian bukan lentur. Nilai untuk tulangan prategang tanpa lekatan didasarkan atas nilai-nilai pada Pasal 20.7.2 (b) dan (c), tapi agak dibatasi untuk pemakaian non lentur yang pendek ini. Hasil-hasil uji yang diberikan di Referensi 20.23 menunjukkan bahwa tegangan tekan yang dihasilkan oleh prategangan tambahan yang diaplikasikan tegak lurus terhadap sumbu tendon utama dapat efektif dalam meningkatkan kapasitas daerah pengangkuran. Pemakaian faktor λ untuk beton ringan mencerminkan kuat tariknya yang lebih rendah, yang merupakan faktor yang secara tidak langsung membatasi tegangan tekan, demikian juga penyebaran yang lebar serta kegetasan hasil uji yang diperlihatkan pada daerah pengangkuran beton ringan.

Perencana disyaratkan untuk mencantumkan kuat beton saat penarikan prategang di gambar dan spesifikasi proyek. Untuk membatasi retak susut awal, tendon *strand* tunggal kadang-kadang ditarik pada kuat beton tidak kurang dari 17,5 MPa (a) karena pemakaian angkur *strand* tunggal yang berukuran berlebihan, atau (b) bila penarikan dilakukan secara bertahap, seringkali dilakukan pada tingkat 1/3 hingga 1/2 gaya akhir tendon.

TATA CARA

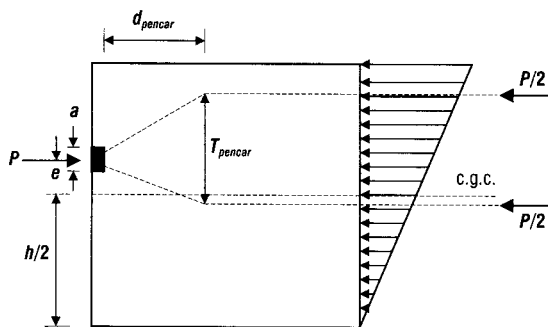
20.13.3 — Metode perencanaan

20.13.3.1 — Metode berikut boleh digunakan untuk merencanakan daerah pengankuran global selama prosedur yang dipakai telah terbukti dapat menghasilkan nilai perkiraan kekuatan yang sama dengan yang diperoleh dari hasil pengujian:

- (a) Model keseimbangan yang berdasarkan teori plastisitas (model penunjang dan pengikat),
- (b) Analisis tegangan linier (termasuk analisis elemen hingga), atau
- (c) Persamaan-persamaan yang disederhanakan.

20.13.3.2 — Persamaan-persamaan yang disederhanakan tidak boleh digunakan bilamana komponen struktur mempunyai penampang yang bukan persegi, mempunyai diskontinuitas pada atau di dekat daerah pengankuran global yang dapat merubah aliran gaya, mempunyai jarak tepi minimum yang kurang dari 1,5 kali dimensi lateral angkur pada arah tersebut atau mempunyai angkur majemuk.

Salah satu metode perhitungan yang dapat digunakan untuk perencanaan daerah pengankuran global diperlihatkan pada Gambar 39, yaitu:



Gambar 39—Contoh model penunjang dan pengikat

$$T_{pencar} = 0,25 \Sigma P_{su} (1 - a/h) \quad (115)$$

$$d_{pencar} = 0,5(h - 2e) \quad (116)$$

Keterangan:

- ΣP_{su} = jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau, N
- a = tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau, mm

PENJELASAN

S20.13.3 — Metode perencanaan

Daftar metode perencanaan dalam Pasal 20.13.5.1 termasuk prosedur-prosedur, untuk mana pedoman-pedoman yang cukup spesifik diberikan dalam Referensi 20.22 dan 20.23. Prosedur-prosedur tersebut menunjukkan prediksi kekuatan yang konservatif bila dibandingkan dengan hasil percobaan (20.23). Pemakaian model-model strat dan pengikat (*strut-and-tie*) dipandang sangat menolong untuk perencanaan daerah pengankuran global (20.23). Dalam banyak aplikasi angkur, dimana terdapat banyak atau daerah beton yang masif di sekitar angkur, persamaan yang disederhanakan dapat digunakan kecuali pada kasus-kasus yang dicatat dalam Pasal 20.13.3.2.

Pada banyak kasus, persamaan sederhana yang didasarkan pada Referensi 20.22 dan 20.23 dapat dipakai. Nilai-nilai gaya pencah, T_{pencar} dan jarak dari pusat penampang ke permukaan tumpuan angkur, d_{pencar} , dapat diperkirakan berturut-turut dari Pers. (115) dan (116). Suku-suku Pers. (115) dan (116) ditunjukkan di Gambar 39 untuk beban tendon dengan eksentrisitas kecil. Pemakaian Pers. (115) dan (116) harus mempertimbangkan urutan penarikan yang sudah ditentukan bila ada lebih dari satu tendon.

Perangkat-perangkat angkur harus diperlakukan sebagai berjarak dekat bila spasi pusat angkur ke pusat tidak lebih dari 1,5 kali lebar perangkat angkur di arah yang ditinjau.

Gaya pecah (*spalling force*) untuk tendon-tendon yang sentroidnya berada dalam daerah kern penampang dapat diperkirakan sebesar 2 persen dari total gaya tendon terfaktor, kecuali untuk perangkat multi angkur dengan spasi pusat ke pusat lebih besar dari 0,4 kali tinggi penampang. Untuk spasi yang besar dan untuk kasus-kasus dimana sentroid tendon-tendon terletak di luar daerah kern, analisis detail harus dilakukan. Selain itu, pada penampang tipis pasca tarik, atau penampang flens, atau penampang tak beraturan, atau bila tendon-tendon di daerah pengankuran global mempunyai kelengkungan yang cukup besar, maka diperlukan prosedur analisis yang lebih umum seperti *AASHTO* Artikel 9.21.4 dan 9.21.5. Rekomendasi detail untuk prinsip-prinsip perencanaan yang berlaku pada semua metode-metode perencanaan diberikan di Artikel 9.21.3.4 dari Referensi 20.22.

TATA CARA

- e = eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif), mm
- h = tinggi penampang pada arah yang ditinjau, mm

20.13.3.3 — Urutan penarikan tendon harus dicantumkan dalam gambar rencana dan diperhitungkan dalam perencanaan.

20.13.3.4 — Pengaruh tiga dimensi harus ditinjau dalam perencanaan dan dianalisis dengan menggunakan prosedur tiga dimensi atau disederhanakan dengan meninjau penjumlahan dari pengaruh-pengaruh dari kedua bidang yang saling tegak lurus.

20.13.3.5 — Untuk angkur antara, tulangan non-prategang harus dipasang untuk menyalurkan gaya minimum sebesar $0,35P_{su}$ ke bagian beton yang berada di belakang angkur. Tulangan tersebut harus dipasang secara simetris mengelilingi angkur dan harus mempunyai panjang penyaluran yang memadai baik di depan maupun di belakang angkur.

20.13.3.6 — Bilamana digunakan tendon melengkung pada daerah pengangkuran global, maka tulangan non-prategang harus dipasang untuk menahan gaya-gaya radial dan belah, kecuali untuk tendon *strand* tunggal pada pelat atau bila analisis memperlihatkan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.

20.13.3.7 — Tulangan minimum dengan kuat tarik nominal sama dengan 2% dari masing-masing gaya tendon terfaktor harus dipasang pada arah-arrah ortogonal yang sejajar dengan sisi belakang dari daerah pengangkuran untuk membatasi *spalling* (pecah), kecuali untuk tendon *strand* tunggal pada pelat atau bila analisis memperlihatkan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.

20.13.3.8 — Kuat tarik beton harus diabaikan dalam perhitungan kebutuhan tulangan.

PENJELASAN

S20.13.3.3 — Urutan penarikan perangkat angkur dapat memberi pengaruh cukup berarti pada tegangan di daerah pengangkuran global. Karena itu, hal ini penting untuk dipertimbangkan tidak saja pada tahap akhir penarikan dari urutan penarikan semua tendon, tapi juga tahap-tahap antara selama dalam pelaksanaan. Gaya pencah yang paling kritis yang ditimbulkan oleh tiap kombinasi tendon pasca tarik yang berurutan, dan juga oleh keseluruhan kelompok tendon, harus di perhitungkan.

S20.13.3.4 — Ketentuan untuk pengaruh tiga dimensi tercakup di sini untuk membuat para perencana waspada pada pengaruh tegak lurus pada bidang utama komponen, seperti gaya pencah di arah tebal badan penampang atau pelat. Dalam banyak kasus, pengaruh ini dapat ditentukan untuk tiap arah secara terpisah, tetapi pada beberapa aplikasi memerlukan analisis tiga dimensi penuh (misalkan pada diafragma untuk angkur tendon eksternal).

S20.13.3.5 — Angkur-angkur antara dipakai untuk pengangkuran tendon-tendon yang tidak menerus penuh di sepanjang komponen struktur. Tegangan tarik setempat terjadi di belakang angkur antara [lihat Gambar 37(b)] akibat persyaratan kompatibilitas deformasi di depan dan di belakang angkur. Tulangan pengikat non prategang diperlukan di sekitar angkur untuk membatasi kemungkinan retak di belakang angkur. Persyaratan $0,35P_{su}$ dikembangkan dengan memakai 25% gaya tendon tidak terfaktor yang ditahan oleh tulangan pada tegangan $0,6f_c$.

TATA CARA

20.14 — Perencanaan daerah pengankuran untuk *strand* tunggal atau batang tunggal diameter 16 mm

20.14.1 — Perencanaan daerah pengankuran lokal

Perangkat ankur dan penulangan daerah pengankuran lokal untuk *strand* tunggal atau batang tunggal diameter 16 mm atau batang tunggal dengan diameter yang lebih kecil harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

20.14.2 — Perencanaan daerah pengankuran global untuk tendon pelat lantai

20.14.2.1 — Penggunaan perangkat ankur untuk *strand* berdiameter 12,5 mm atau lebih kecil pada pelat lantai yang terbuat dari beton normal harus disertai dengan pemasangan tulangan minimum yang memenuhi ketentuan 20.14.2.2 dan 20.14.2.3, kecuali bila dapat dibuktikan melalui analisis rinci bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.

20.14.2.2 — Dua batang tulangan horizontal berdiameter sedikitnya 13 mm (D-13) harus dipasang paralel terhadap tepi pelat. Tulangan-tulangan tersebut boleh menempel pada sisi muka perangkat ankur dan harus berada dalam jarak $h/2$ di depan masing-masing perangkat ankur. Tulangan tersebut harus diperpanjang sedikitnya 150 mm dari masing-masing sisi dari setiap perangkat ankur.

20.14.2.3 — Jika spasi sumbu-ke-sumbu perangkat ankur berjarak 300 mm atau kurang, maka perangkat ankur tersebut harus ditinjau sebagai sebuah kelompok. Untuk setiap kelompok yang terdiri dari enam atau lebih perangkat ankur, harus dipasang sengkang tertutup dengan diameter minimal 10 mm (D-10) sebanyak $(n + 1)$, dimana n adalah jumlah perangkat ankur terpasang. Satu buah sengkang harus ditempatkan di antara masing-masing perangkat ankur dan satu buah dipasang pada masing-masing sisi kelompok ankur. Sengkang harus ditempatkan dengan kaki-kakinya memanjang ke arah pelat lantai dan tegak lurus tepi pelat. Bagian tengah sengkang harus ditempatkan tegak lurus terhadap bidang pelat dari $3h/8$ ke $h/2$ di depan perangkat ankur.

20.14.2.4 — Pemasangan perangkat ankur yang tidak sesuai dengan ketentuan 20.14.2.1 harus disertai dengan pemasangan tulangan minimum yang dihitung berdasarkan analisis rinci yang memenuhi ketentuan 20.13.5.

20.14.3 — Perencanaan daerah pengankuran global untuk kelompok-kelompok tendon *strand* tunggal pada balok dan gelagar

Perencanaan daerah pengankuran global untuk kelompok-kelompok tendon *strand* tunggal pada balok dan gelagar harus

PENJELASAN

S20.14 — Perencanaan daerah pengankuran untuk *strand* tunggal atau batang tunggal diameter 16 mm

S20.14.2 — Perencanaan daerah pengankuran global untuk tendon pelat lantai

Untuk tendon-tendon pelat lantai *strand* tunggal, persyaratan tulangan minimum di daerah global didasarkan pada rekomendasi *ACI-ASCE Committee 423*,^{20,24} yang menyajikan detail tipikal. Batang-batang horisontal yang paralel dengan tepi yang disyaratkan oleh 20.14.2.2 sedapatnya harus menerus.

Percobaan-percobaan yang menjadi dasar rekomendasi Referensi 20.24 dibatasi oleh perangkat ankur berdiameter 12,7 mm, *strand* 1863 MPa, tendon tanpa lekatan pada beton normal. Jadi, untuk ankur *strand* yang lebih besar dan pada semua pemakaian pada pelat beton ringan, *ACI-ASCE Committee 423* merekomendasikan bahwa jumlah dan spasi tulangan harus disesuaikan secara konservatif untuk memberikan gaya ankur yang lebih besar dan kuat tarik belah yang lebih rendah pada beton ringan.^{20,24}

Baik Referensi 20.23 dan 20.24 merekomendasikan pemakaian batang-batang berbentuk jepitan rambut untuk daerah pengankuran yang berada dalam rentang 305 mm dari pojok-pojok pelat untuk menahan gaya tarik tepi. Kata “di depan” pada Pasal 20.14.2.3 mempunyai makna seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 37.

Dalam kasus-kasus dimana perangkat ankur *strand* majemuk dipakai untuk tendon-tendon pelat, maka Pasal 20.15 berlaku.

Tulangan pencar yang dipasang tegak lurus bidang pelat yang disyaratkan oleh 20.14.2.3 untuk kelompok tendon yang berspasi rapat harus juga diberikan dalam kasus tendon-tendon yang berspasi lebar bila kegagalan perangkat ankur dapat menyebabkan lebih dari kerusakan lokal.

S20.14.3 — Perencanaan daerah pengankuran global untuk kelompok-kelompok tendon *strand* tunggal pada balok dan gelagar

Kelompok-kelompok tendon dengan perangkat ankur *strand* tunggal individual sering dipakai pada balok dan

TATA CARA

memenuhi ketentuan 20.13.3 hingga 20.13.5.

20.15 — Perencanaan daerah pengankuran untuk tendon *strand* majemuk

20.15.1 — Perencanaan daerah pengankuran lokal

Perangkat angkur dan penulangan daerah pengankuran lokal untuk *strand* majemuk harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

20.15.2 — Penggunaan perangkat angkur khusus

Bilamana digunakan perangkat angkur khusus, maka tulangan sisi tambahan harus dipasang di daerah pengankuran yang terpengaruh. Tulangan sisi ini merupakan tambahan terhadap tulangan pengekang yang disyaratkan untuk perangkat angkur yang digunakan. Bentuk konfigurasi dan rasio volume tulangan sisi yang dipasang harus sama dengan yang digunakan pada uji penerimaan kualifikasi dari perangkat angkur tersebut.

20.15.3 — Perencanaan daerah pengankuran global

Perencanaan daerah pengankuran global untuk tendon *strand* majemuk harus memenuhi ketentuan 20.13.3 hingga 20.13.5.

20.16 — Perlindungan terhadap karat untuk tendon prategang tanpa lekatan

20.16.1 — Tendon tanpa lekatan harus dibungkus dengan pelapis. Tendon harus dilapisi secara penuh dan pelapis di sekeliling tendon harus diisi dengan bahan yang sesuai yang mampu memberikan perlindungan terhadap karat dengan baik.

20.16.2 — Pelapis harus kedap air dan menerus di sepanjang bagian tendon yang direncanakan tanpa lekatan.

20.16.3 — Untuk aplikasi di lingkungan korosif, penyambungan pelapis dengan angkur penegangan, angkur tengah, dan angkur mati haruslah bersifat kedap air.

PENJELASAN

gelagar. Perangkat angkur dapat diperlakukan sebagai angkur berspasi rapat bila spasi pusat ke pusat angkur tidak melebihi 1,5 kali lebar perangkat angkur di arah yang ditinjau. Bila suatu balok atau gelagar, memiliki perangkat angkur tunggal atau kelompok angkur berspasi rapat, pemakaian persamaan yang disederhanakan seperti yang diberikan dalam S20.13.5 diijinkan, kecuali 20.13.5.2 menentukan. Kondisi yang lebih kompleks, dapat direncanakan menggunakan model-model strut dan tie. Rekomendasi detail untuk pemakaian model-model demikian diberikan di Referensi 20.22 dan 20.23 dan juga dalam S20.13.5.

S20.15 — Perencanaan daerah pengankuran untuk tendon *strand* majemuk

S20.15.1 — Perencanaan daerah pengankuran lokal

Lihat S20.13.1.1.

S20.15.2 — Penggunaan perangkat angkur khusus

Penulangan sisi adalah tulangan yang diletakkan dekat muka luar di daerah pengankuran untuk membatasi lebar dan spasi retak lokal. Penulangan di daerah pengankuran global untuk tujuan lain (lentur, geser, susut, temperatur dan sejenisnya) dapat dipakai untuk memenuhi persyaratan tambahan tulangan sisi. Penentuan tulangan sisi tambahan tergantung pada perangkat angkur yang dipakai dan seringkali hal ini tak dapat ditetapkan sampai menjelang tahap pembuatan gambar pelaksanaan.

S20.16 — Perlindungan terhadap karat untuk tendon prategang tanpa lekatan

S20.16.1 — Material yang cocok untuk perlindungan terhadap karat pada tendon tanpa lekatan harus memiliki sifat-sifat yang diidentifikasi dalam Pasal 5.1 dari Referensi 20.25.

S20.16.2 — Umumnya, bahan pelapis merupakan material polyethylene dengan kepadatan tinggi yang menerus dan tanpa sambungan, yang disemprotkan secara langsung pada tendon yang dilapisi.

S20.16.2 — Umumnya, bahan pelapis merupakan material *polyethylene* dengan kepadatan tinggi yang menerus dan tanpa sambungan, yang disemprotkan secara langsung pada

TATA CARA

20.16.4 — Tendon tanpa lekatan yang terdiri dari *strand* tunggal harus dilindungi terhadap korosi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

20.17 — Selongsong untuk sistem pasca-tarik

20.17.1 — Selongsong untuk tendon yang di-*grout* harus kedap mortar dan tidak reaktif dengan bahan beton, tendon, bahan pengisi yang akan digunakan, dan bahan penghambat korosi.

20.17.2 — Selongsong untuk tendon kawat tunggal, *strand* tunggal, atau batang tunggal yang di-*grout* harus mempunyai diameter dalam paling sedikit 6 mm lebih besar daripada diameter tendon.

20.17.3 — Selongsong untuk tendon kawat majemuk, *strand* majemuk, atau batang majemuk yang di-*grout* harus mempunyai luas penampang-dalam paling sedikit dua kali luas penampang tendon.

20.18 — Grout untuk tendon prategang dengan lekatan

20.18.1 — *Grout* harus terdiri dari semen portland dan air; atau semen portland, pasir, dan air.

20.18.2 — Bahan untuk *grout* yaitu semen portland, air, pasir dan bahan-tambahan yang boleh digunakan, harus memenuhi ketentuan yang berlaku dalam Pasal 5. Bahan-tambahan yang boleh digunakan adalah yang telah diketahui tidak memiliki pengaruh buruk terhadap bahan *grout*, baja, atau beton. Bahan tambahan yang mengandung kalsium klorida tidak boleh dipergunakan.

PENJELASAN

tendon yang dilapisi.

S20.16.4 — Syarat-syarat perlindungan terhadap korosi untuk tendon *strand* tunggal tanpa lekatan yang sesuai dengan *Post-Tensioning Institute's "Specification for Unbonded Single Strand Tendons"* telah ditambahkan dalam tata cara ini. Sebuah laporan,^{20,25} yang diterbitkan oleh *Post-Tensioning Institute* bisa dipakai sebagai pedoman untuk perlindungan terhadap korosi pada tendon *strand* tunggal tanpa lekatan.

S20.17 — Selongsong untuk sistem pasca-tarik

S20.17.1 — Bahan penghambat korosi harus digunakan untuk memberi perlindungan sementara terhadap korosi bila tendons terpaparkan pada kondisi kelembaban yang tinggi dalam waktu yang lama sebelum di-*grout*.

S20.18 — Grout untuk tendon prategang dengan lekatan

Grout dan prosedur peng-*grout*-an (*grouting*) yang tepat adalah penting pada konstruksi pasca tarik.^{20,26,20,27} *Grout* memberikan lekatan antara tendon-tendon pasca tarik dan beton dan memberikan perlindungan terhadap korosi pada tendon-tendon tersebut.

Peng-*grout*-an untuk tendon-tendon prategang dengan lekatan umumnya dilakukan dengan semen portlan. Penggunaan bahan sementisius lainnya, selain semen portlan, untuk *grout* dipandang kurang tepat karena data-data eksperimen yang masih kurang dan adanya kekhawatiran bahwa material sementisius tersebut mungkin mengandung bahan kimia yang didaftar sebagai bahan merusak tendon dalam S20.18.2. Jadi, semen portlan di 20.18.1 dan rasio air-semen di 20.18.3.3 dipertahankan dalam tata cara ini.

S20.18.2 — Pembatasan bahan tambahan di 5.6 berlaku pada *grout*. Bahan-bahan yang diketahui berbahaya bagi tendon prategang, *grout* atau beton adalah klorida, florida, sulfat, dan nitrat. Bubuk aluminium atau bahan tambahan pengembang, bila diijinkan, harus menghasilkan ekspansi yang tak terkekang sebesar 5 hingga 10 persen. *Grout* semen murni umumnya dipakai pada hampir semua konstruksi bangunan. Keuntungan pemakaian pasir terayak

TATA CARA

20.18.3 — Pemilihan proporsi *grout*

20.18.3.1 — Proporsi bahan untuk *grout* harus didasarkan pada salah satu ketentuan berikut:

(a) Hasil pengujian pada *grout* yang masih segar dan yang sudah mengeras yang dilaksanakan sebelum pekerjaan *grout* dimulai, atau

(b) Catatan pengalaman sebelumnya dengan bahan dan peralatan yang serupa dan pada kondisi lapangan yang sebanding.

20.18.3.2 — Semen yang digunakan untuk pekerjaan harus sesuai dengan jenis semen yang digunakan dalam penentuan proporsi *grout*.

20.18.3.3 — Kandungan air haruslah merupakan nilai minimum yang cukup untuk menjamin tercapainya pelaksanaan pemompaan *grout* dengan baik, tetapi nilai rasio berat air-semen tidak boleh melampaui 0,45.

20.18.3.4 — Penurunan kemampuan alir *grout* akibat penundaan pelaksanaan *grouting* tidak boleh diatasi dengan penambahan air.

20.18.4 — Pengadukan dan pemompaan *grout*

20.18.4.1 — *Grout* harus diaduk dalam alat yang mampu untuk mencampur dan beragitasi secara menerus sehingga akan menghasilkan distribusi bahan yang merata dan seragam. Selanjutnya, adukan dilewatkan melalui saringan, dan kemudian dipompa sedemikian hingga akan mengisi selongsong tendon secara penuh.

20.18.4.2 — Suhu komponen struktur pada saat pelaksanaan *grout* harus di atas 2°C dan harus dijaga agar tetap di atas 2°C hingga kubus *grout* ukuran 50 mm yang dirawat di lapangan mencapai suatu kuat tekan minimum sebesar 6 MPa.

20.18.4.3 — Selama pengadukan dan pemompaan, suhu *grout* tidak boleh lebih tinggi dari 30°C.

20.19 — Perlindungan untuk tendon prategang

Pelaksanaan pembakaran atau pengelasan disekitar tendon prategang harus dilakukan dengan hati-hati, agar tendon tersebut tidak terpengaruh oleh suhu, percikan las, atau hantaran arus listrik yang berlebihan.

PENJELASAN

yang halus dalam *grout* hanya perlu dipertimbangkan pada penggunaan selongsong besar yang memiliki rongga-rongga yang besar.

S20.18.3 — Pemilihan proporsi *grout*

Grout yang diproporsi sesuai dengan ketentuan-ketentuan ini umumnya akan menghasilkan kuat tekan 7 hari pada kubus standar ukuran 51,6 mm sebesar lebih dari 17 MPa dan kekuatan 28 hari sekitar 30 MPa. Sifat-sifat untuk penangan dan pengerjaan *grout* biasanya diberi pertimbangan lebih dari pada sifat-sifat kekuatan ketika merencanakan campuran *grout*.

S20.18.4 — Pengadukan dan pemompaan *grout*

Pada temperatur lingkungan 2°C, *grout* dengan temperatur awal minimum 15°C akan butuh selama 5 hari untuk mencapai 6 MPa. Temperatur minimum *grout* 15°C disarankan karena hal ini konsisten dengan temperatur minimum yang direkomendasikan untuk beton yang dicor pada temperatur lingkungan 2°C. *Grout* dengan proses pengerasan yang cepat, bila disetujui, akan perlu waktu proteksi yang lebih pendek dan rekomendasi dari supplier harus diikuti. Kubus-kubus uji harus dirawat pada temperatur dan kondisi kelembaban yang sedekat mungkin dengan kondisi yang ada dalam komponen struktur. Temperatur *grout* yang melebihi 30°C akan menyebabkan kesulitan dalam pemompaan.

TATA CARA

20.20 — Pemberian dan pengukuran gaya prategang

20.20.1 — Gaya prategang harus ditentukan dengan kedua cara berikut:

20.20.1.1 — Pengukuran perpanjangan tendon. Perpanjangan yang diperlukan harus ditentukan dari kurva beban terhadap perpanjangan rata-rata untuk tendon prategang yang digunakan.

20.20.1.2 — Pengamatan dari gaya *jacking* pada alat ukur atau sel beban yang telah dikalibrasi atau dengan menggunakan dynamometer yang sudah dikalibrasi.

Penyebab terjadinya perbedaan dalam penentuan gaya antara metode 20.20.1.1 dan 20.20.1.2 yang melebihi 5% untuk elemen pratarik atau 7% untuk konstruksi pasca tarik harus diteliti dan dikoreksi.

20.20.2 — Bila penyaluran gaya dari kepala angkur pada sistem pratarik ke beton dicapai melalui pemotongan tendon prategang dengan api, maka titik pemotongan dan urutan pemotongannya harus ditentukan sebelumnya untuk menghindari terjadinya tegangan sementara yang tidak diinginkan.

20.20.3 — Pada sistem pratarik, *strand* panjang yang menonjol diluar harus dipotong di dekat komponen struktur untuk memperkecil pengaruh kejutan pada beton.

20.20.4 — Kehilangan gaya prategang total akibat tidak digantinya tendon yang putus tidak boleh melebihi 2 persen dari gaya prategang total.

20.21 — Angkur dan penyambung (*coupler*) pada sistem pasca-tarik

20.21.1 — Bila diuji dalam kondisi tanpa lekatan, angkur dan penyambung untuk tendon prategang tanpa lekatan dan dengan lekatan harus mampu mengembangkan paling sedikit 95% dari kuat batas tendon yang telah disyaratkan, tanpa melampaui batas amblas yang telah diantisipasi. Tetapi bagaimanapun, untuk tendon dengan lekatan, angkur dan penyambung harus ditempatkan sedemikian hingga 100% dari kuat batas tendon yang disyaratkan dapat dikembangkan pada penampang kritis setelah tendon melekat pada komponen struktur.

PENJELASAN

S20.20 — Pemberian dan pengukuran gaya prategang

S20.20.1 — Pengukuran perpanjangan untuk elemen-elemen yang diprategang harus sesuai dengan prosedur yang digariskan dalam “*Manual for Quality Control for Plants and Production of Precast and Prestressed Concrete Products*”, yang diterbitkan oleh *Precast/Prestressed Concrete Institute*.^{20.28}

Pengukuran perpanjangan pada konstruksi pasca tarik dipengaruhi oleh beberapa faktor yang kurang berarti, atau bahkan tidak ada, untuk elemen-elemen pratarik. Gesekan sepanjang tendon pasca tarik mungkin dipengaruhi pada tingkat yang bervariasi oleh toleransi pengecoran dan ketidaksempurnaan profil tendon yang disebabkan oleh pengecoran beton. Koefisien friksi antara tendon dan selongsong juga bisa bervariasi. Oleh karena itu, tata cara ini mengizinkan toleransi 7 persen pada gaya tendon yang ditentukan oleh sel beban dan oleh pengukuran perpanjangan pada konstruksi pasca tarik. Mengingat tendon untuk elemen-elemen pratarik biasanya ditarik dalam udara dengan pengaruh friksi yang minimum, maka toleransi 5 persen untuk elemen-elemen semacam itu dipertahankan.

S20.20.4 — Ketentuan ini berlaku untuk semua komponen struktur beton prategang. Untuk sistem pelat pasca tarik yang dicor setempat pasca tarik, suatu komponen struktur haruslah bagian yang dianggap sebagai suatu elemen dalam perencanaan, seperti joist dan lebar efektif pelat dalam sistem joist satu arah, atau jalur kolom atau jalur tengah dalam sistem pelat datar dua arah.

S20.21 — Angkur dan penyambung (*coupler*) pada sistem pasca-tarik

S20.21.1 — Sejak tata cara yang lalu, syarat kekuatan angkur tendon atau perangkat sambungan tendon untuk tendon-tendon berlekatan dan tanpa lekatan, bila diuji dalam keadaan tanpa lekatan, akan memakai dasar 95 persen kuat putus yang dispesifikasikan dari bahan tendon yang diuji. Bahan tendon harus memenuhi ketentuan minimum spesifikasi *ASTM* yang berlaku sebagaimana digariskan pada Pasal 5.5.5. Kekuatan angkur dan penyambung yang dispesifikasikan harus melebihi kuat desain maksimum dari tendon dengan margin yang cukup, dan, pada saat yang sama, mengakui pengaruh peningkatan tegangan (*stress-raiser effects*) yang diasosiasikan dengan sebagian besar angkur pasca tarik dan penyambung yang

TATA CARA

20.21.2 — Penyambung harus dipasang dalam daerah yang disetujui oleh Perencana dan ditempatkan dalam wadah tertutup yang cukup panjang yang memungkinkan terjadinya gerakan yang diperlukan.

20.21.3 — Pada konstruksi tanpa lekatan yang mengalami beban berulang, perlu diberikan perhatian yang khusus pada kemungkinan terjadinya kelelahan (*fatigue*) dalam ankur dan penyambung yang digunakan.

20.21.4 — Angkur, penyambung dan penutup akhir (*end fitting*) harus dilindungi secara permanen terhadap karat.

20.22 — Sistem pasca tarik luar

20.22.1 — Tendon pasca tarik boleh dipasang di luar penampang beton. Metode perencanaan kekuatan dan kemampuan layan dari tata cara ini harus dipergunakan untuk mengevaluasi pengaruh gaya tendon luar pada struktur beton.

20.22.2 — Tendon luar harus ditinjau sebagai tendon tanpa lekatan pada saat perhitungan kuat lentur, kecuali jika diberikan suatu perlakuan untuk melekatkan secara efektif tendon luar tersebut pada penampang beton di keseluruhan panjangnya.

20.22.3 — Tendon luar harus dipasang pada komponen struktur beton sedemikian hingga eksentrisitas yang diinginkan antara tendon dan titik berat penampang dapat dipertahankan untuk keseluruhan rentang dari defleksi balok yang telah diantisipasi.

PENJELASAN

ada. Kekuatan ankur dan sambungan harus dicapai dengan besar deformasi permanen dan batas ambles yang minimum, dengan menyadari bahwa sejumlah deformasi dan slip akan terjadi bila diuji sampai runtuh. Deformasi perangkat tendon harus memenuhi syarat perpanjangan 2 persen di *ACI 301*^{20,29} dan rekomendasi dari industri.^{20,19} Angkur dan penyambung untuk tendon berlekatan yang mengembangkan kurang dari 100 persen dari kuat putus tendon yang dispesifikasikan hanya boleh dipakai bila panjang transfer lekatan antara ankur atau sambungan dan penampang kritis menyamai atau melebihi yang disyaratkan untuk mengembangkan kuat tendon. Panjang lekatan tersebut dapat dihitung memakai hasil karakteristik lekatan stran prategang yang tidak ditarik^{20,30} atau oleh uji lekatan material tendon lain, sebagaimana mestinya.

S20.21.3 — Untuk diskusi mengenai pembebanan kelelahan (*fatigue*), lihat Referensi 20.31.

Untuk rekomendasi mengenai detail hasil uji pembebanan statik dan siklik, untuk tendon dan perangkat ankur tendon tanpa lekatan, lihat Pasal 4.1.3 dari Referensi 20.15, dan Pasal 15.2.2 dari Referensi 20.29.

S20.21.4 — Untuk rekomendasi berkenaan dengan perlindungan lihat Pasal 4.2 dan 4.3 dari Referensi 20.15, dan Pasal 3.4, 3.6, 5,6, dan 8.3 dari Referensi 20.25.

S20.22 — Sistem pasca tarik luar

Penempatan tendon secara eksternal adalah metode untuk memberikan tambahan kekuatan, atau peningkatan kemampuan layanan, atau keduanya, pada struktur yang ada. Metoda ini sangat cocok untuk perbaikan atau peningkatan struktur yang ada dan mengijinkan variasi yang luas dalam pengaturan tendon-tendon.

Tambahan informasi mengenai sistem pasca tarik eksternal tersedia di Referensi 20.32.

S20.22.3 — Tendon luar/eksternal sering dipasang pada komponen struktur beton di berbagai lokasi di antara ankur-ankur (seperti di bentang tengah, titik-titik perempatan, atau titik pertigaan) untuk menghasilkan pengaruh pengimbangan beban yang diinginkan, atau untuk mengatasi masalah getaran. Pertimbangan harus diberikan pada pengaruh-pengaruh yang disebabkan oleh geseran

TATA CARA

20.22.4 — Tendon luar dan daerah pengankuran tendon harus dilindungi dari korosi. Rincian metode proteksi yang digunakan harus diperlihatkan pada gambar rencana atau pada spesifikasi proyek.

PENJELASAN

profil tendon dalam hubungannya dengan sentroid beton mengingat komponen struktur mengalami deformasi akibat pengaruh prategang pasca tarik dan beban yang bekerja.

S20.22.4 — Perlindungan tetap terhadap korosi bisa dicapai dengan berbagai metoda. Perlindungan terhadap korosi yang disediakan harus cocok dengan lingkungan dimana tendon-tendon tadi diletakkan. Beberapa kondisi mensyaratkan bahwa tendon-tendon tersebut diberi pelindung beton atau diberi *grout* semen dari dalam selubung *polyethylene* atau metal; kondisi-kondisi lain mengijinkan perlindungan dilakukan dengan pelapisan dengan menggunakan bahan seperti oleh cat atau lemak (*grease*). Metoda perlindungan terhadap korosi harus memenuhi syarat-syarat kemampuan layanan kebakaran dari tata cara bangunan umum, kecuali bila pemasangan sistem pasca-tarik eksternal tersebut hanya untuk perbaikan.

PASAL 21 — KOMPONEN STRUKTUR CANGKANG DAN PELAT LIPAT

TATA CARA

21.1 — Lingkup dan definisi

21.1.1 — Ketentuan dalam Pasal 21 berlaku untuk struktur beton cangkang tipis dan pelat lipat, termasuk komponen rusuk dan komponen tepi.

21.1.2 — Semua ketentuan yang terdapat dalam pedoman ini yang tidak secara khusus dikecualikan dan yang tidak bertentangan dengan ketentuan dalam Pasal 21 berlaku untuk struktur cangkang tipis.

21.1.3 — **Cangkang tipis** adalah struktur ruang tiga dimensi yang terdiri dari satu atau lebih pelat lengkung atau pelat lipat yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan dimensi struktur lainnya. Cangkang tipis mempunyai karakteristik perilaku daya dukung tiga-dimensi yang ditentukan oleh bentuk geometrinya, oleh kondisi perletakannya dan oleh sifat beban yang bekerja padanya.

21.1.4 — **Pelat lipat** adalah suatu bentuk khusus dari struktur cangkang yang dibentuk dengan menggabungkan pelat-pelat datar dan tipis sepanjang tepi-tepinya sedemikian hingga membentuk suatu struktur ruang tiga dimensi.

21.1.5 — **Cangkang berusuk** adalah struktur ruang yang material betonnya terutama ditempatkan di sepanjang garis-garis rusuk tertentu, dimana daerah di antara rusuk-rusuk tersebut diisi dengan pelat tipis atau dibiarkan terbuka.

21.1.6 — **Komponen struktur pelengkap** adalah rusuk atau balok tepi yang berfungsi untuk memperkuat, memperkaku, dan/atau menumpu struktur cangkang; biasanya, komponen struktur pelengkap bekerja sebagai satu kesatuan dengan

PENJELASAN

S21.1 — Lingkup dan definisi

Tata cara ini dan penjelasannya menyediakan informasi mengenai desain, analisis, dan pelaksanaan cangkang tipis dan pelat lipat beton.

Mengingat Pasal 21 berlaku untuk semua bentuk cangkang tipis dan pelat lipat beton, maka diskusi yang ekstensif mengenai desain, analisis dan pelaksanaannya dalam penjelasan ini adalah tidak mungkin. Informasi tambahan dapat diperoleh dari referensi. Kinerja cangkang dan pelat lipat membutuhkan perhatian khusus pada detail.^{21.1}

S21.1.1 — Pembahasan pemakaian cangkang tipis pada struktur khusus seperti tower pendingin dan tangki beton prategang dapat diperoleh dalam laporan *ACI Committee 334*^{21.2} dan *ACI Committee 373*.^{21.3}

S21.1.3 — Tipe umum cangkang tipis adalah berupa kubah (permukaan melingkar)^{21.4,21.5}, cangkang silinder^{21.5}, ruangan terowongan (*barrel vaults*)^{21.6}, ruangan kerucut^{21.6}, parabola eliptik^{21.6}, parabola hiperbolik^{21.7}, dan pelana (*groined*).^{21.7}

S21.1.4 — Pelat lipat dapat berbentuk prismatik^{21.5,21.8}, non-prismatik^{21.8}, atau fasat (*faceted*). Dua tipe pertama umumnya terdiri dari pelat-pelat tipis yang disambung di sepanjang tepi memanjangnya untuk membentuk struktur seperti balok yang membentang antara tumpuan-tumpuan. Pelat lipat terbuat dari pelat tipis segitiga atau banyak segi sepanjang tepi-tepinya untuk membentuk struktur ruang tiga dimensi.

S21.1.5 — Cangkang berusuk^{21.4,21.9} umumnya dipakai untuk bentang yang lebih besar dimana peningkatan tebal saja dari pelat yang dilengkungkan menjadi berlebihan atau tidak ekonomis. Cangkang berusuk juga dipakai karena teknik pelaksanaan yang digunakan dan untuk meningkatkan nilai estetika struktur yang selesai.

S21.1.6 — Kebanyakan struktur cangkang tipis membutuhkan rusuk atau balok tepi pada daerah perbatasannya untuk memikul gaya-gaya perbatasan cangkang, untuk membantu menyalurkan gaya-gaya

TATA CARA

struktur cangkangnya.

21.1.7 — Analisis elastis adalah suatu analisis deformasi dan gaya dalam yang didasarkan pada prinsip-prinsip keseimbangan, kompatibilitas regangan, dan asumsi perilaku elastis, dan yang memberikan suatu gambaran pendekatan yang cukup baik dari aksi tiga dimensi struktur cangkang bersama komponen pelengkapannya.

21.1.8 — Analisis inelastis adalah suatu analisis deformasi dan gaya dalam yang didasarkan pada prinsip-prinsip keseimbangan, hubungan tegangan-regangan non-linier untuk beton dan tulangnya, pertimbangan mengenai retak dan pengaruh lainnya yang berhubungan dengan waktu, dan kompatibilitas regangan. Analisis ini harus menggambarkan dengan baik pendekatan aksi tiga dimensi dari struktur cangkang bersama dengan komponen pelengkapannya.

21.1.9 — Analisis eksperimental merupakan suatu prosedur analisis yang didasarkan pada pengukuran deformasi dan/atau regangan-regangan struktur atau model struktur; analisis eksperimental boleh didasarkan pada perilaku elastis atau inelastis.

21.2 — Analisis dan perencanaan

21.2.1 — Perilaku elastis dapat diterima sebagai dasar dalam menentukan gaya dalam dan perpindahan pada struktur cangkang tipis. Perilaku elastis ini boleh ditetapkan dengan perhitungan yang berdasarkan pada analisis struktur beton yang tidak retak dimana material dianggap bersifat elastis linier, homogen, dan isotropis. Rasio poisson beton boleh dianggap

PENJELASAN

tersebut ke struktur pendukungnya, dan untuk menampung peningkatan jumlah tulangan di daerah ini.

S21.1.7 — Analisis elastis cangkang tipis dan pelat lipatan dapat dilakukan memakai metode analisis struktur apa saja berdasarkan pada asumsi-asumsi yang memberikan pendekatan yang cocok terhadap perilaku tiga dimensi struktur. Metoda tersebut harus dapat menentukan gaya dalam dan perpindahan yang dibutuhkan dalam desain cangkang, rusuk atau komponen-komponen tepi, dan struktur pendukungnya. Keseimbangan gaya dalam dan beban-beban luar dan kompatibilitas deformasi harus dipenuhi.

Metode analisis elastis berdasarkan teori cangkang klasik, model-model matematik atau analitik yang disederhanakan, atau solusi numerik dengan memakai elemen hingga,^{21.7} beda hingga,^{21.4} atau teknik-teknik integrasi numerik diuraikan dalam daftar pustaka yang diacu .

Pilihan metoda analisis dan tingkat ketelitian yang disyaratkan tergantung pada faktor-faktor kritikal tertentu. Hal ini termasuk: ukuran struktur, geometri cangkang atau pelat lipatan, cara struktur ditumpu, sifat pembebanan, dan seberapa jauh pengalaman pribadi atau yang terdokumentasi mengenai keandalan metode analisis yang dipakai dalam memprediksi perilaku tipe cangkang^{21.4} atau pelat lipatan^{21.8} tertentu.

S21.1.8 — Analisis inelastis cangkang tipis dan pelat lipatan dapat dilakukan memakai metode analisis yang telah disempurnakan berdasarkan pada sifat-sifat nonlinier material, perilaku nonlinier akibat keretakan beton, dan pengaruh waktu jangka panjang seperti rangkakan, susut, suhu dan riwayat pembebanan. Semua pengaruh ini diperhitungkan agar dapat mensimulasikan respons dan penyebaran retak pada cangkang beton bertulang melalui rentang elastis, inelastis dan ultimit. Analisis seperti itu biasanya memerlukan peningkatan pembebanan secara bertahap dan prosedur iteratif hingga konvergen pada solusi yang memenuhi syarat baik keseimbangan maupun kompatibilitas regangan.^{21.10,21.11}

S21.2 — Analisis dan perencanaan

S21.2.1 — Untuk tipe struktur cangkang dimana pengalaman, pengujian dan analisis menunjukkan struktur dapat menahan beban berlebih tanpa mengalami kegagalan getas, maka prosedur analisis elastis dapat diterima. Perencana boleh menganggap bahwa beton bertulang bersifat elastis ideal, homogen, dan isotropik, yaitu

TATA CARA

sama dengan nol.

21.2.2 — Analisis inelastis boleh digunakan selama dapat diperlihatkan bahwa metode ini memberikan suatu dasar perencanaan yang aman.

21.2.3 — Pemeriksaan keseimbangan antara tahanan dalam dan beban luar harus dilakukan untuk memastikan hasil perhitungan yang konsisten.

21.2.4 — Prosedur analisis eksperimental atau numerik boleh digunakan selama dapat diperlihatkan bahwa prosedur ini memberikan dasar perencanaan yang aman.

21.2.5 — Metode analisis pendekatan yang memenuhi prinsip keseimbangan namun tidak memenuhi prinsip kompatibilitas regangan baik di dalam cangkang atau di antara cangkang dengan komponen struktur pelengkap, boleh digunakan selama dapat diperlihatkan bahwa metode ini memberikan dasar perencanaan yang aman.

21.2.6 — Pada struktur cangkang prategang, analisis yang digunakan harus juga meninjau perilaku cangkang terhadap beban yang timbul selama pelaksanaan prategang, pada kondisi beban retak, dan pada kondisi beban terfaktor. Bila tendon prategang di dalam cangkang membentuk suatu eksentrisitas yang tidak seragam, maka langkah perencanaan harus memperhitungkan pengaruh komponen gaya pada struktur cangkang akibat profil tendon yang tidak berada pada satu bidang.

PENJELASAN

mempunyai sifat-sifat sama di semua arah. Analisis harus dilakukan untuk cangkang yang mempertimbangkan kondisi beban layan. Analisis cangkang dengan ukuran, bentuk atau kekompleksan yang tidak biasa harus mempertimbangkan perilaku yang meliputi tahapan-tahapan elastis, retak, dan inelastis.

S21.2.2 — Beberapa prosedur analisis inelastis mengandung metoda solusi yang mungkin.^{21.10,21.11}

S21.2.4 — Analisis eksperimental model-model elastis^{21.12} telah dipakai sebagai pengganti untuk solusi analitikal struktur cangkang yang kompleks. Analisis eksperimental dari model mikro beton bertulang yang meliputi tahapan elastis, retak, inelastis, dan ultimit harus dipertimbangkan untuk cangkang-cangkang penting yang memiliki ukuran, bentuk, atau kekompleksan yang tidak biasa.

Untuk analisis model, hanya bagian struktur yang berpengaruh signifikan pada item yang ditinjau yang perlu disimulasi. Semua upaya harus dilakukan untuk menjamin bahwa eksperimen akan menunjukkan perilaku kualitatif struktur prototipe.

Percobaan terowongan angin dengan model skala kecil tidak selalu memberikan hasil yang dapat dipakai dan harus dilakukan oleh ahli dalam percobaan terowongan angin model-model struktural.

S21.2.5 — Solusi yang memperhitungkan pengaruh membran dan lentur dan memenuhi kondisi kompatibilitas dan keseimbangan adalah dianjurkan. Solusi pendekatan yang hanya memenuhi keseimbangan tetapi tidak memenuhi kompatibilitas regangan hanya boleh dipakai bila pengalaman telah membuktikan bahwa pemakaiannya telah menghasilkan desain yang aman. Metoda demikian adalah termasuk analisis tipe-balok untuk cangkang bejana dan pelat lipat yang memiliki rasio bentang terhadap ketebalan yang besar, analisis membran sederhana untuk cangkang kubah, dan lain-lain, dimana persamaan keseimbangan dipenuhi, sedangkan persamaan kompatibilitas tidak.

S21.2.6 — Bila cangkang diprategang, analisis yang digunakan harus meninjau kekuatannya pada beban terfaktor dan juga kecukupannya terhadap beban kerja, beban yang menimbulkan retak, dan beban yang timbul sewaktu diprategang. Gaya-gaya aksial akibat tendon prategang yang melendut (*draped*) tidak boleh terletak sebidang dan komponen-komponen gaya yang dihasilkan harus ditinjau secara khusus. Pengaruh penengangan komponen penumpu cangkang harus dipertimbangkan.

TATA CARA

21.2.7 — Ketebalan suatu cangkang dan tulangnya harus direncanakan proporsinya terhadap persyaratan kekuatan dan kemampuan layanan dengan menggunakan metode perencanaan kekuatan batas, seperti yang tercantum dalam 10.1.1, atau dengan menggunakan metode perencanaan alternatif, seperti yang tercantum dalam 10.1.2.

21.2.8 — Dalam perencanaan, ketidakstabilan struktur cangkang harus dianalisis dan dihindari kemungkinan terjadinya, baik yang bersifat global maupun lokal.

21.2.9 — Komponen struktur pelengkap harus direncanakan berdasarkan ketentuan-ketentuan yang berlaku dalam tata cara ini. Metode perencanaan yang dipilih untuk merencanakan komponen struktur cangkang berdasarkan ketentuan 21.2.7 harus juga digunakan untuk merencanakan komponen struktur pelengkap. Dalam analisis, diperbolehkan untuk mengasumsikan bahwa bagian dari cangkang yang lebarnya sama dengan lebar sayap seperti yang ditentukan dalam 10.10 dianggap bekerja sebagai satu kesatuan dengan komponen struktur pelengkap. Dalam bagian cangkang tersebut, tulangan

PENJELASAN

S21.2.7 — Tebal dan penulangan cangkang tipis disyaratkan untuk direncanakan agar memenuhi ketentuan kekuatan berdasarkan tata cara ini, dan untuk menahan gaya-gaya dalam yang diperoleh dari analisis, studi model eksperimen, atau suatu kombinasi daripadanya. Penulangan yang memadai untuk meminimumkan retak pada kondisi beban kerja harus diadakan. Ketebalan cangkang sering ditentukan oleh syarat penulangan dan batasan-batasan pelaksanaan, oleh Pasal 21.2.8, atau oleh persyaratan ketebalan minimum berdasarkan tata cara ini.

S21.2.8 — Cangkang tipis, seperti struktur lain yang dikenai gaya tekan membrane dalam bidangnya, akan mengalami tekuk bila beban yang bekerja mencapai suatu nilai kritis. Karena geometri cangkang yang berupa permukaan, masalah perhitungan beban tekuk menjadi kompleks. Bila salah satu gaya utama membran adalah tarik, maka cangkang kemungkinan menekuk adalah lebih kecil dibanding dengan cangkang yang kedua gaya utamanya adalah tekan. Jenis-jenis gaya membran yang timbul dalam cangkang adalah tergantung pada bentuk semula cangkang dan cara cangkang tersebut ditumpu dan dibebani. Pada beberapa tipe cangkang, perilaku pasca tekuk harus dipertimbangkan dalam menentukan keamanan terhadap instabilitas.^{21.13}

Penyelidikan stabilitas cangkang tipis harus mempertimbangkan pengaruh (1) antisipasi penyimpangan geometri permukaan cangkang yang terlaksana (*as built*) dari geometri yang ideal (2) lendutan yang besar (3) rangkai dan susut beton (4) sifat-sifat inelastis bahan (5) retak beton (6) lokasi, jumlah, dan orientasi penulangan, dan (7) kemungkinan deformasi elemen-elemen penumpu.

Beberapa strategi yang umum diterapkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap tekuk adalah termasuk pemasangan dua lapis penulangan—masing-masing satu lapis di permukaan cangkang, peningkatan lokal lengkung cangkang, pemakaian cangkang berusuk, dan pemakaian beton dengan kuat tarik tinggi dan rangkai rendah.

Prosedur untuk menentukan beban tekuk kritis pada cangkang diberikan dalam rekomendasi *IASS*.^{21.13} Beberapa rekomendasi untuk desain tekuk pada kubah yang biasanya dipakai dalam banyak aplikasi-aplikasi industri diberikan di Referensi 21.3 dan 21.14.

S21.2.9 — Desain kekuatan dapat dipakai untuk komponen tambahan walaupun metoda desain Pasal 25 dipakai untuk permukaan cangkang asalkan syarat-syarat layan juga dipenuhi. Bagian cangkang dapat dimanfaatkan sebagai flens/sayap untuk rangka melintang atau memanjang atau rangka busur dan balok.

TATA CARA

yang tegak lurus terhadap komponen struktur pelengkap haruslah minimum sama dengan jumlah yang diperlukan untuk sayap dari suatu balok-T, berdasarkan 10.10.5.

21.2.10 — Perencanaan kekuatan pelat cangkang untuk menahan gaya-gaya membran dan lentur harus didasarkan pada distribusi tegangan dan regangan sebagaimana yang ditentukan berdasarkan analisis elastis atau inelastis.

21.2.11 — Pada daerah dimana keretakan membran telah diantisipasi, maka kuat tekan nominal yang sejajar dengan arah retak haruslah diambil sebesar $0,4f'_c$.

21.3 — Kuat rencana bahan

21.3.1 — Kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_c , pada umur 28 hari tidak boleh kurang daripada 20 MPa.

21.3.2 — Kuat leleh yang disyaratkan, f_p , dari tulangan non-prategang tidak boleh melebihi 400 MPa.

21.4 — Tulangan cangkang

21.4.1 — Struktur cangkang harus diberi tulangan yang berfungsi untuk menahan tegangan tarik yang timbul dari aksi membran, menahan tarik akibat lentur dan momen puntir, mengontrol retak susut dan retak suhu dan sebagai tulangan khusus pada daerah batas tepi cangkang, pada daerah/bidang yang dibebani dan pada daerah di sekitar bukaan cangkang.

21.4.2 — Tulangan tarik harus dipasang dalam dua arah atau lebih di seluruh bagian cangkang, dan harus diproporsikan sedemikian hingga tahanannya di sebarang arah sama dengan atau lebih besar daripada komponen gaya-gaya dalam yang bekerja pada arah tersebut.

Sebagai alternatif, tulangan untuk gaya membran pada cangkang dapat dihitung sebagai tulangan yang diperlukan untuk menahan gaya tarik aksial dan juga gaya tarik akibat geser-friksi yang diperlukan untuk menyalurkan geser di sepanjang sebarang penampang melintang cangkang. Koefisien yang diasumsikan tidak boleh melebihi $1,0\lambda$ dimana $\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal, $0,85$ untuk beton ringan-pasir, dan $0,75$ untuk beton ringan-total.

PENJELASAN

S21.2.10 — Tegangan dan regangan dalam pelat cangkang yang dipakai untuk desain adalah yang ditentukan oleh analisis (elastis atau inelastis) dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Mengingat pengaruh kerusakan akibat membran yang retak, regangan tarik hasil perhitungan pada penulangan akibat beban terfaktor harus dibatasi.

S21.2.11 — Bila tegangan tarik utama menghasilkan retak pada membran di cangkang, maka, berdasarkan eksperimen, kuat tekan yang dicapai di arah sejajar retak ternyata berkurang.^{21.15,21.16} Untuk metoda desain Pasal 25, kuat tekan f'_c sejajar retak harus diganti oleh $0,4 f'_c$ dalam perhitungan yang melibatkan Pasal 25.3.1(a) atau 25.6.1.

S21.4 — Tulangan cangkang

S21.4.1 — Di titik manapun di cangkang, dua macam gaya dalam yang berbeda dapat terjadi berbarengan, yaitu: yang berhubungan dengan aksi membran dan yang berhubungan dengan lenturan cangkang. Gaya-gaya membran dianggap bekerja dalam bidang tangensial di tengah di antara permukaan-permukaan dari cangkang, dan merupakan dua gaya aksial dan geser membran. Pengaruh lenturan adalah termasuk momen lentur, momen puntir dan geser transversal yang terkait. Pembatasan lebar dan spasi retak pada membran dan akibat susut, temperatur, dan kondisi beban layan merupakan pertimbangan utama desain.

S21.4.2 — Persyaratan untuk menjamin kekuatan di semua arah didasarkan atas pertimbangan keamanan. Metode apapun yang menjamin kecukupan kekuatan yang konsisten dengan keseimbangan dapat diterima. Arah gaya tarik utama membran di sembarang titik dapat berbeda tergantung pada arah, besar, dan kombinasi berbagai beban yang bekerja.

Besar gaya dalam membran yang bekerja di titik mana saja akibat suatu beban tertentu, pada umumnya dihitung berdasarkan teori elastis dimana cangkang dianggap tidak retak. Perhitungan kebutuhan jumlah penulangan untuk menahan gaya dalam membran secara tradisional didasarkan pada asumsi bahwa beton tidak menahan tarik. Defleksi yang terjadi, dan kemungkinan terbentuknya retak, harus diselidiki pada tahap beban layan. Pemenuhan ini

TATA CARA

21.4.3 — Luas tulangan cangkang pada sebarang penampang yang diukur dalam dua arah yang saling tegak lurus tidak boleh kurang daripada luas tulangan susut atau tulangan suhu yang disyaratkan dalam 9.12.

21.4.4 — Tulangan untuk geser dan momen lentur terhadap sumbu-sumbu dalam bidang cangkang harus dihitung sesuai dengan Pasal 12, 13, dan 15.

21.4.5 — Luas tulangan tarik pada cangkang harus dibatasi sedemikian hingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum terjadinya keruntuhan tekan pada beton atau keruntuhan tekuk pada cangkang.

21.4.6 — Bila mudah dilaksanakan, tulangan membran dalam daerah yang tegangan tariknya tinggi harus dipasang pada arah gaya membran tarik utama. Bila hal ini tidak praktis, tulangan membran boleh dipasang dalam dua atau lebih arah komponen.

21.4.7 — Bila arah tulangan bervariasi lebih besar daripada 10° dari arah gaya membran tarik utama, maka jumlah tulangan harus dievaluasi dan kemungkinan harus ditingkatkan untuk membatasi lebar retak yang mungkin terjadi pada kondisi beban kerja.

21.4.8 — Bila tegangan membran tarik utama pada seluruh

PENJELASAN

mungkin membutuhkan desain tegangan layan untuk pemilihan tulangan. Dimana tulangan tidak diadakan di arah gaya tarik utama dan dimana retak-retak pada tingkat beban layan tidak diinginkan, maka perhitungan penulangan mungkin harus berdasarkan pada pendekatan yang lebih mantap^{21.15,21.17,21.18} yang mempertimbangkan adanya retak-retak. Dalam kondisi retak, beton dianggap tidak sanggup menahan tegangan tarik atau geser. Jadi, kesetimbangan diperoleh dengan menyamakan gaya penahan tarik di penulangan dan gaya penahan tekan di beton.

Metoda alternatif untuk menghitung penulangan ortogonal adalah metode geser friksi. Metoda ini didasarkan pada asumsi bahwa integritas geser cangkang harus dipertahankan pada beban terfaktor. Penentuan tegangan utama tidak diperlukan bila pendekatan alternatif digunakan.

S21.4.3 — Penulangan minimum membran yang terkait dengan penulangan susut dan temperatur pelat disediakan dalam sedikitnya dua arah ortogonal meskipun gaya membran yang dihitung adalah gaya tekan dalam satu arah atau lebih.

S21.4.5 — Persyaratan bahwa tulangan tarik leleh sebelum beton mengalami keruntuhan tekan dimanapun adalah konsisten dengan Pasal 12.3.3. Keruntuhan tekan dapat terjadi juga di daerah dekat perletakan dan untuk beberapa cangkang, keruntuhan tekan juga dapat terjadi di daerah dimana gaya-gaya utama membran adalah hampir sama dan memiliki tanda yang berlawanan.

S21.4.7 — Bila arah penulangan sangat menyimpang (lebih dari 10 derajat) dari arah gaya utama membran, regangan lebih tinggi dapat terjadi di cangkang untuk mengembangkan kapasitas tulangan. Ini dapat menjurus ke pembentukan retak lebar yang tidak diinginkan. Lebar retak harus ditaksir dan dibatasi bila perlu.

Lebar retak yang diijinkan untuk beban layan pada kondisi-kondisi lingkungan yang berbeda diberikan dalam laporan *ACI Committee 224*.^{21.19} Lebar retak dapat dibatasi dengan meningkatkan jumlah tulangan yang dipakai, dengan mengurangi tegangan pada tingkat beban layan, dengan menempatkan penulangan dalam tiga arah atau lebih dalam bidang cangkang, atau dengan menggunakan spasi tulangan yang lebih rapat dengan memakai batang-batang tulangan berdiameter lebih kecil.

S21.4.8 — Praktek memusatkan tulangan tarik di daerah

TATA CARA

permukaan cangkang sangat bervariasi besarnya maka tulangan yang menahan tarikan total boleh dikonsentrasikan dalam daerah tegangan tarik terbesar asalkan dapat dibuktikan bahwa hal ini memberikan dasar yang aman untuk perencanaan. Walaupun demikian, rasio luas tulangan cangkang, yang didasarkan pada ketebalan total cangkang, di sebarang zona tarik tidak boleh kurang daripada 0,0035.

21.4.9 — Tulangan yang diperlukan untuk menahan momen lentur cangkang harus diproporsikan terhadap aksi serentak dari gaya-gaya aksial membran pada lokasi yang sama. Bila untuk menahan momen lentur hanya diperlukan tulangan cangkang pada satu muka, maka jumlah tulangan yang sama harus dipasang di dekat kedua muka cangkang tersebut walaupun analisis tidak memperlihatkan kemungkinan berbaliknya arah momen lentur pada penampang yang ditinjau.

21.4.10 — Spasi tulangan cangkang dalam segala arah tidak boleh melebihi 500 mm ataupun lima kali ketebalan cangkang. Bila tegangan tarik membran utama yang bekerja pada luas bruto beton melampaui $(1/3)\phi\sqrt{f'_c}$, maka spasi tulangan tidak boleh melebihi tiga kali ketebalan cangkang.

21.4.11 — Tulangan cangkang pada pertemuan cangkang dan komponen pendukung atau komponen tepi harus diangkurkan ke dalam atau diteruskan melalui komponen struktur tersebut sesuai dengan ketentuan Pasal 14, kecuali bahwa dalam hal ini panjang penyaluran minimumnya harus sama dengan $1,2\ell_d$ tetapi tidak kurang dari 500 mm.

21.4.12 — Panjang penyaluran tulangan cangkang pada sambungan lewatan harus mengikuti ketentuan Pasal 14, kecuali bahwa dalam hal ini panjang sambungan lewatan minimum untuk batang tarik haruslah 1,2 kali nilai yang ditentukan oleh Pasal 14 dan tidak kurang daripada 500 mm. Jumlah sambungan lewatan pada tulangan tarik utama harus diupayakan seminimum mungkin. Bila diperlukan sambungan lewatan, sambungan tersebut harus dipasang berselang sekurang-kurangnya sejarak ℓ_d dan jumlah tulangan yang disambung pada sebarang penampang tidak melebihi sepertiga jumlah tulangan total di penampang tersebut.

21.5 — Pelaksanaan konstruksi

21.5.1 — Bila pembongkaran cetakan didasarkan pada nilai tertentu dari modulus elastisitas beton karena pertimbangan stabilitas dan lendutan, maka nilai modulus elastisitas E_c harus ditetapkan dari percobaan lentur balok uji yang dirawat mengikuti cara perawatan di lapangan. Jumlah balok uji, ukuran balok uji dan cara pengujian harus ditetapkan oleh perencana.

PENJELASAN

tegangan tarik maksimum telah menjurus pada banyak desain yang berhasil dan ekonomis, terutama untuk pelat lipat yang panjang, cangkang bejana panjang bawah tanah, dan untuk kubah. Persyaratan untuk menyediakan tulangan minimum di daerah tarik lainnya dimaksud untuk membatasi lebar dan spasi retak.

S21.4.9 — Metoda desain harus menjamin bahwa penampang beton, termasuk penulangan, mampu mengembangkan gaya dalam yang disyaratkan oleh persamaan keseimbangan.^{21.20} Tanda momen lentur dapat berubah cepat dari satu tempat ke lokasi lain pada cangkang. Untuk alasan ini, penulangan untuk menahan lenturan, dimana diperlukan, harus diletakkan dekat kedua permukaan luar cangkang. Di banyak kasus, ketebalan yang dibutuhkan untuk memberikan selimut beton yang layak dan spasi untuk tulangan yang berlapis-lapis dapat menjadi penentu dalam penetapan ketebalan cangkang.

S21.4.10 — Nilai ϕ yang dipakai mengikuti Pasal 11.3.2.2(a) untuk tarik aksial.

S21.4.11 dan S21.4.12 — Pada permukaan cangkang yang melengkung adalah sulit untuk mengendalikan penjajaran (*alignment*) tulangan yang telah dipotong. Hal ini harus diperhatikan untuk mencegah tidak tercapainya sambungan lewatan dan panjang penyaluran yang memadai. Pasal 21.4.11 dan 21.4.12 mensyaratkan panjang tambahan tulangan untuk mempertahankan panjang minimum pada permukaan yang melengkung.

S21.5 — Pelaksanaan konstruksi

S21.5.1 — Bila pelepasan acuan akan dilakukan lebih awal maka nilai modulus elastisitas saat pelepasan acuan harus dievaluasi untuk memastikan keamanan cangkang terhadap tekuk, dan untuk membatasi defleksi.^{21.1,21.21} Nilai modulus elastisitas E_c harus diperoleh dari uji lentur dari benda uji yang dirawat di lapangan. E_c tidak cukup hanya ditentukan dari persamaan pada Pasal 10.5.1, walaupun f'_c ditentukan dari benda uji yang dirawat di lapangan.

TATA CARA

21.5.2 — Perencana harus menetapkan nilai-nilai toleransi untuk bentuk cangkang. Bila pelaksanaan konstruksi menyebabkan terjadinya penyimpangan bentuk konstruksi yang nilainya lebih besar daripada batasan toleransi yang ditentukan, maka analisis untuk memperhitungkan pengaruh deviasi tersebut harus dilakukan dan setiap tindakan perbaikan yang diperlukan harus diambil untuk menjamin keamanan konstruksi.

PENJELASAN

S21.5.2 — Pada beberapa tipe cangkang, deviasi kecil dari geometri teoritis cangkang dapat menyebabkan perubahan besar pada tegangan lokal dan pada keamanan terhadap instabilitas global. Perubahan ini dapat menimbulkan retak dan leleh lokal yang dapat membuat struktur menjadi tidak aman. Oleh karena itu, pengaruh deviasi tersebut harus dievaluasi dan bila diperlukan harus dilakukan perbaikan. Perhatian khusus harus diberikan bila menggunakan sistem cetakan yang ditumpu udara.^{21,22}

PASAL 22 — EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR YANG TELAH BERDIRI

TATA CARA

22.1 — Evaluasi kekuatan — Umum

22.1.1 — Bila timbul suatu keraguan mengenai keamanan dari suatu struktur atau komponen struktur, pejabat bangunan yang berwenang boleh meminta suatu penelitian terhadap kekuatan struktur dengan cara analisis ataupun dengan cara uji beban, atau dengan kombinasi analisis dan uji beban.

22.1.2 — Bila pengaruh defisiensi kekuatan struktur diketahui dengan baik dan bila dimensi struktur serta sifat bahan yang dibutuhkan untuk tujuan analisis dapat diukur nilainya, maka evaluasi kekuatan struktur secara analisis berdasarkan data hasil pengukuran tersebut dianggap sudah memadai. Data yang diperlukan harus ditentukan sesuai dengan 22.2.

22.1.3 — Bila pengaruh defisiensi kekuatan struktur tidak diketahui dengan baik atau bila dimensi struktur serta sifat bahan yang dibutuhkan untuk tujuan analisis tidak memungkinkan untuk diukur nilainya, maka uji beban harus dilakukan bila struktur tersebut diinginkan untuk tetap berfungsi.

PENJELASAN

S22.1 — Evaluasi kekuatan — Umum

Pasal 22 tidak mencakup uji pembebanan untuk menyetujui metode desain dan pelaksanaan baru. (Lihat 18.10 untuk rekomendasi evaluasi kekuatan dari komponen struktur beton pracetak). Ketentuan Pasal 22 boleh dipakai untuk mengevaluasi apakah suatu struktur atau bagian struktur memenuhi persyaratan keamanan tata cara ini. Evaluasi kekuatan dapat diperlukan bila kualitas material dipandang kurang baik, bila ada bukti yang memberi indikasi kesalahan pelaksanaan, bila suatu struktur mengalami penurunan kinerja, bila bangunan akan dipakai untuk fungsi baru, atau bila, untuk alasan apapun, suatu struktur atau sebagian dari padanya tidak menunjukkan pemenuhan persyaratan dalam tata cara ini. Dalam kasus-kasus demikian, Pasal 22 ini memberikan pedoman untuk menyelidiki keamanan struktur itu.

Bila keamanan yang dikuatirkan berhubungan dengan gabungan komponen struktur atau keseluruhan struktur, maka adalah tidak mungkin untuk mengadakan percobaan beban pada tiap komponen dan penampang sampai pada kondisi maksimum. Dalam kasus demikian, metoda yang tepat adalah mengembangkan rencana penyelidikan yang fokus pada hal-hal khusus yang paling dikhawatirkan keamanannya. Bila suatu percobaan pembebanan direncanakan sebagai bagian untuk proses evaluasi kekuatan, maka penerimaan sebelum percobaan beban dilaksanakan.

S22.1.2 — Peninjauan kekuatan yang terkait dengan beban aksial, lentur, dan kombinasi beban aksial dan lentur sudah cukup dimengerti. Tersedia teori-teori andal terkait dengan kekuatan dan perpindahan jangka pendek akibat beban sebagai fungsi dimensi dan data material untuk struktur.

Untuk menentukan kekuatan struktur melalui analisis, perhitungan harus didasarkan pada data dimensi aktual struktur yang terkumpul, sifat material di tempat dan semua detail yang tepat. Persyaratan untuk pengumpulan data ada di Pasal 22.2.

S22.1.3 — Bila kuat geser atau lekatan suatu elemen dipandang kritis terkait dengan kesangsian atas keamanannya, suatu percobaan mungkin merupakan solusi yang efisien untuk menghapus atau memastikan kekuatiran tersebut. Suatu percobaan mungkin juga tepat bila penentuan sifat-sifat material dan dimensi yang diperlukan untuk analisis tidak dimungkinkan, bahkan bila sebab kekuatiran tersebut terkait pada beban lentur atau aksial.

Bilamana dimungkinkan, hasil percobaan pembebanan

TATA CARA

22.1.4 — Bila keraguan terhadap keamanan struktur atau bagian struktur adalah terkait dengan penurunan kinerja struktur sebagai fungsi waktu, dan bila respon struktur selama uji beban ternyata masih memenuhi kriteria penerimaan, maka struktur atau bagian dari struktur tersebut boleh tetap digunakan untuk jangka waktu tertentu. Pemeriksaan secara berkala harus dilakukan jika dianggap perlu oleh konsultan penilai.

22.2 — Penentuan dimensi struktur dan sifat bahan yang diperlukan

22.2.1 — Dimensi komponen struktur harus diukur pada bagian atau penampang yang kritis.

22.2.2 — Lokasi dan ukuran batang tulangan, jaring kawat las, atau tendon harus ditentukan dengan cara pengukuran. Penentuan lokasi tulangan boleh dilakukan berdasarkan gambar kerja yang tersedia asalkan gambar tersebut telah dikonfirmasi dengan melakukan pemeriksaan acak di beberapa tempat.

22.2.3 — Bila dibutuhkan, kuat tekan beton harus ditentukan berdasarkan hasil uji silinder beton atau sampel bor inti yang diambil dari bagian struktur yang kekuatannya diragukan. Kuat tekan beton harus ditentukan sesuai dengan persyaratan 7.6.4. Metode pengambilan dan pengujian sampel bor inti harus dilakukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku (SNI 03-2492-1991, "Metode pengambilan benda uji beton inti", SNI 03-3403-1991-03, "Metode pengujian kuat tekan beton inti pemboran").

PENJELASAN

sebaiknya didukung dengan analisis.

S22.1.4 — Untuk struktur yang mengalami penurunan kinerja, penerimaan hasil uji beban tidak boleh diputuskan tanpa memberi batas waktu pemakaian bangunan. Dalam kasus demikian, suatu program inspeksi secara periodik akan berguna. Suatu program yang melibatkan uji beban fisik dan inspeksi periodik dapat dipakai sebagai pembenaran perpanjangan waktu pemakaian bangunan. Pilihan lain untuk mempertahankan pemakaian struktur bangunan, sementara program inspeksi periodik berlanjut, adalah membatasi beban hidup sampai suatu tingkat yang dipandang pantas.

Panjang periode waktu yang ditentukan harus didasarkan pada pertimbangan dari (a) sifat dari masalah, (b) pengaruh lingkungan dan beban, (c) sejarah pemakaian struktur, dan (d) lingkup program inspeksi periodik. Pada akhir periode waktu yang telah ditetapkan, evaluasi kekuatan perlu dilakukan lagi bila struktur tetap ingin dipakai.

Dengan persetujuan semua pihak yang berkepentingan, prosedur khusus dapat dibuat untuk uji periodik yang tidak perlu memenuhi kriteria pembebanan dan penerimaan yang disyaratkan pada Pasal 22.

S22.2 — Penentuan dimensi struktur dan sifat bahan yang diperlukan

Bagian ini berlaku bila diputuskan untuk mengadakan evaluasi analitis (lihat 22.1.2).

S22.2.1 — Penampang-penampang kritis adalah dimana tiap tipe tegangan hasil perhitungan untuk beban yang ditinjau mencapai nilai maksimum.

S22.2.2 — Untuk elemen-elemen individual, jumlah, ukuran, penanganan, dan lokasi penulangan atau tendon-tendon, atau keduanya, yang direncanakan untuk menahan beban yang bekerja harus ditentukan pada penampang kritis. Penyelidikan dengan metoda tak-merusak (*nondestructive*) dapat diterima. Dalam struktur-struktur besar, pengumpulan data ini untuk kira-kira 5 persen penulangan atau tendon di daerah-daerah kritis sudah cukup memadai bila hasil pengukuran ini sama dengan data yang ditunjukkan dalam gambar pelaksanaan.

S22.2.3 — Jumlah tes dapat tergantung pada ukuran struktur dan kepekaan keamanan struktur pada kekuatan beton. Dalam kasus dimana permasalahan yang ada hanya menyangkut lentur, penyelidikan kekuatan beton dapat dilakukan dalam jumlah yang minimal untuk penampang yang bertulangan sedikit ($\rho_f/f_c' \leq 0,15$ untuk penampang persegi panjang).

TATA CARA

22.2.4 — Bila dibutuhkan, kuat tarik batang tulangan atau tendon harus ditentukan berdasarkan hasil uji tarik benda uji yang mewakili bahan struktur yang kekuatannya diragukan.

22.2.5 — Bila dimensi dan sifat fisik bahan yang diperlukan ditentukan melalui pengukuran dan pengujian, dan bila perhitungan dapat dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam 22.1.2, maka faktor reduksi kekuatan yang berlaku pada 11.3 boleh diperbesar, tetapi faktor reduksi kekuatan tersebut tidak boleh melebihi nilai berikut:

Lentur, tanpa aksial	0,9
Tarik aksial, dan tarik aksial dengan lentur	0,9
Tekan aksial dan tekan aksial dengan lentur:	
Komponen struktur dengan tulangan spiral sesuai dengan ketentuan 12.9.3	0,85
Komponen struktur lain	0,80
Geser dan/atau puntir	0,80
Tumpuan pada beton	0,75

22.3 — Prosedur uji beban

Perencanaan dan pelaksanaan uji-beban serta besarnya intensitas beban uji harus mengikuti ketentuan berikut:

22.3.1 — Jumlah dan pengaturan pola bentangan atau panel yang dibebani harus dipilih sedemikian rupa agar didapatkan nilai lendutan dan tegangan maksimum di daerah yang kritis dari komponen struktur yang kekuatannya diragukan. Penggunaan beberapa pola pembebanan harus dilakukan, bila pola pembebanan tunggal yang digunakan tidak akan menghasilkan secara bersamaan nilai maksimum respon struktur, seperti lendutan, puntir atau tegangan, yang diperlukan untuk membuktikan cukup tidaknya kekuatan struktur.

22.3.2 — Beban uji total, termasuk beban mati yang sudah ada pada struktur, tidak boleh kurang daripada **0,85(1,4D + 1,7L)**. Pengurangan nilai *L* diizinkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku ("*Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung*").

22.3.3 — Uji-beban tidak boleh dilakukan terhadap struktur

PENJELASAN

S22.2.4 — Persyaratan jumlah uji tergantung pada keseragaman bahan dan yang paling baik adalah ditentukan oleh ahli teknik untuk aplikasi yang bersifat khusus.

S22.2.5 — Faktor reduksi kekuatan yang tercantum di Pasal 22.2.5 adalah lebih tinggi daripada yang ditetapkan di Pasal 9. Peningkatan nilai-nilai ini dapat dibenarkan oleh pemakaian sifat-sifat material yang diperoleh secara akurat di lapangan, dimensi aktual struktur, dan metode analisa yang sudah dimengerti dengan baik.

S22.3 — Prosedur uji beban

S22.3.1 — Pengaturan beban

Adalah penting untuk menempatkan beban di lokasi-lokasi sedemikian sehingga diperoleh pengaruh maksimum pada kerusakan yang dicurigai dan kemungkinan komponen-komponen struktur yang tidak dibebani menerima beban uji yang diaplikasikan adalah minimal. Dalam kasus dimana ditunjukkan oleh analisis bahwa ada elemen lain yang menyatu dan tidak dibebani namun ikut memikul sebagian beban, maka beban harus ditempatkan untuk memberi pengaruh yang konsisten dengan tujuan dari faktor beban.

S22.3.2 — Intensitas beban

Intensitas beban yang diperlukan mengikuti praktek uji beban sebelumnya. Beban hidup *L* boleh dikurangi sebagaimana diperkenankan oleh tata cara bangunan umum yang mengatur pertimbangan-pertimbangan keamanan untuk struktur. Beban hidup harus ditingkatkan untuk mengkompensasi tahanan yang diberikan oleh bagian struktur yang tidak dibebani. Penambahan beban hidup ditentukan dari analisis untuk kondisi pembebanan terkait pada kriteria lolos/gagal yang terpilih untuk percobaan.

TATA CARA

atau bagian struktur yang berumur ku-rang dari 56 hari. Namun, bila pemilik struktur bangunan, pemborong dan seluruh pihak yang terlibat menyetujui, maka uji beban tersebut boleh dilakukan pada umur yang lebih awal.

22.4 — Kriteria pembebanan

22.4.1 — Bacaan nilai awal untuk setiap respon struktur yang diukur (seperti: lendutan, rotasi, regangan, slip, lebar retak) harus diperoleh dalam waktu tidak lebih dari satu jam sebelum pengaplikasian tahapan beban pertama. Pengukuran harus dilakukan pada lokasi dimana respon maksimum diharapkan akan terjadi. Pengukuran tambahan harus dilakukan bila diperlukan.

22.4.2 — Beban uji harus diaplikasikan dalam tidak kurang dari empat tahapan peningkatan beban yang sama.

22.4.3 — Beban uji merata harus diaplikasikan sedemikian untuk menjamin tercapainya keseragaman distribusi beban pada struktur atau bagian struktur yang diuji. Terjadinya kondisi lengkung dari beban uji harus dihindari.

22.4.4 — Rangkaian pengukuran respon struktur harus dilakukan pada setiap saat setelah tahapan pembebanan diaplikasikan, dan pada saat beban total telah diaplikasikan pada struktur selama tidak kurang dari 24 jam.

22.4.5 — Beban uji total harus segera dilepaskan setelah seluruh pengukuran respon yang didefinisikan dalam 22.4.4 di atas telah dilakukan.

22.4.6 — Rangkaian pengukuran akhir harus dilakukan pada 24 jam setelah beban uji dilepaskan.

22.5 — Syarat penerimaan

22.5.1 — Bagian struktur yang diuji-beban tidak boleh memperlihatkan tanda-tanda kegagalan/keruntuhan. Retak-belah dan pecah pada bagian beton yang tertekan dapat dianggap sebagai indikasi kegagalan/keruntuhan.

PENJELASAN**S22.4 — Kriteria pembebanan**

S22.4.2 — Struktur sebaiknya diinspeksi setelah setiap kenaikan beban.

S22.4.3 — Pengaruh lengkung merujuk pada kecenderungan penyaluran beban yang tidak merata ke komponen lentur yang diuji. Misalkan, bila pelat dibebani oleh suatu susunan merata batu bata dengan batu bata yang saling kontak, pengaruh lengkung akan menghasilkan pengurangan beban pada pelat di sekitar tengah bentang.

S22.5 — Syarat penerimaan

S22.5.1 — Kriteria umum penerimaan untuk perilaku struktur yang dikenai uji beban adalah bila tidak ada bukti terjadi kegagalan. Bukti kegagalan termasuk retak, pengelupasan, atau defleksi dengan besaran dan tingkatan tertentu sehingga hasil pengamatan secara jelas melampaui dan tidak kompatibel dengan persyaratan keamanan struktur.

Tidak ada aturan sederhana yang berhasil dikembangkan untuk dipakai pada semua tipe struktur dan kondisi. Bila terjadi kerusakan yang cukup banyak sedemikian sehingga struktur tersebut dinyatakan gagal pada uji beban, uji ulang tidak diperkenankan, karena komponen-komponen yang rusak tersebut dianggap tidak dapat dipakai lagi biarpun dengan beban yang lebih kecil.

TATA CARA

PENJELASAN

22.5.2 — Lentutan maksimum terukur harus memenuhi salah satu dari kondisi berikut:

Lentutan maksimum terukur:

$$\Delta_{\text{maks}} \leq \frac{l_r^2}{20.000h} \quad (118)$$

Lentutan permanen terukur:

$$\Delta_{r,\text{maks}} \leq \frac{\Delta_{\text{maks}}}{4} \quad (119)$$

Bila lentutan maksimum dan lentutan permanen yang terukur tidak memenuhi Persamaan 118 dan 119, maka uji-beban dapat diulang.

Uji-beban-ulang tidak boleh dilakukan lebih awal dari 72 jam setelah pelepasan beban-uji yang pertama. Bagian dari struktur yang diuji-ulang dianggap memenuhi persyaratan bila sifat pemulihan lentutan memenuhi kondisi berikut:

Lentutan permanen:

$$\Delta_{r,\text{maks}} \leq \frac{\Delta_{f,\text{maks}}}{5} \quad (120)$$

dimana $\Delta_{f,\text{maks}}$ adalah lentutan maksimum yang diukur selama uji-beban kedua relatif terhadap posisi struktur pada saat awal uji-beban kedua.

22.5.3 — Komponen struktur yang diuji-beban tidak boleh memperlihatkan retakan yang menunjukkan terjadinya awal dari keruntuhan geser.

Pengelupasan setempat atau lepasnya bagian beton yang tertekan pada komponen lentur yang terkait dengan kekurangsempurnaan cetakan tidak perlu menjadi indikasi kelemahan struktur secara keseluruhan. Lebar retak adalah indikator yang baik kondisi struktur dan harus diobservasi untuk membantu menentukan apakah struktur tersebut memuaskan. Namun, prediksi yang tepat atau pengukuran lebar retak di komponen struktur beton bertulang nampaknya sulit dicapai di lapangan. Susunlah kriteria sebelum uji, yang relatif pada tipe retak yang diantisipasi; dimana retak akan diukur; bagaimana mengukurnya; dan batas-batas atau kriteria pendekatan untuk mengevaluasi retak baru atau batas-batas untuk perubahan lebar retak.

S22.5.2 — Batas lentutan dan pilihan uji ulang mengikuti praktek yang lalu. Bila struktur tidak menunjukkan bukti-bukti kegagalan, lentutan yang kembali setelah beban uji disingkirkan dipakai untuk menentukan apakah kekuatan struktur masih memuaskan. Namun demikian, dalam kasus struktur yang sangat kaku, kesalahan pengukuran pada kondisi lapangan mungkin sama besarnya seperti lentutan dan pemulihan aktual. Untuk menghindari pemberian penalti pada struktur yang kinerja ujinya memuaskan dalam kasus seperti diatas, pengukuran pemulihan dibebaskan bila lentutan maksimum kurang daripada $l_r^2/(20.000h)$. Defleksi permanen $\Delta_{r,\text{maks}}$ adalah selisih antara defleksi awal dan akhir (setelah beban dihilangkan) untuk uji beban atau uji beban ulang.

S22.5.3 — Gaya disalurkan melintasi bidang retak geser oleh kombinasi efek penguncian agregat pada permukaan bidang retak yang dibantu oleh aksi jepitan tulangan sengkang melintang dan oleh aksi dowel tulangan sengkang yang melintasi retak. Jika panjang retak meningkat mendekati panjang proyeksi horizontal yang sama dengan tinggi komponen dan bersamaan dengan itu melebar sedemikian sehingga efek penguncian agregat tidak terjadi, dan jika tulangan sengkang melintang bila ada mulai leleh atau menunjukkan kehilangan penjangkarannya sehingga

TATA CARA

22.5.4 — Pada daerah komponen struktur yang tidak dipasang tulangan transversal (geser), timbulnya retak struktur yang membentuk sudut terhadap sumbu longitudinal dan mempunyai proyeksi horizontal yang lebih panjang dari tinggi irisan penampang di titik tengah retakan, harus dievaluasi lebih lanjut.

22.5.5 — Pada daerah penjangkaran dan sambungan lewatan, timbulnya sekumpulan retak pendek miring atau datar di sepanjang sumbu tulangan, harus dievaluasi lebih lanjut.

22.6 — Ketentuan untuk tingkat pembebanan yang lebih rendah

Bila struktur yang sedang diteliti tidak memenuhi ketentuan atau kriteria dalam 22.1.2, 22.5.2 atau 22.5.3, maka struktur boleh digunakan untuk tingkat pembebanan yang lebih rendah berdasarkan hasil uji atau analisis bilamana disetujui oleh pejabat bangunan yang berwenang.

22.7 — Keamanan

22.7.1 — Uji beban harus dilaksanakan sedemikian rupa hingga keamanan jiwa dan konstruksi selama pengujian berlangsung dapat terjamin.

22.7.2 — Tindakan pengamanan yang diambil tidak boleh mengganggu jalannya uji beban atau mempengaruhi hasil pengujian tersebut.

PENJELASAN

nampak mengancam integritasnya, maka komponen struktur bisa diasumsikan mendekati kegagalan geser yang tak bisa dihindari.

S22.5.4 — Tujuan Pasal 22.5.4 adalah agar profesional yang bertugas pada uji beban untuk memperhatikan implikasi struktur dengan terbentuknya retak miring yang dapat menjurus pada keruntuhan getas pada komponen struktur tanpa tulangan melintang.

S22.5.5 — Retak sepanjang sumbu tulangan di daerah penjangkaran dapat dikaitkan dengan kondisi tegangan yang tinggi sehubungan dengan penyaluran gaya antara baja tulangan dan beton. Retak-retak ini dapat menjadi indikator penundaan kegagalan getas pada komponen tersebut bila retak-retak tersebut dihubungkan dengan penulangan utama. Adalah penting sekali untuk mengevaluasi sebab, dan konsekuensinya.

S22.6 — Ketentuan untuk tingkat pembebanan yang lebih rendah

Kecuali komponen struktur yang sudah diuji beban dan ternyata gagal dalam uji tersebut (lihat 22.5), pejabat bangunan boleh mengizinkan pemakaian suatu struktur atau komponen struktur dengan tingkat beban yang dinilai aman dan pantas berdasarkan hasil uji beban.

PASAL 23 — KETENTUAN KHUSUS UNTUK PERENCANAAN GEMPA

TATA CARA

23.1 — Definisi

Beban dan gaya terfaktor — Beban dan gaya yang ditetapkan, yang dimodifikasi oleh faktor-faktor dalam 11.2.

Beton agregat ringan — Beton ringan-total atau beton ringan-pasir yang dibuat dengan agregat ringan yang memenuhi 5.3.

Dasar struktur — Tingkat dimana gerakan gempa diasumsikan dilimpahkan pada suatu bangunan. Tingkat ini tidak harus sama dengan level muka tanah.

Diafragma struktural — Komponen struktur, seperti pelat lantai dan atap, yang menyalurkan gaya inersia kepada komponen-komponen struktur pemikul gaya lateral.

Dinding struktural — Dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi dari geser, momen dan gaya aksial yang ditimbulkan gempa. Suatu "dinding geser" merupakan dinding struktural. Dinding struktural dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Dinding struktural beton biasa — Suatu dinding struktural yang memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 3 hingga 20.

Dinding struktural beton khusus — Suatu dinding struktural yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk dinding struktural beton biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan 23.2 dan 23.6.

Elemen kolektor — Elemen yang berfungsi untuk menyalurkan gaya inersia dalam diafragma struktural kepada komponen-komponen sistem pemikul gaya lateral.

Elemen pengikat — Elemen yang berfungsi untuk menyalurkan gaya inersia dan mencegah pemisahan dari komponen-komponen bangunan seperti fondasi-fondasi telapak dan dinding-dinding.

Gaya lateral yang ditetapkan — Gaya lateral yang berkenaan dengan distribusi gaya geser dasar rencana sebagaimana yang ditentukan oleh SNI 03-1726-1989, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung" atau penggantinya.

Kait gempa — Kait pada sengkang, sengkang tertutup, atau pengikat silang yang mempunyai bengkokan tidak kurang dari 135° kecuali bahwa sengkang cincin harus mempunyai

PENJELASAN

S23.1 — Definisi

TATA CARA

bengkokan tidak Kurang dari 90°. Kait harus diberi perpanjangan enam-diameter (namun tidak kurang dari 75 mm) yang mengait tulangan longitudinal dan mengarah pada bagian dalam sengkang atau sengkang tertutup.

Kombinasi beban rencana — Kombinasi beban dan gaya terfaktor yang ditentukan dalam 11.2.

Komponen batas — Bagian sepanjang tepi dinding dan diafragma yang diperkuat oleh tulangan longitudinal dan transversal. Komponen batas tidak perlu diberi ketebalan melebihi tebal dinding atau diafragma. Tepi bukaan dalam dinding dan diafragma harus diberi komponen batas sebagaimana disyaratkan dalam 23.6.6 atau 23.7.5.3.

Komponen batas khusus — Komponen-komponen batas yang ditentukan oleh 23.6.6.2 atau 23.6.6.3.

Panjang penyaluran batang tulangan dengan kait standar — jarak terpendek antara penampang kritis (dimana kekuatan batang harus dikembangkan) dan garis singgung pada tepi terluar dari kait 90°.

Pengikat silang — Batang menerus yang pada satu ujungnya mempunyai kait gempa dan pada ujung lainnya mempunyai suatu kait yang tidak kurang dari 90° dengan perpanjangan sekurang-kurangnya enam-diameter. Kait tersebut harus mengait batang tulangan longitudinal tepi. Kait 90° dari dua pengikat silang yang berurutan yang mengait pada batang longitudinal yang sama harus dipasang sedemikian hingga kedudukan ujungnya berselang.

Perpindahan rencana — Perpindahan lateral total yang diharapkan berdasarkan besaran gempa rencana, sebagaimana yang ditentukan SNI 03-1726-1989 atau penggantinya.

PENJELASAN

Perpindahan rencana adalah indeks perpindahan lateral maksimum yang diharapkan dalam desain untuk gempa rencana. Dalam dokumen-dokumen seperti *National Earthquake Hazards Reduction Provisions (NEHRP)*,^{23.1} *ASCE 7-95*, *Uniform Building Code (UBC)*,^{23.2} *BOCA/National Building Code (BOCA)*^{23.3} yang dipublikasi oleh *Building Officials and Code Administrators International*, atau *Standard Building Code (SBC)*^{23.4} yang dipublikasi oleh *Southern Building Code Congress International*, dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002),^{23.5} gempa berbasis desain mempunyai kira-kira 90 persen kemungkinan tidak dilampaui dalam 50 tahun. Dalam dokumen-dokumen tersebut juga ditentukan bahwa simpangan rencana itu dihitung memakai analisa statik atau linier elastis dinamis oleh aksi yang ditetapkan oleh tata cara ini dengan memperhitungkan pengaruh penampang retak, pengaruh dari torsi, pengaruh gaya-gaya vertikal pada waktu terjadi simpangan, dan faktor modifikasi untuk memperhitungkan respons inelastis yang terjadi. Perpindahan rencana ini biasanya lebih besar dari perpindahan hasil perhitungan oleh beban gempa nominal pada model bangunan yang elastis linier.

TATA CARA

PENJELASAN

Rangka batang struktural — Susunan dari komponen-komponen struktur beton bertulang yang fungsi utamanya menahan gaya aksial.

Senggang tertutup — Suatu senggang yang tertutup atau senggang yang melingkup secara menerus. Suatu senggang yang tertutup dapat dibentuk dari beberapa elemen tulangan yang mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya. Kedua ujung dari suatu senggang yang melingkup secara menerus harus mempunyai kait gempa.

Sistem pemikul gaya lateral — Bagian struktur yang terdiri dari komponen struktur yang diproporsikan untuk menahan gaya yang berhubungan dengan pengaruh gempa.

Sistem rangka pemikul momen — Sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem rangka pemikul momen dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Rangka pemikul momen biasa — Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 3 hingga 20.

Rangka pemikul momen menengah — Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan untuk 23.2.2.3 dan 23.10.

Rangka pemikul momen khusus — Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan 23.2 sampai dengan 23.5.

Strat — Elemen dari diafragma struktural yang berfungsi untuk memberikan kontinuitas di sekeliling bukaan pada diafragma.

23.2 — Ketentuan umum

23.2.1 — Ruang lingkup

23.2.1.1 — Pasal ini memuat ketentuan khusus untuk perencanaan dan pelaksanaan komponen struktur beton bertulang dari suatu struktur, untuk mana gaya rencana, akibat gempa, telah ditentukan berdasarkan disipasi energi pada rentang nonlinier dari respon struktur tersebut.

23.2.1.2 — Untuk daerah dengan resiko gempa yang rendah, ketentuan dari Pasal 3 hingga 20 tetap berlaku kecuali bila dimodifikasi oleh ketentuan dalam pasal ini. Bila gaya geser dasar ditetapkan berdasarkan anggapan bahwa sistem struktur beton bersifat khusus atau menengah maka ketentuan pada Pasal 23 mengenai sistem-sistem tersebut harus dipenuhi.

S23.2 — Ketentuan Umum

S23.2.1 — Ruang Lingkup

Pasal 23 ini mengandung ketentuan-ketentuan persyaratan minimum untuk struktur beton bertulang yang dianggap mampu menahan suatu rangkaian osilasi respons ke dalam lingkup inelastis tanpa menimbulkan kemunduran kritis pada kekuatan. Integritas struktur di dalam lingkup respons inelastis harus terjamin karena beban gempa nominal yang didefinisikan dalam dokumen-dokumen seperti ketentuan *IBC*,^{23.6} *UBC*,^{23.2} dan *NEHRP*^{23.1} dianggap lebih kecil dari beban sesuai respons linier intensitas gempa yang diantisipasi.^{23.1,23.7-23.9}

Struktur beton bertulang yang didetail baik, sewaktu merespons gempa kuat akan berkurang kekakuan efektifnya dan meningkat kemampuan penyebaran energinya.

TATA CARA

23.2.1.3 — Untuk daerah dengan resiko gempa menengah, harus digunakan sistem rangka pemikul momen khusus atau menengah, atau sistem dinding struktural beton biasa atau khusus untuk memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa. Bila gaya geser dasar ditetapkan berdasarkan anggapan bahwa sistem struktur beton bersifat khusus maka ketentuan pada Pasal 23 mengenai sistem tersebut harus dipenuhi.

23.2.1.4 — Untuk daerah dengan resiko gempa yang tinggi, harus digunakan sistem rangka pemikul momen khusus, atau sistem dinding struktural beton khusus, dan diafragma serta rangka batang sesuai dengan 23.2 sampai dengan 23.8. Komponen struktur yang tidak direncanakan memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa harus direncanakan sesuai dengan 23.9.

23.2.1.5 — Sistem struktur beton bertulang yang tidak memenuhi ketentuan Pasal 23 boleh digunakan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian dan analisis bahwa sistem yang diusulkan akan mempunyai kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki oleh struktur beton bertulang monolit setara yang memenuhi ketentuan Pasal 23.

PENJELASAN

Perubahan ini, cenderung akan relatif mengurangi respons akselerasi dari gaya inersia lateral bila dibanding struktur tetap linier elastis dan sedikit teredam.^{23.10} Jadi, pemakaian beban gempa nominal sebagaimana tercantum di Referensi 23.2 mensyaratkan bahwa sistem penahan beban lateral tetap memiliki bagian substansial kekuatannya waktu memasuki kisaran inelastis pada perpindahan bolak-balik

Ketentuan Pasal 23 berhubungan dengan syarat-syarat pendetailan tipe rangka sistem struktural gedung, resiko tingkat gempa setempat, tingkat penyebaran energi yang direncanakan dalam desain struktur, dan kategori gedung (*occupancy*). Tingkat resiko gempa dibagi dalam rendah, moderat atau menengah dan tinggi. Tingkat resiko gempa ini didefinisikan oleh *UBC*.^{23.2} Bila nilai Percepatan Tanah Puncak (*Peak Ground Acceleration/PGA*) dari *UBC*.^{23.2} ini dipakai sebagai perkiraan penentuan wilayah gempa di Indonesia, maka diperoleh Wilayah Gempa Rendah, Menengah dan Tinggi untuk Indonesia seperti dalam tabel berikut:

Wilayah*	Percepatan Puncak Batuan Dasar atau <i>PGA</i>	Wilayah Gempa
1	0,03g	Rendah
2	0,10g	
3	0,15g	Menengah
4	0,20g	
5	0,25g	Tinggi
6	0,30g	

*sesuai Gambar 1 dari SNI 03-1726-2002.

Sesuai *UBC*.^{23.2} dan *NEHRP* 1997,^{23.1} sistem struktur gedung yang berada di Wilayah Gempa Rendah, Menengah, dan Tinggi berturut-turut harus didesain sesuai 23.2.1.2, 23.2.1.3, dan 23.2.1.4

Syarat-syarat desain dan pendetailan harus kompatibel dengan tingkat penyebaran energi (atau daktilitas) yang diamsusikan pada perhitungan desain beban gempa. Istilah-istilah Rendah, Menengah, dan Tinggi dipakai untuk mengatur kompatibilitas itu. Tingkat daktilitas yang disyaratkan, dan dengan demikian syarat tingkat pendetailannya, meningkat untuk struktur mulai dari kategori biasa, menengah dan tinggi. Penting sekali untuk struktur yang berada di Wilayah Gempa Tinggi memiliki tingkat daktilitas yang tinggi. Namun peraturan mengijinkan untuk mendesain daktilitas yang lebih tinggi di wilayah gempa yang lebih rendah dan memanfaatkan tingkat beban desain yang lebih rendah.

Ketentuan-ketentuan Pasal 1 sampai 20 dan 24 dimaksudkan untuk memberikan cukup daktilitas bagi struktur-struktur yang direncanakan pada kategori biasa. Karena itu Pasal 23 tidak perlu diberlakukan pada Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) biasa atau struktur dinding struktural biasa.

TATA CARA

PENJELASAN

Pasal 23 mensyaratkan beberapa detail untuk struktur beton bertulang yang berada di Wilayah Gempa menengah. Persyaratan-persyaratan itu tercantum di Pasal 23.2.1.3 dan 23.10.

Di wilayah gempa tinggi, struktur mungkin terkena getaran tanah kuat. Bila ini terjadi, Rangka Pemikul Momen Khusus (RPMK) atau Dinding Struktural⁴ Beton Khusus (DSBK) kemungkinan akan mengalami perpindahan (*displacement*) bolak-balik berulang kali yang melebihi batas dimana tulangan leleh. Ketentuan-ketentuan Pasal 23.2 sampai 23.9 dikembangkan untuk memberi struktur cukup daktilitas oleh respons khusus ini.

Syarat-syarat khusus dimensi dan pendetailan di Pasal 23 ini didasarkan terutama atas pengalaman lapangan dan laboratorium pada struktur bangunan beton bertulang monolit. Ekstrapolasi syarat-syarat tersebut untuk tipe struktur beton bertulang lain harus didasarkan atas bukti hasil pengalaman lapangan, percobaan-percobaan, atau analisis. Komponen-komponen pracetak atau prategang boleh dipakai untuk menahan gempa bumi bila dapat ditunjukkan bahwa hasil strukturnya akan memberikan keamanan dan tingkat layanan (sewaktu dan sesudah gempa) sedikitnya sebaik yang diberikan oleh konstruksi monolit.

Syarat daktilitas di Pasal 23.2.1.5 mengacu pada kekuatiran atas keutuhan struktural dari sistem penahan beban lateral secara menyeluruh pada saat terjadi simpangan lateral oleh beban gempa rencana. Tergantung pada karakteristik penyebaran energi dari sistem struktur yang dipakai, penyimpangan itu mungkin akan lebih besar dari struktur beton bertulang monolit.

23.2.2 — Analisis dan perhitungan proporsi komponen struktur

23.2.2.1 — Interaksi dari semua komponen struktur dan non-struktural yang secara nyata mempengaruhi respons linier dan non-linier struktur terhadap gerakan gempa harus ditinjau dalam analisis.

23.2.2.2 — Komponen kaku yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya lateral dapat digunakan asalkan pengaruhnya atas respons dari sistem struktur ditinjau dan diperhitungkan dalam perencanaan struktur. Konsekuensi atas keruntuhan dari komponen struktur dan non-struktural yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya lateral juga harus diperhitungkan.

23.2.2.3 — Komponen struktur yang berada di bawah dasar struktur yang diperlukan untuk menyalurkan gaya akibat gempa ke fondasi juga harus memenuhi ketentuan Pasal 23.

23.2.2.4 — Semua komponen struktur yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya lateral harus

S23.2.2 — Analisis dan perhitungan proporsi komponen struktur

Distribusi kuat perlu ke berbagai komponen dari sistem pemikul beban lateral dianggap berpedoman pada model analisis linier elastis dari sistem yang terkena beban terfaktor sesuai peraturan yang berlaku. Bila dipakai analisis riwayat respons nonlinier, gaya geser dasar harus dipilih setelah studi mendetail dari kondisi lapangan dan riwayat gempa lokal.

Karena dasar desain mengakui terjadi respons inelastis, adalah perlu untuk menyelidiki stabilitas dari sistem penahan beban lateral begitu juga interaksinya dengan struktur lain dan komponen non struktural pada simpangan-simpangan yang lebih besar dari yang diperoleh dari analisis linier. Untuk menanganinya ini tanpa melakukan analisis respons nonlinier, dapat ditempuh dengan mengalihkan suatu faktor yang bernilai sedikitnya dua pada simpangan hasil analisis linier dengan menggunakan beban lateral terfaktor, kecuali tata cara yang dipakai menentukan faktor yang akan dipakai seperti Referensi 23.1 dan 23.2.

TATA CARA

memenuhi 23.9.

23.2.3 — Faktor reduksi kekuatan

Faktor reduksi kekuatan harus diambil sesuai dengan ketentuan pada 11.3.4.

23.2.4 — Beton pada komponen struktur yang merupakan bagian dari sistem pemikul beban gempa

23.2.4.1 — Kuat tekan f'_c beton tidak boleh kurang dari 20 MPa.

23.2.4.2 — Kuat tekan beton agregat ringan yang digunakan dalam perencanaan tidak boleh melampaui 30 MPa. Beton agregat ringan dengan kuat tekan rencana yang lebih tinggi boleh digunakan bila dapat dibuktikan dengan pengujian bahwa komponen struktur yang dibuat dari beton agregat ringan tersebut mempunyai kekuatan dan ketegaran yang sama atau lebih dari komponen struktur setara yang dibuat dari beton agregat normal dengan kekuatan yang sama.

23.2.5 — Tulangan pada komponen struktur yang merupakan bagian dari sistem pemikul beban gempa

23.2.5.1 — Tulangan lentur dan aksial yang digunakan dalam komponen struktur dari sistem rangka dan komponen batas dari sistem dinding geser harus memenuhi ketentuan ASTM A 706. Tulangan yang memenuhi ASTM A 615M Mutu 300 MPa dan 400 MPa boleh digunakan dalam komponen struktur di atas bila:

(a) Kuat leleh aktual berdasarkan pengujian di pabrik tidak

PENJELASAN

Untuk perhitungan simpangan lateral akan memperoleh hasil estimasi lebih baik bila semua komponen struktur horizontal dianggap retak penuh dibanding memakai kekakuan penuh pada semua komponen struktur.

Kekuatiran utama Pasal 23 adalah keamanan struktur. Tujuan Pasal 23.2.2.1 dan 23.2.2.2 adalah memberi perhatian pengaruh komponen non struktural pada respons struktur dan resiko dari kejatuhan benda-benda.

Pasal 21.2.2.3 mengingatkan para perencana, bahwa dasar struktur yang didefinisikan dalam analisa, mungkin tidak perlu sesuai dengan fondasi atau muka tanah.

Waktu menentukan ukuran komponen untuk struktur penahan gempa bumi penting mempertimbangkan kongesti oleh pemasangan penulangan. Perencana harus menjamin semua tulangan dapat terpasang dan pengecoran beton dan pemadatannya dapat dilakukan sebaik-baiknya. Pemakaian batas maksimum penulangan diharapkan dapat menghindarkan masalah pelaksanaan terutama di pertemuan-pertemuan rangka.

S23.2.4 — Beton pada komponen struktur yang merupakan bagian dari sistem pemikul beban gempa

Ketentuan dalam pasal ini ditujukan pada kualitas beton di rangka, trusses, atau dinding yang direncanakan untuk menahan beban oleh gempa bumi. Kuat tekan maksimum beton agregat ringan yang digunakan dalam perencanaan dibatasi sampai 30 MPa, terutama karena masih sedikit pengalaman dan data lapangan mengenai perilaku komponen agregat beton ringan yang kena simpangan bolak-balik dalam lingkup non linier. Bila bukti yang meyakinkan dikembangkan untuk suatu aplikasi spesifik, batas maksimum kuat tekan agregat beton ringan dapat ditingkatkan sesuai kenyataan yang dapat dibenarkan.

S23.2.5 — Tulangan pada komponen struktur yang merupakan bagian dari sistem pemikul beban gempa

Pemakaian penulangan memanjang dengan kekuatan yang jauh lebih tinggi dari yang diasumsi dalam desain akan memicu gaya geser dan tegangan lekatan lebih tinggi pada saat mencapai momen leleh. Keadaan ini akan menjurus terjadi kegagalan getas oleh geser atau lekatan dan harus dihindarkan meskipun kegagalan demikian mungkin terjadi pada pembebanan lebih tinggi dari yang diantisipasi dalam desain. Karena itu, ditetapkan plapon kuat leleh aktual baja

TATA CARA

melampaui kuat leleh yang ditentukan sebesar lebih dari 120 MPa (uji ulang tidak boleh memberikan hasil yang melampaui harga ini sebesar lebih dari 20 MPa), dan

(b) Rasio kuat tarik aktual terhadap kuat leleh aktual tidak kurang dari 1,25.

23.2.6 — Tulangan yang disambung dengan sambungan mekanis

23.2.6.1 — Sambungan mekanis terdiri dari tipe 1 dan tipe 2 sebagai berikut:

(a) Tipe 1 adalah sambungan mekanis yang sesuai dengan 14.14.3.2; dan,

(b) Tipe 2 adalah sambungan mekanis yang sesuai dengan 14.14.3.2 dan harus lebih kuat daripada tulangan yang disambungkan.

23.2.6.2 — Sambungan mekanis tipe 1 tidak boleh diletakkan pada daerah dua kali tinggi komponen struktur dari muka kolom atau balok atau dari penampang dimana pelelehan tulangan dapat terjadi akibat perpindahan lateral inelastis. Sambungan mekanis tipe 2 diijinkan untuk diletakkan dimana saja.

23.2.7 — Tulangan yang disambung dengan las

23.2.7.1 — Tulangan yang disambung dengan las dan memikul gaya-gaya akibat gempa harus sesuai 14.14.3.3 dan tidak boleh diletakkan pada daerah dua kali tinggi komponen struktur dari muka kolom atau balok atau dari penampang dimana pelelehan tulangan dapat terjadi akibat perpindahan lateral inelastis.

23.2.7.2 — Pengelasan tulangan sengkang, sengkang ikat, tulangan sisipan, atau elemen lain yang serupa pada tulangan

PENJELASAN

[lihat 23.2.5(a)].

Persyaratan kuat tarik ultimate yang lebih besar dari kuat leleh tulangan [23.2.5(b)] didasarkan atas anggapan bahwa kemampuan komponen struktur untuk mencapai kapasitas rotasi inelastik merupakan suatu fungsi dari panjang daerah leleh sepanjang sumbu komponen struktur. Dalam menafsirkan hasil-hasil eksperimen ini, panjang daerah leleh dihubungkan dengan besaran relatif momen ultimat dan leleh.^{23.11} Menurut penafsiran ini, makin besar rasio momen ultimate terhadap momen leleh maka makin panjang daerah leleh itu. Pasal 23 mensyaratkan kuat tarik aktual harus tidak lebih kecil dari 1,25 kuat leleh aktual. Komponen struktur dengan tulangan yang tidak memenuhi syarat ini dapat juga terjadi rotasi inelastis, namun perilakunya cukup berbeda sehingga perlu dikesampingkan dari pertimbangan langsung atas dasar aturan yang diperoleh dari pengalaman dengan komponen struktur yang pakai tulangan baja dengan pengerasan regangan (*strain hardening*).

S23.2.6 — Tulangan yang disambung dengan sambungan mekanis

Pada struktur yang mengalami deformasi inelastis sewaktu gempa bumi, tulangan bisa mencapai tegangan kuat tarik. Persyaratan sambungan mekanis Tipe 2 dimaksudkan untuk menghindari kegagalan sambungan bila tulangan terkena tingkat tegangan di daerah leleh. Sambungan Tipe 1 tidak dikenai persyaratan ketat seperti pada sambungan Tipe 2 dan tidak akan mampu menahan tingkat tegangan yang terjadi di daerah leleh. Lokasi sambungan Tipe 1 dibatasi karena tegangan tarik di tulangan di daerah leleh dapat melampaui syarat kekuatan tersebut di 14.14.3.3.

Rekomendasi pemakaian detail ini melarang penempatan sambungan di tempat-tempat komponen struktur penahan gempa yang berpotensi terjadi sendi plastis. Bila memakai sambungan mekanis di daerah yang berpotensi leleh tidak dapat dihindarkan, perencana kasus memiliki dokumen mengenai karakteristik kekuatan yang sesungguhnya dari batang yang akan disambung, perihal karakteristik deformasi gaya dari batang yang disambung, dan perihal kemampuan sambungan Tipe 2 yang akan dipakai untuk memenuhi syarat kinerja yang ditentukan.

S23.2.7 — Tulangan yang disambung dengan las

S23.2.7.1 — Pengelasan tulangan harus sesuai *ANSI/AWS D.14* sebagaimana ditentukan di Pasal 5. Lokasi sambungan dengan las dibatasi karena tulangan tegangan tarik di daerah leleh dapat melampaui persyaratan kekuatan Pasal 14.14.3.3.

S23.2.7.2 — Pengelasan batang tulangan melintang dapat menimbulkan kegetasan lokal dari tulangan. Bila

TATA CARA

longitudinal yang diperlukan dalam perencanaan tidak diperkenankan.

23.3 — Komponen struktur lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

23.3.1 — Ruang lingkup

Persyaratan 23.3 berlaku untuk komponen-komponen struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang (a) memikul gaya akibat beban gempa, dan (b) direncanakan untuk memikul lentur. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini:

23.3.1.1 — Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1A_g f'_c$.

23.3.1.2 — Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

23.3.1.3 — Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.

23.3.1.4 — Lebarnya tidak boleh (a) kurang dari 250 mm, dan (b) lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

23.3.2 — Tulangan longitudinal

23.3.2.1 — Pada setiap irisan penampang komponen struktur lentur, kecuali sebagaimana yang ditentukan 12.5.3, jumlah tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari yang ditentukan oleh persamaan 20, dan tidak boleh kurang dari $1,4b_w d/f_y$, dan rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi 0,025. Sekurang-kurangnya harus ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang secara menerus.

23.3.2.2 — Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

PENJELASAN

pengelasan tulangan melintang dipakai untuk pemasangan penulangan, maka itu harus dilakukan oleh tulangan tambahan untuk tujuan itu. Larangan pengelasan tulangan melintang tidak berlaku untuk batang-batang tulangan yang dilas dengan operasi pengelasan di bawah pengawasan kompeten secara terus-menerus seperti di pabrik jaring kawat las (*welded wire fabric*).

S23.3 — Komponen struktur lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

S23.3.1 — Ruang lingkup

Bagian ini mengatur balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang memikul gaya akibat beban gempa. Komponen rangka lain yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi $A_g f'_c / 10$ akan dirancang dan didetail sesuai 23.4.

Bukti eksperimental^{23.12} menunjukkan bahwa, dibawah penyimpangan bolak-balik yang memasuki lingkup non linier, perilaku komponen struktur menerus yang mempunyai rasio-panjang-tinggi kurang dari empat berbeda signifikan dari perilaku komponen struktur yang relatif lebih langsing. Aturan desain yang berlaku untuk komponen struktur yang lebih langsing ini tidak diperoleh dari pengalaman untuk rasio panjang terhadap tinggi yang kurang dari empat, terutama dalam hal kuat geser.

Pembatasan geometrik yang tercantum di 23.3.1.3 dan 23.3.1.4 diperoleh dari praktek dengan rangka beton bertulang penahan gaya yang ditimbulkan oleh gempa.^{23.13}

S23.3.2 — Tulangan longitudinal

Pasal 12.3.5 membatasi rasio tulangan tarik di komponen lentur sampai suatu fraksi dari rasio tulangan seimbang. Untuk irisan yang terkena lentur saja dan dikenai beban monotonik sampai leleh, pendekatan ini layak karena kemungkinan gagal oleh tekanan dapat ditaksir secara andal dengan model perilaku yang diasumsikan pada menentukan rasio penulangan sesuai kegagalan berimbang. Tapi perilaku model yang sama itu (karena asumsi yang salah seperti distribusi linier, penentuan tepat titik leleh tulangan, pembatasan regangan tekan beton sebesar 0,003, dan tegangan tekan pada cangkang beton) gagal menggambarkan kondisi pada komponen struktur lentur yang terkena penyimpangan bolak-balik yang telah memasuki kisaran inelastis. Jadi kurang rasional untuk tetap mengkaitkan kondisi seimbang untuk desain struktur beton bertulang penahan gempa.

TATA CARA

23.3.2.3 — Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diizinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak melebihi $d/4$ atau 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan (a) pada daerah hubungan balok-kolom (b) pada daerah hingga jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom, dan (c) pada tempat-tempat yang berdasarkan analisis, memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastis struktur rangka.

23.3.2.4 — Sambungan mekanis harus sesuai 23.2.6 dan sambungan las harus sesuai 23.2.7.1.

23.3.3 — Tulangan transversal

23.3.3.1 — Sengkang tertutup harus dipasang pada komponen struktur pada daerah-daerah di bawah ini:

(a) Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.

(b) Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang dimana leleh lentur diharapkan dapat terjadi sehubungan dengan terjadinya deformasi inelastis struktur rangka.

23.3.3.2 — Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi (a) $d/4$, (b) delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, (c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang tertutup, dan (d) 300 mm.

23.3.3.3 — Pada daerah yang memerlukan sengkang tertutup, tulangan memanjang pada perimeter harus mempunyai pendukung lateral sesuai 9.10.5.3.

23.3.3.4 — Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur ini. Lihat Gambar 40.

23.3.3.5 — Sengkang atau sengkang ikat yang diperlukan untuk memikul geser harus dipasang di sepanjang komponen struktur seperti ditentukan pada 23.3.3, 23.4.4, dan 23.5.2.

23.3.3.6 — Sengkang tertutup dalam komponen struktur lentur diperbolehkan terdiri dari dua unit tulangan, yaitu: sebuah sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait 90 derajatnya harus dipasang secara berselang-seling. Jika tulangan memanjang yang diberi pengikat silang dikekang oleh pelat lantai hanya pada satu sisi saja maka kait 90 derajatnya

PENJELASAN

Pembatasan rasio tulangan sebesar 0,025 terutama berdasarkan atas pertimbangan kongesti tulangan dan, tak langsung, membatasi tegangan geser pada girder dengan proporsi tipikal. Ketentuan bahwa harus terpasang dua batang tulangan, di atas dan di bawah, ditujukan lagi untuk pelaksanaan daripada persyaratan perilaku.

Sambungan lewatan tulangan (lihat 23.3.2.3) dilarang ditempatkan di tempat-tempat yang diperkirakan terjadi leleh oleh lenturan karena sambungan demikian tidak dapat diandalkan terkena beban siklik dalam kisaran inelastis. Pemasangan penulangan transversal untuk sambungan lewatan di semua lokasi adalah keharusan mengingat kemungkinan selimut beton akan terkelupas.

S23.3.3 — Tulangan transversal

Tulangan transversal dibutuhkan terutama untuk mengekang beton dan memelihara penahanan lateral bagi batang-batang tulangan dimana tegangan leleh dapat terjadi. Contoh sengkang tertutup yang cocok untuk komponen lentur rangka dapat dilihat di Gambar 40.

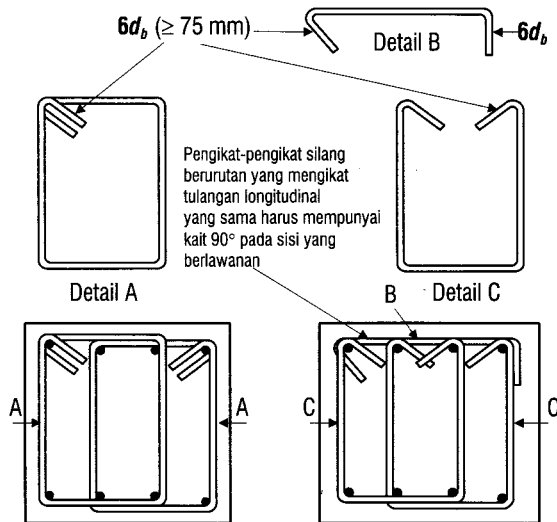
Dalam kasus komponen struktur dengan kekuatan bervariasi sepanjang bentang atau komponen struktur dimana beban tetapnya merupakan bagian besar dari total beban rencana, konsentrasi rotasi inelastis dapat terjadi di dalam bentang. Bila kondisi seperti itu dinantikan, tulangan transversal harus juga diadakan di daerah leleh yang dinantikan.

Karena pengelupasan (*spalling*) pelindung beton bisa terjadi sewaktu gempa kuat, terutama di sendi plastis dan daerah dekatnya, semua sengkang harus berbentuk sengkang tertutup sebagaimana didefinisikan di 23.3.3.5.

TATA CARA

PENJELASAN

harus dipasang pada sisi yang dikekang.



Gambar 40—Contoh sengkang tertutup yang dipasang bertumpuk

23.3.4 — Persyaratan kuat geser

23.3.4.1 — Gaya rencana

Gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_{pr} , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Lihat Gambar 41.

23.3.4.2 — Tulangan transversal

Tulangan transversal sepanjang daerah yang ditentukan pada 23.3.3.1 harus dirancang untuk memikul geser dengan menganggap $V_e = 0$ bila:

- (a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan

S23.3.4 — Persyaratan kuat geser

S23.3.4.1 — Gaya rencana

Dalam menentukan gaya lateral ekuivalen yang mempresentasi efek gempa untuk tipe rangka yang ditinjau, dianggap bahwa komponen-komponen rangka akan menyebar energi waktu merespons dalam kisaran inelastis. Kecuali komponen rangka memiliki kekuatan yang berlipat 3 atau 4 kali gaya desain (gempa normatif), maka bila terjadi gempa kuat dapat dianggap komponen struktur tadi akan leleh. Gaya geser rencana harus kira-kira merupakan maksimum yang mungkin terjadi di suatu komponen struktur. Karena itu, kuat geser perlu untuk komponen struktur rangka dikaitkan dengan kuat lentur dari komponen yang direncanakan daripada gaya geser terfaktor hasil analisa beban lateral. Kondisi yang dijelaskan oleh 23.3.4.1 diilustrasi di Gambar 41.

Mengingat tegangan tulangan memanjang dapat melampaui kuat leleh dan karena strain hardening tulangan dapat terjadi di sendi yang terkena rotasi besar, kuat geser perlu ditentukan dengan memakai tegangan sedikitnya $1,25f_y$ di tulangan memanjang.

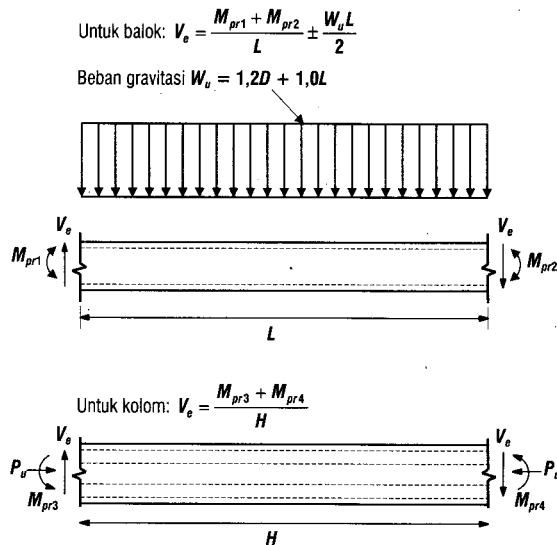
S23.3.4.2 — Tulangan transversal

Studi eksperimen^{23.14,23.15} pada komponen struktur beton bertulang yang dikenai beban bolak-balik menunjukkan bahwa dibutuhkan lebih banyak tulangan geser untuk menjamin kegagalan lentur, bila komponen struktur itu terkena simpangan bolak-balik dibanding dengan

TATA CARA

23.3.4.1 mewakili setengah atau lebih daripada kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut, dan

(b) Gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$.



CATATAN:

1. Arah gaya geser V_e tergantung pada besar relatif beban gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen-momen ujung.
2. Momen-momen ujung M_{pr} didasarkan pada tegangan tarik $1,25f_y$ dimana f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan. (Kedua momen ujung harus diperhitungkan untuk kedua arah, yaitu searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam).
3. Momen-momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar daripada momen yang dihasilkan oleh M_{pr} balok yang merangka pada hubungan balok-kolom. V_e tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

Gambar 41—Perencanaan geser untuk balok-kolom

23.4 — Komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial pada SRPMK

23.4.1 — Ruang lingkup

Persyaratan dalam pasal ini berlaku untuk komponen struktur pada SRPMK (a) yang memikul gaya akibat gempa, dan (b) yang menerima beban aksial terfaktor yang lebih besar daripada $A_g f'_c / 10$. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat berikut ini:

23.4.1.1 — Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang, tidak kurang dari 300 mm.

PENJELASAN

komponen struktur yang hanya kena beban satu arah: kebutuhan tulangan geser yang lebih banyak ini bila tidak ada beban aksial. Observasi ini dinyatakan di Pasal 23.3.4.2 dengan menghapus unsur yang menyatakan kontribusi beton dalam perhitungan kuat geser. Penambahan pengamanan ini dipandang perlu untuk tempat-tempat dimana mungkin terjadi sendi plastis. Namun, cara ini dipilih untuk relatif kesederhanaannya jangan diartikan bahwa beton tidak diperlukan untuk menahan geser. Bahkan sebaliknya dapat diperdebatkan bahwa inti beton memikul seluruh geser dengan tulangan geser (transversal) mengekang dan memperkuat beton. Inti beton terkekang berperan penting pada perilaku balok dan tidak boleh dikurangi sampai minimum hanya karena dalam rumus desain tidak secara eksplisit dinyatakan.

S23.4 — Komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial pada SRPMK

S23.4.1 — Ruang lingkup

Pasal 23.4.1 ditujukan terutama untuk kolom-kolom SRPMK yang ditujukan untuk menahan gaya gempa. Komponen rangka, selain kolom, yang tidak memenuhi Pasal 23.3.1 perlu diproporsi dan didetail sesuai pasal ini.

Pembatasan geometrik di Pasal 23.4.1.1 dan 23.4.1.2 mengikuti praktek sebelumnya.^{23.13}

TATA CARA

23.4.1.2 — Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

23.4.2 — Kuat lentur minimum kolom

23.4.2.1 — Kuat lentur setiap kolom yang dirancang untuk menerima beban aksial tekan terfaktor melebihi $A_g f_c' / 10$ harus memenuhi 23.4.2.2 atau 23.4.2.3.

Kekuatan dan kekakuan lateral kolom yang tidak memenuhi 23.4.2.2 harus diabaikan dalam memperhitungkan kekuatan dan kekakuan struktur, tapi kolom tersebut harus memenuhi 23.9.

23.4.2.2 — Kuat lentur kolom harus memenuhi Persamaan 121

$$\Sigma M_e \geq (6/5) \Sigma M_g \quad (121)$$

ΣM_e = jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

ΣM_g = adalah jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam keadaan tertarik pada muka kolom, tulangan pelat yang berada dalam daerah lebar efektif pelat sesuai dengan 10.10 harus diperhitungkan dalam menentukan kuat lentur nominal balok bila tulangan tersebut terangkut dengan baik pada penampang kritis lentur.

Kuat lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen kolom berlawanan dengan momen balok. Persamaan 121 harus dipenuhi untuk kedua arah momen balok yang bekerja pada bidang rangka yang ditinjau.

23.4.2.3 — Jika 23.4.2.2 tidak dipenuhi maka kolom pada hubungan balok-kolom tersebut harus direncanakan dengan memberikan tulangan transversal seperti ditentukan dalam 23.4.4.1 sampai dengan 23.4.4.3 yang dipasang di sepanjang tinggi kolom.

23.4.3 — Tulangan memanjang

23.4.3.1 — Rasio penulangan ρ_g tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06.

23.4.3.2 — Sambungan mekanis harus sesuai 23.2.6 dan sambungan las harus sesuai 23.2.7. Sambungan lewatan hanya diizinkan di lokasi setengah panjang elemen struktur

PENJELASAN

S23.4.2 — Kuat lentur minimum kolom

Tujuan 23.4.2.2 adalah mengurangi kemungkinan leleh di kolom-kolom yang telah dianggap merupakan bagian dari sistem pemikul gaya lateral. Bila kolom-kolom tidak lebih kuat dari balok-balok yang menyatu dalam suatu titik kumpul (*joint*), ada kemungkinan terjadi aksi inelastis. Dalam kasus yang paling jelek pada kolom-kolom yang lemah, leleh oleh lentur dapat terjadi di kedua ujung kolom di suatu tingkat tertentu, yang menghasilkan mekanisme kegagalan kolom yang menjurus pada keruntuhan.

Di Pasal 23.4.2.2, kuat nominal balok dan kolom diperhitungkan di muka hubungan balok-kolom dan kekuatan-kekuatan itu dibandingkan langsung dengan Pers. (121). Di SNI lama, kekuatan desain yang dibandingkan itu diambil di pusat hubungan balok kolom, yang memberi hasil sama, tapi pakai tambahan perhitungan.

Perhitungan kuat momen nominal balok terkena momen negatif (diatas kena tegangan tarik) dengan memasukkan tulangan selebar lebar efektif lantai akan meningkatkan kekuatan balok. Riset^{23.16} pada bagian balok-kolom yang dikenai beban lateral menunjukkan bahwa penggunaan lebar efektif sesuai 10.10 memberikan penaksiran kuat momen negatif cukup baik pada balok-balok hubungan interior pada simpangan antar tingkat mendekati 2% tinggi tingkat. Lebar efektif ini konservatif pada lantai yang berhenti di balok tepi (*spandrel*) yang lemah.

Bila Pasal 23.4.2.2 di suatu titik kumpul (*joint*) tidak dapat dipenuhi, sembarang kontribusi positif kolom atau kolom-kolom yang terlibat dalam kekuatan lateral dan kekakuan struktur hendaknya diabaikan. Kontribusi negatif dari kolom atau kolom-kolom hendaknya jangan diabaikan. Misalkan, pengabaian kekakuan kolom-kolom harus tidak boleh dipakai sebagai pembenaran mengurangi geser dasar desain. Bila kolom-kolom tadi dipakai dalam model analitis dari bangunan menghasilkan peningkatan pengaruh puntir, peningkatan itu harus dipertimbangkan sebagaimana disyaratkan oleh tata cara yang berlaku.

S23.4.3 — Tulangan memanjang

Batas bawah rasio tulangan dipakai untuk menjaga deformasi yang tergantung pada waktu dan agar momen leleh lebih besar dari momen retak. Batas atas menjaga tidak terjadi kongesti tulangan, transfer beban dari komponen lantai ke kolom terutama di bangunan bertingkat rendah, dan terjadinya tegangan geser yang tinggi.

TATA CARA

yang berada ditengah, direncanakan sebagai sambungan lewatan tarik, dan harus diikat dengan tulangan spiral atau sengkang tertutup yang direncanakan sesuai dengan 23.4.4.2 dan 23.4.4.3.

23.4.4 — Tulangan transversal

23.4.4.1 — Ketentuan mengenai jumlah tulangan transversal di bawah ini harus dipenuhi kecuali bila ditentukan jumlah tulangan yang lebih besar berdasarkan 23.4.3.1 atau 23.4.5.

(a) Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin, ρ_s , tidak boleh kurang daripada yang ditentukan Persamaan 122 berikut ini:

$$\rho_s = 0,12f'_c/f_{yh} \quad (122)$$

dan tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada Persamaan 27.

(b) Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada Persamaan 123 dan 124 berikut ini:

$$A_{sh} = 0,3(sh_c f'_c / f_{yh}) [(A_g / A_{ch}) - 1] \quad (123)$$

$$A_{sh} = 0,09(sh_c f'_c / f_{yh}) \quad (124)$$

(c) Tulangan transversal harus berupa sengkang tunggal atau tumpuk. Tulangan pengikat silang dengan diameter dan spasi yang sama dengan diameter dan spasi sengkang tertutup boleh dipergunakan. Tiap ujung tulangan pengikat silang harus terkait pada tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk kait ujungnya. Lihat Gambar 42.

(d) Bila kuat rencana pada bagian inti komponen struktur telah memenuhi ketentuan kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa maka Persamaan 123 dan 27 tidak perlu diperhatikan.

(e) Bila tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekan melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan perlu dipasang dengan spasi tidak melebihi 300 mm. Tebal selimut di luar tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 100 mm.

PENJELASAN

Pengelupasan selimut beton, yang banyak terjadi di ujung-ujung kolom, menyebabkan sambungan lewatan di daerah ini menjadi berbahaya. Karena itu bila harus dipakai sambungan lewatan maka harus ditempatkan sekitar tengah ketinggian kolom dimana tegangan bolak-balik akan terjadi lebih kecil dibanding dengan yang terletak di dekat hubungan balok kolom. Tulangan transversal khusus diperlukan sepanjang sambungan lewatan mengingat ketidakpastian distribusi momen sepanjang kolom dan kebutuhan pengekan sambungan lewatan yang terkena tegangan bolak-balik.^{23.17}

S23.4.4 — Tulangan transversal

Ketentuan-ketentuan dalam pasal ini berkepentingan dengan pengekan beton dan pemasangan pendukung lateral pada tulangan memanjang.

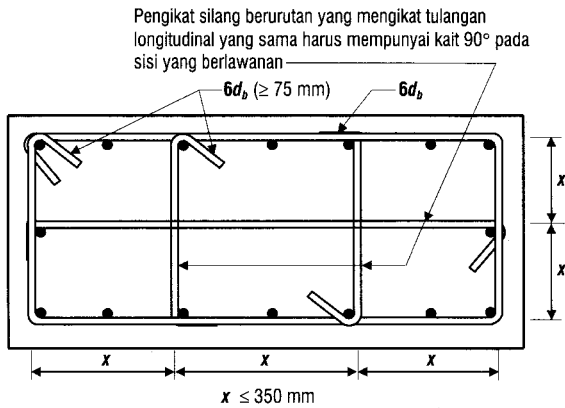
Pengaruh tulangan spiral dan sengkang persegi panjang yang telah dikonfigurasi pada kekuatan dan daktilitas balok sudah banyak dikenal.^{23.18} Kalau prosedur analitis akan kekuatan dan kapasitas daktilitas kolom-kolom yang terkena beban aksial dan momen bolak-balik sudah tersedia,^{23.19} tidak demikian dengan beban aksial dan tuntutan deformasi yang dibutuhkan selama kena beban gempa belum diketahui dengan cukup teliti untuk membenarkan perhitungan kebutuhan tulangan transversal sebagai fungsi dari kebutuhan desain gempa. Sebagai gantinya, disediakan Pers. (27) dan (123) dengan maksud agar bila terjadi spalling pada pelindung beton, tidak akan menyebabkan kehilangan kekuatan beban aksial kolom. Pers. (122) dan (124) berlaku untuk kolom berdiameter besar dengan niat menjamin cukup kapasitas lengkungan lentur di daerah-daerah leleh.

Gambar 42 menunjukkan suatu contoh tulangan transversal yang terdiri dari sebuah sengkang tertutup (*hoop*) dan tiga pengikat silang (*cross ties*). Pengikat silang dengan sudut 90° tidak seefektif baik seperti pengikat silang dengan sudut 135° maupun sengkang tertutup dalam memberikan pengekan. Percobaan-percobaan menunjukkan bahwa sengkang silang dengan ujung bersudut 90° bila dipasang selang seling akan memberikan cukup pengekan.

Pasal 23.4.4.2 dan 23.4.4.3 adalah persyaratan saling berhubungan untuk konfigurasi sengkang tertutup. Ketentuan s tidak lebih dari seperempat dimensi terkecil komponennya adalah untuk memperoleh beton cukup pengekan Syarat s tidak lebih dari enam kali diameter bertujuan mencegah tulangan memanjang menekuk setelah terjadi pengelupasan. Spasi 100 mm adalah untuk pengekan beton; 23.4.4.2 mengijinkan batas s_{maks} 152 mm bila jarak pengikat silang atau kaki sengkang tertutup terbatas 203 mm.

Selimut beton yang tidak bertulang akan terkelupas saat kolom mengalami perubahan bentuk untuk menahan efek

TATA CARA



Gambar 42—Contoh tulangan transversal pada kolom

23.4.4.2 — Tulangan transversal harus diletakan dengan spasi tidak lebih daripada (a) satu per empat dari dimensi terkecil komponen struktur, (b) enam kali diameter tulangan longitudinal, dan (c) s_x sesuai dengan Persamaan 125 berikut ini,

$$s_x = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (125)$$

Nilai s_x tidak perlu lebih besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil daripada 100 mm.

23.4.4.3 — Tulangan pengikat silang tidak boleh dipasang dengan spasi lebih daripada 350 mm dari sumbu-ke-sumbu dalam arah tegak lurus sumbu komponen struktur.

23.4.4.4 — Tulangan transversal sesuai dengan 23.4.4.1 sampai dengan 23.4.4.3 harus dipasang sepanjang ℓ_o dari setiap muka hubungan balok-kolom dan juga sepanjang ℓ_o pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk leleh lentur akibat deformasi lateral inelastis struktur rangka. Panjang ℓ_o ditentukan tidak kurang daripada (a) tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur, (b) seperenam bentang bersih komponen struktur, dan (c) 500 mm.

23.4.4.5 — Bila gaya-gaya aksial terfaktor pada kolom akibat beban gempa melampaui $A_g f'_c / 10$, dan gaya aksial tersebut berasal dari komponen struktur lainnya yang sangat kaku yang didukungnya, misalnya dinding, maka kolom tersebut harus diberi tulangan transversal sejumlah yang ditentukan pada 23.4.4.1 hingga 23.4.4.3 pada seluruh tinggi kolom. Daerah pemasangan tulangan transversal tersebut harus diperpanjang untuk suatu jarak sebesar panjang

PENJELASAN

gempa. Pengelupasan bagian selimut dari inti beton bisa menimbulkan resiko kejatuhan. Penambahan tulangan diperlukan untuk mengurangi resiko bagian pelindung yang terlepas dari kolom itu.

Pasal 23.4.4.4 mendorong pemasangan tulangan transversal yang berspasi berdekatan sepanjang suatu panjang minimum di ujung-ujung komponen struktur yang biasanya terjadi leleh oleh lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang itu harus ditingkatkan 50 persen atau lebih di lokasi-lokasi, seperti dasar bangunan, dimana beban aksial dan tuntutan lentur mungkin khusus tinggi sekali.^{23,20}

Kolom penyangga komponen struktur kaku yang tidak menerus, seperti dinding struktural atau trusses, bisa menimbulkan respons inelastik besar. Karena itu, disyaratkan memasang tulangan transversal sepanjang kolom. Ini berlaku untuk semua kolom di bawah tingkat dimana komponen struktur kaku itu berhenti, kecuali gaya-gaya terfaktor sesuai efek gempa bernilai rendah (lihat 23.4.4.5).

Pengamatan lapangan telah menunjukkan kerusakan yang signifikan di daerah tengah ketinggian kolom yang tidak terkekang. Ketentuan Pasal 23.4.4.6 adalah untuk menjamin relatif keseragaman daktilitas di sepanjang kolom.

TATA CARA

penyaluran tulangan longitudinal terbesar, seperti yang ditentukan pada 23.5.4, ke dalam komponen struktur yang sangat kaku tersebut di atas. Bila ujung bawah kolom berhenti pada suatu dinding maka pemasangan tulangan transversal yang ditentukan pada 23.4.4.1 hingga 23.4.4.3 harus terus diperpanjang hingga ke dalam dinding untuk jarak sebesar panjang penyaluran tulangan longitudinal terbesar diukur dari titik berhentinya kolom. Bila ujung bawah kolom berhenti pada fondasi setempat atau fondasi telapak maka pemasangan tulangan transversal yang ditentukan pada 23.4.4.1 hingga 23.4.4.3 harus terus diperpanjang hingga ke dalam fondasi untuk jarak minimum sebesar 300 mm.

23.4.4.6 — Bila tulangan transversal yang ditentukan pada 23.4.4.1 hingga 23.4.4.3 tidak dipasang di seluruh panjang kolom maka pada daerah sisanya harus dipasang tulangan spiral atau sengkang tertutup dengan spasi sumbu-ke-sumbu tidak lebih daripada nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal kolom atau 150 mm.

23.4.5 — Persyaratan kuat geser**23.4.5.1 — Gaya-gaya rencana**

Gaya geser rencana, V_e , harus ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya pada muka hubungan balok-kolom tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja. Gaya geser rencana tersebut tidak perlu lebih besar daripada gaya geser rencana yang ditentukan dari kuat hubungan balok-kolom berdasarkan kuat momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur transversal yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Gaya geser rencana, V_e , tidak boleh lebih kecil daripada geser terfaktor hasil perhitungan analisis struktur.

23.4.5.2 — Tulangan transversal pada komponen struktur sepanjang ℓ_o yang ditentukan pada 23.4.4.4, harus direncanakan untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, bila:

- (a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan 23.4.5.1 mewakili 50% atau lebih dari kuat geser perlu maksimum pada bagian sepanjang ℓ_o tersebut, dan
- (b) Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui $A_g f_c' / 20$.

PENJELASAN

S23.4.4.6 — Ketentuan 23.4.4.6 ditambahkan pada *ACI Code* 1989 untuk memberikan cukup perlindungan dan daktilitas pada tengah ketinggian kolom di antara tulangan transversal. Pengamatan sesudah gempa bumi menunjukkan kerusakan yang signifikan pada kolom di daerah yang tidak dikekang, dan syarat minimal ikatan atau spiral harus memberikan daktilitas yang lebih seragam pada sepanjang kolom.

S23.4.5 — Persyaratan kuat geser**S23.4.5.1 — Gaya-gaya rencana**

Ketentuan Pasal 23.3.4.1 berlaku pula pada komponen-komponen struktur yang terkena beban aksial (contoh, kolom-kolom). Di atas lantai dasar, momen di Hubungan Balok-Kolom (HBK) bisa dibatasi oleh kuat lentur dari balok-balok yang menyatu di HBK. Dimana balok-balok menyatu pada sisi-sisi HBK yang berlawanan, gabungan kekuatan dapat berupa jumlah kuat momen negatif dari balok di satu sisi HBK dan kuat momen positif balok di sisi lain HBK. Kuat momen ditentukan dengan memakai faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tegangan tulangan sedikitnya sama dengan $1,25f_y$. Distribusi kombinasi kuat momen balok-balok ke kolom-kolom atas dan bawah HBK harus dilakukan berdasarkan analisis. Nilai M_{pr} di Gambar 41 dapat dihitung dari kuat momen komponen struktur di HBK.

TATA CARA

23.5 — Hubungan balok-kolom pada SRPMK

23.5.1 — Ketentuan umum

23.5.1.1 — Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$.

23.5.1.2 — Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan 11.3.

23.5.1.3 — Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang dan diangkur sesuai dengan 23.5.4 untuk tulangan tarik dan Pasal 14 untuk tulangan tekan.

23.5.1.4 — Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang daripada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

23.5.2 — Tulangan transversal

23.5.2.1 — Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup sesuai 23.4.4 harus dipasang di dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok-kolom tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur sesuai 23.5.2.2.

23.5.2.2 — Pada hubungan balok-kolom dimana balok-balok, dengan lebar setidak-tidaknya sebesar tiga per empat lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidak-tidaknya sejumlah setengah dari yang ditentukan pada 23.4.4.1. Tulangan transversal ini dipasang di daerah hubungan balok-kolom disetinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal yang ditentukan 23.4.4.2(b) dapat diperbesar menjadi 150 mm.

PENJELASAN

S23.5 — Hubungan balok-kolom pada SRPMK

S23.5.1 — Ketentuan umum

Perkembangan rotasi inelastis di muka HBK dari rangka beton bertulang diasosiasikan dengan terjadinya regangan-regangan tulang lentur jauh melampaui regangan leleh. Sebagai konsekuensinya gaya geser yang ditimbulkan oleh tulangan lentur dihitung dengan tegangan tulangan sebesar $1,25f_y$ (lihat 23.5.1.1). Penjelasan mendetail sebab-sebab pengembangan kemungkinan tegangan yang melebihi kuat leleh di tulangan tarik girder diberikan di Referensi 23.11.

S23.5.1.4 — Hasil riset^{23.21-23.25} menunjukkan tulangan lurus balok dapat slip dalam HBK waktu terjadi suatu seri momen bolak-balik yang besar. Tegangan lekatan di batang lurus mungkin sangat besar. Untuk banyak mengurangi slip selama pembentukan sendi di balok yang berdekatan dipandang perlu untuk mempunyai ratio dimensi kolom terhadap diameter batang tulangan kira-kira $1/32$, yang akan menghasilkan titik kumpul (*joint*) yang sangat besar. Dalam menelaah percobaan yang ada, telah dipilih batasan $1/20$ tinggi kolom diarah beban untuk ukuran maksimum tulangan balok beton normal dan batasan $1/26$ untuk beton ringan. Karena tiadanya data spesifik, modifikasi untuk beton ringan telah menggunakan faktor 1,3 dari Pasal 12. Pembatasan ini memberikan kontrol yang baik pada besarnya slip pada batang tulangan balok di HBK, dengan mempertimbangkan jumlah goyangan inelastis yang diantisipasi dari rangka bangunan selama gempa kuat. Penanganan mendalam akan topik ini diberikan di Referensi 23.26.

S23.5.2 — Tulangan transversal

Sekecil apapun gaya geser di HBK dari suatu rangka penahan gaya yang ditimbulkan oleh gempa, tulang pengekanan (23.4.4) harus dipasang pada HBK mengelilingi tulangan kolom (23.5.2.1). Dalam 23.5.2.2 disebutkan tulangan pengekanan ini boleh dikurangi bila komponen-komponen struktur horisontal menyatu pada keempat sisi HBK. *ACI Code* 1989 menentukan batasan maksimum spasi di daerah ini berdasarkan atas data yang ada.^{23.27-23.30}

Pasal 23.5.2.3 menunjuk pada HBK dimana lebar balok melebihi lebar dimensi kolom. Dalam kasus ini, tulangan balok yang tidak terkekang oleh tulangan kolom harus diberi tahanan lateral baik oleh balok yang menyatu pada HBK yang bersangkutan atau oleh tulangan transversal.

TATA CARA

PENJELASAN

23.5.2.3 — Pada hubungan balok-kolom, dengan lebar balok lebih besar daripada lebar kolom, tulangan transversal yang ditentukan pada 23.4.4 harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada diluar daerah inti kolom; terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada hubungan tersebut.

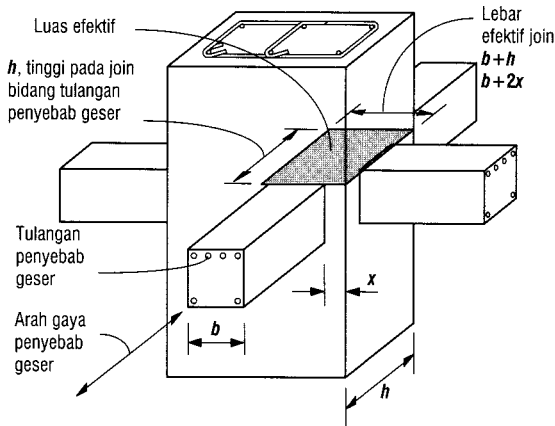
23.5.3 — Kuat geser

23.5.3.1 — Kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal.

- Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya $1,7\sqrt{f'_c} A_j$
- Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan $1,25\sqrt{f'_c} A_j$
- Untuk hubungan lainnya $1,0\sqrt{f'_c} A_j$

Luas efektif hubungan balok-kolom A_j ditunjukkan pada Gambar 43.

Suatu balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya-tidaknya tiga per empat bidang muka hubungan balok-kolom tersebut tertutupi oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok-kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok yang merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom tersebut.



Gambar 43—Luas efektif hubungan balok-kolom

23.5.3.2 — Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada tiga per empat nilai-nilai yang diberikan pada 23.5.3.1.

S23.5.3 — Kuat geser

Persyaratan Pasal 21 untuk perencanaan HBK didasarkan atas Referensi 23.11 yang melihat fenomena perilaku dalam HBK diinterpretasi dalam bentuk kuat geser nominal HBK. Karena percobaan-percobaan pada HBK^{23.21} dan balok tinggi^{23.12} membuktikan bahwa kuat geser ternyata tidak peka terhadap penulangan geser seperti diberikan oleh perumusan yang dikembangkan oleh *ACI Committee 326*^{23.31} untuk balok dan diadopsi untuk diterapkan pada HBK oleh *ACI Committee 352*,^{23.11} maka *ACI Committee 318* menetapkan kekuatan HBK hanya merupakan fungsi dari kuat tekan beton (23.5.3) dan mensyaratkan jumlah minimum tulangan transversal di HBK (23.5.2). Luas efektif HBK A_j diilustrasikan di Gambar 43. Dalam kasus apapun A_j ini tidak boleh lebih besar dari luas penampang melintang kolom.

Tiga tingkat kuat geser yang disyaratkan oleh 23.5.3.1 didasarkan pada rekomendasi *ACI Committee 352*.^{23.11} Data percobaan yang ditelaah oleh *ACI Committee*^{23.29} tersebut, menunjukkan bahwa nilai yang lebih rendah yang diberikan dalam 23.5.3.1 dari *ACI Code* 1983 adalah tidak konservatif bila diterapkan pada HBK sudut.

TATA CARA

23.5.4 — Panjang penyaluran tulangan tarik

23.5.4.1 — Panjang penyaluran ℓ_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton berat normal tidak boleh diambil lebih kecil daripada $8d_b$, 150 mm, dan nilai yang ditentukan oleh Persamaan 126 berikut ini,

$$\ell_{dh} = f_y d_b / (5,4 \sqrt{f'_c}) \quad (126)$$

untuk diameter tulangan sebesar 10 mm hingga 36 mm.

Untuk beton ringan, panjang penyaluran tulangan tarik dengan kait standar 90° tidak boleh diambil lebih kecil daripada $10d_b$, 190 mm, dan 1,25 kali nilai yang ditentukan Persamaan 126. Kait standar 90° harus ditempatkan di dalam inti terkekang kolom atau komponen batas.

23.5.4.2 — Untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik ℓ_d tanpa kait tidak boleh diambil lebih kecil daripada (a) dua setengah kali panjang penyaluran yang ditentukan pada 23.5.4.1 bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang daripada 300 mm, dan (b) tiga setengah kali panjang penyaluran yang ditentukan pada 23.5.4.1 bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.

23.5.4.3 — Tulangan tanpa kait yang berhenti pada hubungan balok-kolom harus diteruskan melewati inti terkekang dari kolom atau elemen batas. Setiap bagian dari tulangan tanpa kait yang tertanam bukan di dalam daerah inti kolom terkekang harus diperpanjang sebesar 1,6 kali.

23.5.4.4 — Bila digunakan tulangan yang dilapisi epoksi, panjang penyaluran pada 23.5.4.1 hingga 23.5.4.3 harus dikalikan dengan faktor-faktor yang berlaku yang ditentukan pada 14.2.4 atau 14.5.3.6.

PENJELASAN

S23.5.4 — Panjang penyaluran batang tarik

Panjang penyaluran minimum untuk batang ulir dengan kait standar dalam beton normal ditentukan oleh Pers. (126). Rumus ini didasarkan atas persyaratan 14.5. Karena Pasal 23 sekuat kait diletakkan di dalam beton yang terkekang, maka koefisien 0,7 (untuk pelindung beton) dan 0,8 (untuk pengikat) telah dipakai secara tetap di Pers. (126). Panjang penyaluran yang diperoleh langsung dari Pasal 14.5 telah ditingkatkan untuk mencerminkan pengaruh beban berbalik.

Panjang penyaluran batang tulangan tarik dengan kait standar didefinisikan sebagai jarak, paralel dengan batang tulangan, mulai dari penampang kritis (yaitu dimana batang mulai disalurkan) sampai garis singgung lengkung luar kait. Garis singgung agar digambar tegak lurus sumbu batang (Gambar 17).

Faktor-faktor seperti tegangan tulangan yang melebihi f_y dan panjang penyaluran efektif yang tidak perlu terjadi di muka HBK telah diperhitungkan pada waktu mengembangkan rumus dasar panjang penyaluran yang dipakai sebagai dasar Pers. (126).

Untuk agregat beton ringan, panjang yang disyaratkan oleh Pers. (126) harus ditambah 25 persen untuk mengkompensasi variasi karakteristik lekatan batang tulangan dalam berbagai tipe agregat beton ringan.

Pasal 23.5.4.2 menentukan panjang penyaluran minimum untuk batang lurus sebagai kelipatan dari panjang yang ditentukan oleh 23.5.4.1. Pasal 23.5.4.2(b) berlaku untuk batang yang terletak di tepi atas.

Bila panjang penyaluran batang tulangan lurus melebihi bagian beton terkekang (sebagaimana didefinisikan oleh 23.3.3, 23.4.4 atau 23.5.2) maka panjang penyaluran yang disyaratkan ditambah dengan kesepakatan bahwa batas tegangan lekatan di luar bagian terkekang adalah lebih kecil daripada di dalam.

$$\ell_{dm} = 1,6(\ell_d - \ell_{dc}) + \ell_{dc}$$

atau

$$\ell_{dm} = 1,6\ell_d - 0,6\ell_{dc}$$

dimana:

- ℓ_{dm} = panjang penyaluran yang disyaratkan bila batang tidak seluruhnya terletak di dalam beton terkekang;
- ℓ_d = panjang penyaluran yang disyaratkan untuk batang lurus tertanam dalam beton terkekang (23.5.4.3);
- ℓ_{dc} = panjang batang yang tertanam dalam beton terkekang

TATA CARA**23.6 — Dinding struktural beton khusus dan balok perangkai khusus****23.6.1 — Ruang lingkup**

23.6.1.1 — Persyaratan-persyaratan pada pasal ini berlaku untuk dinding struktural beton khusus dan balok perangkai khusus yang berperan sebagai bagian dari sistem pemikul beban gempa.

23.6.2 — Penulangan

23.6.2.1 — Rasio penulangan ρ_v dan ρ_h untuk dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025 pada arah sumbu-sumbu longitudinal dan transversal. Apabila gaya geser rencana tidak melebihi $(1/12)A_{cv}\sqrt{f'_c}$, tulangan minimum untuk dinding struktural dapat mengikuti 16.3. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Penulangan yang disediakan untuk kuat geser harus menerus dan harus tersebar dalam bidang geser.

23.6.2.2 — Paling sedikit dua lapis tulangan harus dipasang pada dinding apabila gaya geser bidang terfaktor yang dibebankan ke dinding melebihi $(1/6)A_{cv}\sqrt{f'_c}$.

23.6.2.3 — Semua tulangan menerus pada dinding struktural harus diangkur atau disambunglewat sesuai dengan ketentuan untuk tulangan tarik pada 23.5.4.

23.6.3 — Gaya-gaya rencana

Gaya geser rencana V_u harus diperoleh dari analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi beban terfaktor.

PENJELASAN

Kurangnya referensi mengenai batang D-43 dan D-57 dalam 23.5.4 diakibatkan oleh kurangnya informasi mengenai angkur dengan batang tersebut yang dikenai oleh beban bolak-balik untuk mensimulasikan pengaruh gempa.

S23.6 — Dinding struktural beton khusus dan balok perangkai khusus**S23.6.1 — Ruang lingkup**

Pasal ini berisi persyaratan untuk dimensi dan detail dinding struktural dan balok perangkai khusus. Di *ACI Code* 1995, Pasal 23.6 juga mengandung ketentuan untuk diafragma. Ketentuan untuk diafragma berada di 23.7.

S23.6.2 — Penulangan

S23.6.2.1 — Persyaratan tulangan minimum (23.6.2.1) mengikuti tata cara sebelumnya. Syarat distribusi tulangan geser secara merata terkait dengan niat untuk pengendalian lebar retak miring. Ketentuan pemakaian dua lapisan tulangan di dinding yang terkena geser rencana besar adalah berdasarkan observasi bahwa, pada kondisi pelaksanaan konstruksi yang biasa, kemungkinan mempertahankan lapisan tulangan tunggal tetap berada di tengah penampang dinding adalah kecil sekali. Lebih lanjut, adanya penulangan dekat pada permukaan cenderung mencegah terjadi pecah-pecah di beton bila terjadi retak besar selama ada gempa.

Karena gaya aktual di tulangan memanjang dari komponen-komponen struktur yang kaku dapat melebihi gaya yang dihitung, disyaratkan (23.6.2.3) semua tulangan menerus diberi panjang penyaluran sepenuhnya.

S23.6.3 — Gaya-gaya rencana

Geser rencana dinding struktur diperoleh dari analisa beban lateral dengan load faktor yang sesuai. Namun seorang perencana harus mempertimbangkan kemungkinan leleh dalam komponen struktur itu, seperti bagian dinding di antara dua lubang jendela, dimana geser aktual mungkin bisa jauh melampaui geser yang didapat dari analisa beban lateral berdasarkan gaya desain terfaktor.

TATA CARA

23.6.4 — Kuat geser

23.6.4.1 — Kuat geser nominal, V_n , dinding struktural tidak diperkenankan lebih daripada,

$$V_n = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y] \quad (127)$$

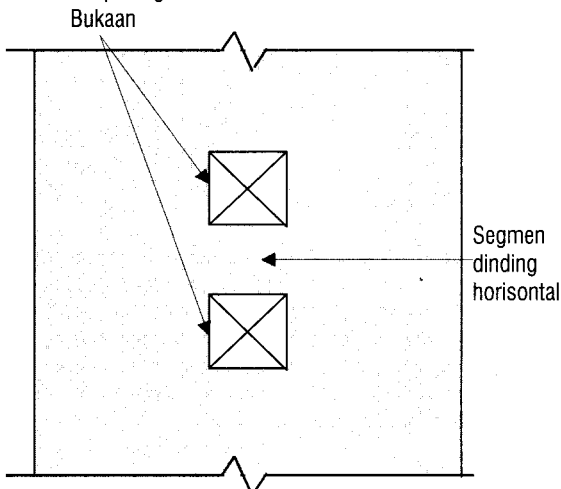
dimana koefisien $\alpha_c = 1/4$ untuk $h_w/\ell_w \leq 1,5$, $\alpha_c = 1/6$ untuk $h_w/\ell_w \geq 2,0$, dan dapat digunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai diantaranya.

23.6.4.2 — Pada 23.6.4.1, nilai rasio h_w/ℓ_w yang dipakai untuk menentukan V_n untuk segmen-segmen dinding harus merupakan nilai terbesar dari rasio-rasio untuk dinding keseluruhan dan segmen dinding tersebut.

23.6.4.3 — Dinding harus mempunyai tulangan geser tersebar yang memberikan tahanan dalam dua arah orthogonal pada bidang dinding. Apabila rasio h_w/ℓ_w tidak melebihi 2,0, rasio penulangan ρ_v tidak boleh kurang daripada rasio penulangan ρ_n .

23.6.4.4 — Kuat geser nominal sistem dinding struktural yang secara bersama-sama memikul beban lateral tidak boleh diambil melebihi $(2/3)A_{cv}\sqrt{f'_c}$, dengan A_{cv} adalah luas penampang total sistem dinding struktural, dan kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh diambil melebihi $(5/6)A_{op}\sqrt{f'_c}$, dengan A_{op} adalah luas penampang dinding yang ditinjau.

23.6.4.5 — Tahanan geser nominal segmen-segmen dinding horizontal tidak boleh diambil melebihi $(5/6)A_{op}\sqrt{f'_c}$, dimana A_{op} adalah luas penampang segmen dinding horizontal atau balok perangkai. Lihat Gambar 44.



Gambar 44—Dinding dengan bukaan

PENJELASAN

S23.6.4 — Kuat geser

Pers. (127) mengakui kuat geser yang lebih tinggi dari dinding dengan rasio geser terhadap momen yang tinggi.^{23.11,23.31,23.32} Kuat geser nominal dinyatakan dalam bentuk luas neto penampang penahan geser. Untuk penampang persegi panjang tanpa lubang, A_{cv} menyatakan luas bruto dari potongan melintang daripada hasil perkalian lebar dan tinggi efektif. Definisi A_{cv} di Pers. (127) menyediakan perhitungan perencanaan untuk dinding dengan tulangan terdistribusi secara uniform dan dinding dengan lubang.

Segmen dinding adalah bagian dari dinding yang dibatasi oleh lubang-lubang atau oleh satu lubang dan suatu tepi. Secara tradisional, segmen dinding vertikal yang dibatasi oleh dua lubang jendela dinamakan pier.

Rasio h_w/ℓ_w bisa berupa dimensi dinding menyeluruh, atau suatu segmen dari dinding yang dibatasi oleh dua lubang, atau suatu lubang dan suatu batas. Tujuan 23.6.4.2 adalah untuk memastikan bahwa suatu segmen dinding tidak dikenai suatu unit kekuatan yang lebih besar dari yang untuk dinding seluruhnya. Namun, suatu segmen dinding dengan rasio h_w/ℓ_w lebih tinggi dari keseluruhan dinding harus dirancang untuk kekuatan unit diasosiasikan dengan rasio h_w/ℓ_w berdasarkan dimensi untuk segmen itu.

Untuk menahan retak miring secara efektif, penulangan termasuk ρ_n dan ρ_v harus didistribusi sebaik-baiknya sepanjang panjang dan tinggi dinding (23.6.4.3). Tulangan batang tepi (*chord*) yang dipasang dekat pinggir dinding dalam jumlah terkonsentrasi untuk menahan momen lentur tidak dimasukkan dalam menentukan ρ_n dan ρ_v . Dalam batas-batas praktis, distribusi tulangan geser harus seragam dan dengan spasi kecil.

Bila gaya geser terfaktor pada suatu tingkat tertentu dalam struktur ditahan oleh beberapa dinding atau piers dari suatu dinding berlubang, satuan kuat geser rata-rata dianggap untuk total luas penampang melintang yang ada dibatasi sampai $(2/3)\sqrt{f'_c}$ dengan syarat tambahan bahwa satuan kuat geser yang dikenakan pada pier tunggal mana saja tidak melebihi $(5/6)\sqrt{f'_c}$. Pengenaan batas atas dari kekuatan yang ditentukan pada komponen mana saja adalah untuk membatasi tingkat redistribusi dari gaya geser.

“Segmen dinding horisontal” di 23.6.4.5 menunjuk pada penampang dinding diantara dua bukaan yang tersusun secara vertikal (Gambar 44). Ini sesungguhnya suatu pier yang diputar 90°. Suatu segmen dinding horisontal juga dirujuk sebagai balok perangkai bila bukaannya disusun vertikal sepanjang tinggi bangunan.

TATA CARA

23.6.5 — Perencanaan terhadap beban lentur dan aksial

23.6.5.1 — Dinding struktural dan bagian-bagiannya yang memikul beban lentur dan aksial harus direncanakan sesuai 12.2 dan 12.3 dengan mengabaikan 12.3.6 dan persyaratan regangan taklinier pada 12.2.2. Beton dan tulangan longitudinal dalam lebar efektif flens, komponen batas, dan badan dinding harus dianggap efektif. Pengaruh bukaan dinding harus diperhitungkan.

23.6.5.2 — Bila tidak dilakukan analisis yang lebih rinci maka lebar efektif flens adalah web ditambah nilai terkecil dari setengah jarak bersih antara dinding-dinding yang bersebelahan atau seperempat tinggi total dinding.

23.6.6 — Komponen batas untuk dinding struktural beton khusus

23.6.6.1 — Kebutuhan komponen batas khusus ditepi-tepi dinding struktural harus dievaluasi berdasarkan 23.6.6.2 atau 23.6.6.3. Persyaratan 23.6.6.4 dan 23.6.6.5 juga harus dipenuhi.

23.6.6.2 — Pasal ini berlaku untuk dinding-dinding atau sistem dinding yang menerus secara efektif dari dasar hingga puncak bangunan dan direncanakan memiliki satu penampang kritis untuk lentur dan gaya aksial. Dinding-dinding yang tidak memenuhi syarat tersebut harus direncanakan sesuai 23.6.6.3.

(a) Daerah tekan harus diberi komponen batas khusus dimana

PENJELASAN

S23.6.5 — Perencanaan terhadap beban lentur dan aksial

S23.6.5.1 — Kekuatan lentur dinding atau segmen dinding ditentukan sesuai prosedur yang biasa dipakai untuk kolom-kolom. Kekuatan harus ditentukan dengan mempertimbangkan gaya-gaya aksial dan melintang yang bekerja. Penulangan terpusat di elemen-elemen batas dan terdistribusi di flens dan badan (*webs*) harus dimasukkan dalam perhitungan kekuatan berdasarkan analisa komtabilitas regangan. Fondasi pendukung dinding harus direncanakan untuk dapat memikul gaya-gaya batas dinding dan web. Pada dinding dengan bukaan, pengaruh bukaan atau bukaan-bukaan pada kekuatan lentur dan geser harus diperhitungkan dan jalur beban sekitar lubang atau lubang-lubang harus diperiksa. Konsep perencanaan kapasitas dan model strat-dan-pengikat dapat berguna untuk tujuan ini.^{23.33}

S23.6.5.2 — Dimana penampang dinding memotong bentuk L-, T-, C-, atau bentuk-bentuk potongan melintang lain, pengaruh flens pada perilaku dinding harus diperhitungkan dengan memilih lebar flens yang sesuai. Percobaan^{23.34} menunjukkan lebar efektif flens bertambah dengan adanya peningkatan tingkat simpangan dan efektivitas flens dalam keadaan tekan berbeda dari flens yang kena tarik. Nilai yang dipakai untuk lebar efektif flens tertekan memiliki impact kecil pada kekuatan dan kapasitas deformasi dinding; karena itu, untuk penyederhanaan desain, hanya dipakai satu nilai lebar efektif flens baik untuk tarik maupun tekan berdasarkan taksiran lebar efektif flens yang kena tegangan tarik.^{23.34}

S23.6.6 — Komponen batas untuk dinding struktural beton khusus

S23.6.6.1 — Dua pendekatan desain untuk evaluasi syarat pendetailan pada komponen batas dimasukkan dalam 23.6.6.1. Pasal 23.6.6.2 mengizinkan pemakaian desain dinding berdasarkan penyimpangan, dimana detail struktural ditentukan langsung atas dasar perkiraan penyimpangan lateral dinding. Ketentuan 23.6.6.3 adalah sama dengan yang berlaku di *ACI Code* 1995, dan dipertahankan mengingat untuk banyak dinding dipandang konservatif untuk menilai kebutuhan tulangan transversal di komponen batas dinding. Persyaratan 23.6.6.4 dan 23.6.6.5 berlaku pada dinding struktur yang direncanakan baik dengan 23.6.6.2 atau 23.6.6.3.

S23.6.6.2 — Pasal 23.6.6.2 memakai asumsi bahwa respons inelastis dinding didominasi oleh aksi lentur di penampang yang kritis leleh. Dinding harus didesain sehingga penampang yang kritis terjadi seperti yang diinginkan.

Pers. (128) mengikuti pendekatan berbasis perpindahan.^{23.35,23.36} Pendekatan ini menganggap

TATA CARA

$$c > \frac{\ell_w}{600(\delta_u/h_w)} \quad (128)$$

Besaran δ_u/h_w pada Persamaan 128 tidak boleh diambil kurang daripada 0,007.

(b) Bila komponen batas khusus diperlukan sesuai 23.6.6.2(a) maka tulangnya harus diteruskan secara vertikal dari penampang kritis sejarak tidak kurang daripada nilai terbesar dari ℓ_w atau $M_u/4V_u$.

23.6.6.3 — Dinding struktural yang tidak direncanakan sesuai 23.6.6.2 harus memiliki komponen batas khusus di sekeliling sisi luarnya dan di tepi-tepi bukaan dinding tersebut dimana tegangan tekan tepi pada serat terluar, akibat beban-beban terfaktor termasuk pengaruh beban gempa, melampaui $0,2f'_c$. Komponen batas khusus tersebut boleh dihentikan pada tempat dimana tegangan tekan tersebut kurang daripada $0,15f'_c$. Tegangan-tegangan tersebut harus dihitung untuk beban-beban terfaktor dengan menggunakan hubungan tegangan-regangan elastis linier dan luas penampang bruto. Untuk dinding-dinding yang memiliki flens maka ketentuan mengenai lebar efektif pada 23.6.5.2 harus dipenuhi.

23.6.6.4 — Bila komponen batas khusus diperlukan sesuai 23.6.6.2 atau 23.6.6.3, ketentuan berikut ini harus dipenuhi,

(a) Komponen batas harus menerus secara horizontal dari sisi serat tekan terluar sejarak tidak kurang daripada $(c - 0,1\ell_w)$ dan $c/2$.

(b) Pada daerah penampang berflens, komponen batas harus mencakup lebar efektif flens pada sisi tekan dan harus menerus setidaknya-tidaknya 300 mm kedalam web.

(c) Tulangan transversal komponen batas khusus harus memenuhi persyaratan 23.4.4.1 hingga 23.4.4.3, kecuali Persamaan 123 tidak perlu dipenuhi.

(d) Tulangan transversal komponen batas khusus pada dasar dinding struktural harus dipasang menerus ke dalam fondasi setidaknya-tidaknya sejarak panjang penyaluran tulangan utama

PENJELASAN

komponen batas khusus diperlukan untuk mengekang beton dimana regangan di ujung paling tepi tertekan melampaui nilai kritis ketika dinding mengalami penyimpangan sesuai rencana. Dimensi horizontal komponen batas khusus dimaksud mencakup sedikitnya sepanjang tempat-tempat yang nilai regangan tekan melampaui nilai kritis. Tinggi komponen batas khusus didasarkan pada estimasi batas atas panjang sendi plastis dan melebihi daerah dimana beton kemungkinan akan mengelupas. Batas bawah 0,007 pada nilai δ_u/h_w mensyaratkan kapasitas deformasi dinding moderat untuk bangunan kaku.

Tinggi garis netral c di Pers. (128) adalah tinggi yang dihitung menurut 12.2, kecuali syarat regangan nonlinier dari 12.2.2 tidak perlu dipakai, sesuai pengembangan kuat lentur nominal dinding saat penyimpangan δ_u terjadi di arah yang sama. Beban aksial adalah beban aksial terfaktor konsisten dengan kombinasi beban yang menghasilkan penyimpangan δ_u .

S23.6.6.3 — Dengan prosedur ini, dinding dianggap menahan beban gravitasi W dan geser maksimum dan momen yang ditimbulkan oleh gempa dari suatu arah tertentu. Di bawah pembebanan ini, batas tertekan di potongan kritis menahan beban gravitasi tributari ditambah resultan tekan sehubungan dengan momen lentur.

Menyadari kondisi pembebanan ini mungkin terjadi berulang kali saat terjadi gerakan kuat, beton perlu dikekang pada tempat-tempat dimana menurut perhitungan tegangan tekan melampaui nilai kritis nominal sebesar $0,2f'_c$. Tegangan dihitung untuk gaya terfaktor di penampang dengan asumsi respons linier pada penampang bruto beton. Tegangan tekan $0,2f'_c$ ini dipakai sebagai nilai indeks dan tak perlu menjelaskan sebagai tegangan sesungguhnya yang mungkin timbul di potongan kritis oleh pengaruh gaya inersia sesungguhnya pada intensitas gempa yang diantisipasi.

S23.6.6.4 — Nilai $c/2$ di 23.6.6.4(a) memberikan panjang minimum komponen batas khusus. Pada flens-flens yang kena tegangan tekan tinggi, muka kontak (*interface*) antara badan dan flens kemungkinan terkena tegangan tinggi dan dapat mengalami pecah setempat kecuali penulangan khusus komponen batas diteruskan ke dalam badan dinding. Pers. (123) tidak berlaku untuk dinding.

Karena tulangan horizontal bekerja sebagai tulangan badan dinding di dinding yang perlu komponen batas, maka harus sepenuhnya dijangkar di dalam komponen batas yang bekerja sebagai flens (23.6.6.4). Penjangkaran ini sulit dicapai bila retak-retak melintang besar terjadi di komponen batas. Karena itu, pemakaian kait standard dengan sudut 90° atau penjangkaran mekanis dianjurkan daripada panjang penyaluran lurus.

TATA CARA

PENJELASAN

terbesar pada komponen batas khusus tersebut kecuali bila komponen batas tersebut berhenti pada fondasi telapak atau pelat, yang mana tulangan transversal komponen batas khusus tersebut harus dipasang hingga setidaknya-tidaknya sejauh 300 mm ke dalam fondasi telapak atau pelat.

(e) Tulangan horizontal pada badan dinding harus diangkur di dalam inti terkekang dari komponen batas tersebut agar dapat mengembangkan kuat lelehnya, f_y .

(f) Sambungan mekanis tulangan utama komponen batas harus sesuai 23.2.6. Sambungan las tulangan utama komponen batas harus sesuai 23.2.7.

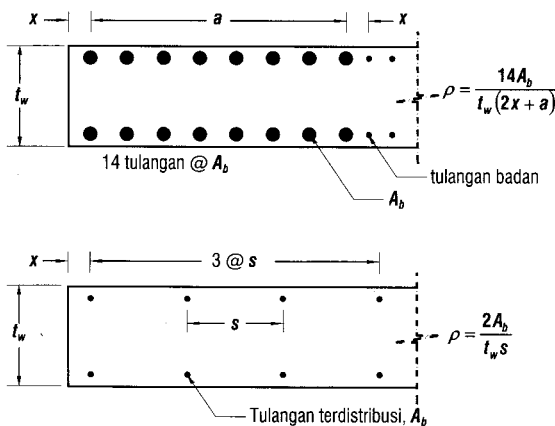
23.6.6.5 — Bila komponen batas khusus tidak diperlukan berdasarkan 23.6.6.2 atau 23.6.6.3, ketentuan berikut ini harus dipenuhi,

(a) Bila rasio tulangan utama pada tepi dinding melebihi $2,8/f_y$, tulangan transversal pada daerah tepi dinding tersebut harus memenuhi 23.4.4.1(c), 23.4.4.3, dan 23.6.6.4(a). Spasi maksimum tulangan transversal tersebut tidak boleh lebih daripada 200 mm. Lihat Gambar 45.

(b) Kecuali bila V_u pada bidang dinding lebih kecil daripada $A_{cv}\sqrt{f'_c}$, maka tulangan horizontal yang berhenti pada tepi dinding struktural tanpa komponen batas harus memiliki kait standar yang mengait pada tulangan tepi atau tulangan tepi tersebut harus dilingkupi oleh sengkang jenis U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dengan tulangan horizontal, dan disambunglewatkan dengan tulangan horizontal.

S23.6.6.5 — Beban siklik bolak-balik dapat menimbulkan penekukan tulang memanjang batas, bahkan dalam kasus-kasus dimana tuntutan pada batas dinding tidak memerlukan elemen-elemen batas khusus. Untuk dinding dengan jumlah penulangan memanjang batas yang moderat, pengikat disyaratkan untuk mencegah tekuk. Rasio tulangan memanjang di batas dinding sebagaimana ditunjukkan di Gambar 45 diartikan sebagai hanya tulangan yang ada di batas dinding. Spasi ikatan yang relatif lebih besar dari 23.6.6.4(c) diijinkan karena tuntutan deformasi dinding yang lebih rendah.

Tambahan kait atau sengkang-U pada ujung tulangan horizontal dinding memberikan penjangkaran sehingga tulangan dapat menahan gaya geser secara efektif. Ini juga cenderung mencegah penekukan tulangan tepi vertikal. Di penampang dinding dengan geseran rendah, panjang penyaluran tulangan horizontal adalah tidak perlu.



Gambar 45—Perhitungan rasio tulangan utama pada tepi dinding tipikal

23.6.6.6 — Sambungan mekanis dan sambungan las tulangan longitudinal komponen batas harus sesuai 23.2.6 dan

TATA CARA

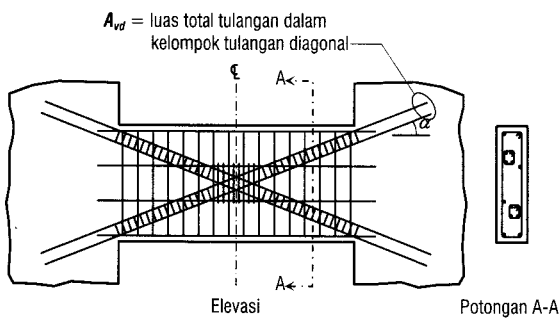
PENJELASAN

23.2.7.

23.6.7 — Balok perangkai

23.6.7.1 — Balok perangkai dengan perbandingan $l_n/d \geq 4$ harus memenuhi persyaratan 23.3. Ketentuan-ketentuan pada 23.3.1.3 dan 23.3.1.4(a) tidak harus dipenuhi bila dapat diperlihatkan dengan analisis bahwa balok perangkai tersebut memiliki stabilitas lateral yang mencukupi.

23.6.7.2 — Balok perangkai dengan perbandingan $l_n/d < 4$ diperkenankan untuk ditulangi dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal dalam dua arah berlawanan secara simetris. Lihat Gambar 46.



Gambar 46—Balok perangkai dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal

23.6.7.3 — Balok perangkai dengan perbandingan $l_n/d < 2$, dan dengan gaya geser terfaktor V_u melebihi $(1/3)\sqrt{f'_c}A_{cp}$ harus ditulangi dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal dalam dua arah berlawanan secara simetris, kecuali bila dapat ditunjukkan bahwa reduksi kekakuan dan kekuatan balok tersebut tidak akan terlalu mempengaruhi tahanan gravitasi struktur secara keseluruhan, atau lepasnya balok tersebut dari struktur atau integritas komponen non-struktural dan sambungannya kepada struktur utama.

23.6.7.4 — Balok perangkai dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal dalam dua arah berlawanan secara simetris; harus memenuhi ketentuan berikut ini.

(a) Setiap kelompok tulangan diagonal harus memiliki sekurang-kurangnya empat tulangan yang disusun dalam suatu inti. Sisi inti tersebut berukuran minimum sebesar $b_w/2$ dalam arah tegak lurus bidang balok, dan $b_w/5$ dalam arah bidang balok perangkai dan tegak lurus arah diagonal tersebut. Sisi inti tersebut diukur dari tepi-tepi terluar tulangan transversal.

(b) Setiap kelompok tulangan diagonal harus memiliki

S23.6.7 — Balok perangkai

Balok perangkai yang merangkai dinding-dinding struktur dapat memberikan kekakuan dan penyebaran energi. Dalam banyak kasus, batas geometris menghasilkan balok perangkai yang tinggi dibandingkan dengan bentang bersihnya. Balok perangkai yang tinggi akan dikendalikan oleh geser dan kemunduran kekuatan dan kekakuannya dapat mudah terpengaruh oleh beban gempa. Hasil-hasil percobaan^{23.37,23.38} pada balok perangkai tinggi menunjukkan tulangan diagonal yang dikekang menyediakan cukup perlawanan.

Eksperimen-eksperimen menunjukkan orientasi penulangan diagonal hanya efektif bila tulangan diletakkan dengan inklinasi tinggi. Karena itu, balok perangkai yang memakai tulangan diagonal dibatasi pada balok yang mempunyai rasio $l_n/d < 4$.

Tiap komponen diagonal terdiri dari rangka tulangan memanjang dan transversal seperti ditunjukkan di Gambar 46. Rangka terdiri sedikitnya empat tulangan memanjang dan mengekang inti beton. Persyaratan dimensi-dimensi sisi dari kerangka dan intinya adalah untuk memberi cukup kekakuan dan stabilitas pada potongan melintang bila tulangan terbebani melebihi tegangan leleh. Dimensi minimum dan persyaratan jarak bersih tulangan dapat menentukan tebal dinding.

Bila balok perangkai tidak dipakai sebagai bagian sistem pemikul beban lateral, persyaratan untuk tulangan diagonal boleh diabaikan. Balok kopel non-prategang diijinkan di lokasi-lokasi dimana kerusakan pada balok-balok ini tidak merusak kapasitas pemikul beban vertikal atau berdampak nyata pada struktur, atau integritas komponen non-struktural dan sambungan-sambungannya pada struktur.

Bila orientasi tulangan diagonal dipakai, tulangan tambahan di 23.6.7.4(f) adalah untuk menahan beton di luar inti diagonal bila beton dirusak/pecah oleh beban gempa (Gambar 46).

TATA CARA**PENJELASAN**

tulangan transversal yang mana tahanan geser nominalnya, V_n , dihitung sebagai berikut

$$V_n = 2A_{vd}f_y \sin \alpha \leq \frac{5}{6} \sqrt{f'_c} A_{cp} \quad (129)$$

dimana

A_{vd} = luas total tulangan dalam satu kelompok tulangan diagonal,

α = sudut yang dibentuk kelompok tulangan diagonal terhadap bidang horizontal

(c) Ketentuan geser pada 23.6.7.4(b) harus memenuhi 23.4.4.1 sampai dengan 21.4.4.3. Untuk keperluan perhitungan A_g dalam Persamaan 27 dan 123, ketentuan ketebalan selimut minimum yang dipersyaratkan 9.7 harus dipenuhi pada keempat sisi setiap kelompok tulangan diagonal.

(d) Setiap kelompok tulangan diagonal harus disalurkan sebagai tulangan tarik ke dalam dinding struktural.

(e) Setiap kelompok tulangan diagonal harus diperhitungkan dalam menentukan kuat lentur nominal balok perangkai.

(f) Tulangan dalam arah longitudinal dan transversal balok perangkai harus dipasang dengan memenuhi ketentuan minimum sesuai 13.8.9 dan 13.8.10.

23.6.8 — Siar pelaksanaan

Semua siar pelaksanaan pada dinding struktural harus sesuai 8.4, dan semua bidang kontak harus diberi kekasaran sesuai 13.7.9.

23.6.9 — Dinding yang tidak menerus

Kolom yang mendukung dinding struktural yang tidak menerus harus ditulangi sesuai 23.4.4.5.

23.7 — Diafragma dan rangka batang struktural**23.7.1 — Ruang lingkup**

Lantai dan pelat atap yang berfungsi sebagai diafragma struktural yang menyalurkan gaya-gaya akibat beban gempa harus direncanakan sesuai dengan pasal ini. Pasal ini juga berlaku untuk perencanaan penyokong, pengikat, batang tepi, dan komponen kolektor, serta rangka batang yang berfungsi sebagai bagian dari struktur pemikul beban gempa.

S23.7 — Diafragma dan rangka batang struktural**S23.7.1 — Ruang lingkup**

Diafragma sebagaimana dipakai dalam konstruksi bangunan adalah komponen struktural (seperti lantai atau atap) yang memberi sebagian atau semua fungsi di bawah ini:

(a) Pemikul komponen struktur bangunan (seperti dinding, dinding pemisah dan tirai) penahan gaya horisontal tapi bukan merupakan bagian dari bangunan vertikal dari

TATA CARA

23.7.2 — Pelat diafragma dengan penutup komposit cor setempat

Pelat penutup komposit cor setempat di atas lantai atau atap pracetak dapat digunakan sebagai diafragma struktural selama penutup cor setempat ditulangi dan sambungan-sambungannya didetailkan untuk dapat menyalurkan gaya-gaya kepada batang-batang tepi, komponen-komponen kolektor, dan sistem pemikul beban lateral. Permukaan beton yang telah mengeras sebelumnya harus bersih dan bebas dari serpihan, dan secara sengaja dikasarkan sebelum pengecoran setempat penutup komposit dilakukan.

23.7.3 — Diafragma dari penutup cor setempat

Penutup tak komposit yang dicor setempat di atas lantai atau atap pracetak dapat digunakan sebagai diafragma struktural selama penutup tersebut yang bekerja secara individual direncanakan terhadap gaya-gaya yang bekerja.

23.7.4 — Tebal minimum diafragma

Diafragma beton dan pelat penutup komposit yang berfungsi sebagai diafragma yang menyalurkan gaya-gaya gempa tidak boleh memiliki tebal kurang daripada 50 mm. Pelat penutup yang dicor di atas lantai atau atap pracetak dan bersifat tak komposit yang berfungsi sebagai diafragma yang menyalurkan gaya-gaya gempa tidak boleh memiliki tebal kurang daripada 65 mm.

23.7.5 — Tulangan

23.7.5.1 — Rasio tulangan minimum untuk diafragma struktural harus sesuai 9.12. Spasi tulangan dalam masing-masing arah pada lantai atau atap beton bertulang tidak boleh melebihi 500 mm. Bila jaring kawat las digunakan sebagai tulangan pembagi untuk memikul geser pada pelat penutup yang dicor di atas lantai atau atap pracetak maka, spasi pusat-ke-pusat tulangan yang searah dengan bentang komponen pracetak tidak boleh kurang daripada 250 mm. Tulangan geser harus menerus dan terbagi merata pada bidang geser.

23.7.5.2 — Kabel prategang dengan lekatan yang digunakan sebagai tulangan utama pada batang tepi diafragma atau komponen kolektor harus direncanakan demikian sehingga

PENJELASAN

sistem pemikul beban lateral;

(b) Mentransfer beban lateral dari titik tangkap ke bangunan vertikal dari sistem pemikul beban lateral;

(c) Sambungan dari berbagai komponen bangunan vertikal dari sistem pemikul beban lateral dengan kekuatan yang sesuai, kekakuan, dan kekokohan sehingga bangunan bertahan seperti yang diinginkan dalam desain.^{23.39}

S23.7.2 — Pelat diafragma dengan penutup komposit cor setempat

Pelat penutup yang menyatu diperlukan sehingga sistem lantai atau atap dapat menahan tekukan pelat. Penulangan melintasi hubungan-hubungan pracetak diperlukan untuk menjamin kontinuitas transfer geser. Syarat-syarat hubungan dikenalkan untuk meningkatkan sistem lengkap dengan transfer geser yang diperlukan.

S23.7.3 — Diafragma dari penutup cor setempat

Aksi komposit antara penutup lantai dan komponen lantai pracetak tidak disyaratkan, asalkan penutup beton direncanakan untuk menahan gaya gempa rencana.

S23.7.4 — Tebal minimum diafragma

Tebal minimum diafragma beton mencerminkan praktek sistem joist dan waffle dan sistem penutup pelat komposit di atas lantai pracetak dan atap saat ini. Pelat yang lebih tebal disyaratkan bila penutup pelat tidak bekerja secara komposit dengan sistem pracetak untuk menahan gaya gempa rencana.

S23.7.5 — Tulangan

Rasio minimum tulangan untuk diafragma sesuai dengan jumlah yang diperlukan untuk tulangan temperatur dan susut (9.12). Jarak maksimum untuk tulangan badan (*web*) dimaksud untuk pengendalian lebar retak miring. Persyaratan rata-rata prategang minimum (9.12.3) dianggap cukup membatasi lebar retak di sistem lantai pasca-tarik; karena itu, syarat spasi maksimum tidak berlaku untuk sistem ini.

Syarat spasi minimum untuk jaring kawat las (*welded wire fabric*) di penutup pelat sistem lantai pracetak (23.7.5.1) dimaksud untuk mencegah tulangan yang telah terdistribusi putus saat terjadi gempa. Retak-retak di penutup pelat di

TATA CARA

tegangan akibat gaya-gaya gempa tidak melebihi 400 MPa. Prategang akibat kabel prategang tanpa lekatan untuk memikul gaya-gaya pada diafragma dapat diizinkan selama ada penyaluran gaya yang sempurna.

23.7.5.3 — Rangka batang struktural, penyokong, pengikat batang tepi, dan komponen kolektor dengan tegangan tekan melebihi $0,2f'_c$ harus diberi tulangan transversal sesuai 23.4.4.1 sampai dengan 21.4.4.3 di sepanjang bentangnya. Tulangan tersebut dapat dihentikan pada tempat dimana tegangan-tekannya kurang daripada $0,15f'_c$. Tegangan-tegangan tersebut harus dihitung untuk beban-beban terfaktor dengan menggunakan hubungan tegangan-regangan elastis linier dan sifat-sifat penampang bruto.

23.7.5.4 — Semua tulangan menerus pada diafragma, rangka batang, penyokong, pengikat, batang tepi, dan komponen kolektor harus diangkur atau disambung lewat sesuai ketentuan tulangan tarik pada 23.5.4.

23.7.5.5 — Sambungan tipe 2 harus digunakan pada sambungan mekanis yang menyalurkan gaya-gaya antara diafragma dan komponen vertikal sistem pemikul beban lateral.

23.7.6 — Gaya-gaya rencana

Beban-beban gempa rencana pada diafragma struktural harus ditentukan berdasarkan analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi pembebanan yang berlaku.

23.7.7 — Kuat geser

23.7.7.1 — Kuat geser nominal, V_n , diafragma struktural tidak boleh melampaui,

$$V_n = A_{cv} \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} + \rho_n f_y \right) \quad (130)$$

23.7.7.2 — Kuat geser nominal, V_n , pelat penutup komposit atau pelat penutup pelat tak komposit yang dicor di atas lantai atau atap pracetak yang berfungsi sebagai diafragma struktural tidak boleh melampaui,

$$V_n = A_{cv} \rho_n f_y$$

dimana A_{cv} dihitung berdasarkan tebal penutup di atas pelat pracetak. Tulangan geser yang diperlukan harus tersebar

PENJELASAN

atas batas antara flens dan komponen struktur pracetak di sebelahnya cepat terbuka, dan kawat-kawat melintasi retak-retak tersebut ditahan oleh kawat-kawat melintang.^{23.40} Karena itu, semua regangan harus ditampung oleh jarak yang ditentukan oleh spasi kawat-kawat melintang. Spasi minimum 250 mm untuk kawat-kawat melintang dipilih untuk mereduksi kemungkinan fraktur kawat-kawat melintasi retak-retak kritis pada saat terjadi gempa rencana. Syarat spasi minimum tidak berlaku pada tulangan diafragma dengan tulangan individual karena regangan didistribusi melalui panjang yang lebih panjang.

Tegangan tekan yang telah dihitung untuk gaya-gaya terfaktor dalam model linier elastis berdasarkan penampang bruto dari diafragma struktural dipakai untuk sebagai nilai indeks untuk menentukan apakah penulangan pengekan diperlukan. Tegangan hasil perhitungan sebesar $0,2f'_c$ di suatu komponen struktur dianggap memberi indikasi integritas seluruh struktur itu tergantung pada kemampuan komponen struktur tersebut untuk menahan gaya tekan besar oleh beban siklik yang tinggi. Karena itu, penulangan transversal di 23.4.4 disyaratkan di komponen struktur demikian untuk memberikan pengekan pada beton dan penulangannya (23.7.5.3).

Dimensi untuk tipikal diafragma struktural sering mencegah pemakaian tulangan transversal sepanjang batang tepi (*chords*). Mengurangi hasil perhitungan tegangan tekan dengan mengurangi bentang diafragma dipandang sebagai solusi.

S23.7.7 — Kuat geser

Persyaratan kuat geser diafragma monolit, Pers. (130) dalam 23.7.7.1, adalah sama seperti untuk dinding struktur yang langsing. Suku A_{cv} menyatakan perkalian tebal dan lebar diafragma. Ini sesuai dengan luas bruto dari tebal efektif balok tinggi yang membentuk diafragma. Tulangan geser harus diletakkan tegak lurus pada bentang diafragma.

Syarat kuat geser penutup pelat diafragma didasarkan atas model geser friksi dan kontribusi beton pada kuat geser nominal tidak dimasukkan dalam Pers. (129) untuk penutup pelat yang diletakkan di atas elemen-elemen lantai pracetak. Mengikuti praktek tipikal pelaksanaan konstruksi, pelat yang akan ditutup dibuat kasar langsung di atas perbatasan antara flens-flens dekat komponen struktur lantai pracetak untuk mengarahkan alur retak susut. Akibatnya, penampang kritis diafragma akan retak oleh beban kerja, dan kontribusi beton pada kapasitas geser diafragma

TATA CARA

merata pada kedua arah.

23.7.7.3 — Kuat geser nominal, V_n , tidak boleh melampaui $(2/3)A_{cv}\sqrt{f'_c}$ dimana A_{cv} adalah luas penampang bruto diafragma.

23.7.8 — Komponen batas diafragma struktural

23.7.8.1 — Komponen batas diafragma struktural harus direncanakan untuk memikul gaya aksial terfaktor yang bekerja dalam bidang diafragma ditambah dengan gaya yang diperoleh dari momen terfaktor pada penampang yang ditinjau dibagi dengan jarak antara kedua komponen batas pada penampang tersebut.

23.7.8.2 — Sambungan tulangan tarik pada batang tepi dan komponen kolektor pada diafragma harus dapat mengembangkan kuat leleh tulangan yang disambung. Sambungan mekanis dan las harus sesuai 23.2.6 dan 23.2.7.

23.7.8.3 — Tulangan untuk batang tepi dan komponen kolektor pada sambungan dan daerah pengankuran harus memenuhi salah satu ketentuan berikut ini,

(a) Spasi minimum sejarak tiga kali diameter tulangan, tapi tidak lebih kecil daripada 40 mm, dan tebal selimut minimum sebesar 2,5 kali diameter tulangan longitudinal tapi tidak lebih kecil daripada 50 mm; atau

(b) Tulangan transversal sesuai 13.5.5.3, kecuali yang dipersyaratkan 23.7.5.3.

23.7.9 — Siar pelaksanaan

Semua siar pelaksanaan pada diafragma harus sesuai 8.4 dan semua bidang kontak harus diperkasar sesuai 13.7.9.

23.8 — Fondasi

23.8.1 — Ruang lingkup

23.8.1.1 — Fondasi yang memikul beban-beban gempa atau yang menyalurkan beban-beban gempa antara struktur dan lapisan tanah di bawahnya harus sesuai 23.8 dan ketentuan-ketentuan lainnya dalam Tata Cara ini.

23.8.1.2 — Ketentuan-ketentuan pada pasal ini untuk pancang, tiang bor, *caisson*, dan pelat di atas tanah harus dipenuhi di samping ketentuan-ketentuan perencanaan dan pelaksanaan lainnya.

23.8.2 — Fondasi telapak, pelat dan *poer*

23.8.2.1 — Tulangan longitudinal kolom dan dinding

PENJELASAN

mungkin sudah dikurangi sebelum terjadi gempa rencana.

S23.7.8 — Komponen batas diafragma struktural

Untuk diafragma struktural, momen rencana dianggap ditahan seluruhnya oleh gaya batang tepi (*chord*) yang bekerja di seberang tepi diafragma. Penulangan terletak di tepi dari komponen kolektor harus sepenuhnya dikembangkan sampai kekuatan lelehnya. Pengekangan yang secukupnya pada sambungan lewatan harus disyaratkan. Bila tulangan batang tepi (*chord*) diletakkan dalam dinding, hubungan antara diafragma dan dinding harus diadakan dengan cukup kekuatan geser untuk mentransfer gaya geser.

Pasal 23.7.8 dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan batang tepi (*chord*) menekuk di dekat daerah sambungan lewatan dan penjangkaran.

S23.8 — Fondasi

S23.8.1 — Ruang lingkup

Persyaratan untuk fondasi yang memikul bangunan yang terkena beban gempa resiko tinggi ditambahkan dalam tata cara ini. Ketentuan-ketentuan ini menyajikan konsensus tingkat minimum praktek yang baik dalam perencanaan dan pendetailan fondasi beton termasuk pancang, tiang bor, dan kaison-kaison. Sangat diinginkan respons inelastis oleh getaran tanah kuat hanya terjadi di atas fondasi, karena pembetulan fondasi bisa sangat sulit dan mahal.

TATA CARA

struktural yang menyalurkan beban-beban gempa harus ditanamkan secara penuh kedalam fondasi telapak, pelat, atau *poer*.

23.8.2.2 — Kolom yang direncanakan dengan anggapan jepit pada perletakkannya harus sesuai 23.8.2.1 dan, bila diperlukan kait, tulangan lentur harus diberikan kait 90° di dasar fondasi dengan ujung kaitnya mengarah ke pusat kolom.

23.8.2.3 — Kolom atau komponen batas dari dinding struktural khusus yang berada di daerah setengah tebal fondasi dari tepi fondasi harus diberi tulangan transversal sesuai 23.4.4 yang dipasang di bawah tepi atas fondasi. Tulangan ini harus masuk ke dalam fondasi sejauh suatu nilai yang tidak kurang daripada nilai terkecil dari ketebalan fondasi telapak, pelat, atau *poer*, atau panjang penanaman tarik tulangan longitudinal terbesar.

23.8.2.4 — Bila beban-beban gempa menyebabkan gaya angkat (*uplift*) pada komponen batas dinding struktural khusus atau kolom-kolom maka tulangan lentur harus diadakan pada sisi atas fondasi telapak, pelat, atau *poer* untuk memikul beban-beban yang berasal dari kombinasi beban rencana, dan tidak boleh lebih kecil daripada ketentuan 12.5.

23.8.3 — Balok dan pelat di atas tanah

23.8.3.1 — Balok-balok di atas tanah yang direncanakan sebagai pengikat horisontal antar *poer* atau fondasi telapak harus memiliki tulangan longitudinal yang menerus yang ditanamkan melewati kolom-kolom yang ditumpu atau diangkur ke dalam *poer* atau fondasi telapak pada setiap titik pemberhentian.

23.8.3.2 — Balok-balok di atas tanah yang direncanakan sebagai pengikat horisontal antar *poer* atau fondasi telapak harus direncanakan demikian sehingga ukuran penampang minimumnya sama dengan atau lebih besar dari 1/20 bentang bersihnya, tapi tidak perlu lebih besar daripada 450 mm. Sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi tidak lebih besar daripada setengah dimensi terkecil penampang, tapi tidak boleh lebih besar daripada 300 mm.

23.8.3.3 — Balok di atas tanah dan balok-balok yang merupakan bagian fondasi pelat yang memikul lentur dari kolom yang memikul beban-beban gempa harus sesuai 23.3.

PENJELASAN

S23.8.2.2 — Hasil uji^{23.41} membuktikan bahwa komponen-komponen struktur lentur yang berhenti di fondasi telapak (*footing*), pelat atau balok (suatu hubungan-T) kaitnya harus menghadap ke dalam ke arah sumbu dari komponen struktur agar titik kumpul (*joint*) dapat menahan lentur di komponen struktur yang merupakan badan (*stem*) dari T.

S23.8.2.3 — Kolom-kolom atau komponen-komponen struktur batas yang ditumpu dekat tepi fondasi sebagaimana sering terjadi dekat garis pemilikan, harus didetail untuk mencegah kegagalan tepi fondasi telapak, *poer* atau pelat.

S23.8.2.4 — Tujuan dari 23.8.3.4 adalah untuk membuat perencana waspada untuk memberi tulangan atas maupun penulangan yang diperlukan lainnya.

S23.8.2.5 — Di wilayah gempa resiko tinggi sangat diinginkan memberi tulangan pada fondasi. *ACI Committee* 318 merekomendasi bahwa di wilayah gempa tinggi fondasi atau dinding besmen (*basement*) hendaknya dipasang tulangan.

S23.8.3 — Balok dan pelat di atas tanah

Pelat di atas tanah pada umumnya dianggap non-struktural. Namun, untuk kondisi gempa, pelat di atas tanah sering merupakan bagian sistem penahan gaya lateral dan harus didesain sesuai peraturan ini juga standar yang sesuai dan pedoman-pedoman lain.

S23.8.3.2 — Balok di atas tanah di antara *poer* atau fondasi setapak dapat berupa balok yang terpisah dibawah pelat diatas tanah atau dapat merupakan bagian penebalan pelat di atas tanah. Pembatasan penampang melintang dan persyaratan minimum pengikat memberikan proporsi yang wajar.

S23.8.3.3 — Balok diatas tanah yang menahan tegangan lentur oleh gempa dari momen-momen kolom harus memiliki tulangan detail sama dengan balok-balok dari rangka di atas fondasi.

TATA CARA

23.8.3.4 — Pelat di atas tanah yang mendukung dinding atau kolom yang memikul beban gempa harus direncanakan sebagai diafragma struktural sesuai dengan 23.7. Gambar perencanaan harus secara jelas menyatakan bahwa pelat di atas tanah tersebut adalah diafragma struktural dan merupakan bagian dari sistem pemikul beban gempa.

23.8.4 — Pancang, tiang bor, dan *caisson*

23.8.4.1 — Ketentuan 23.8.4 berlaku untuk pancang, tiang bor, dan *caisson* beton bertulang yang mendukung struktur tahan gempa.

23.8.4.2 — Pancang, tiang bor, dan *caisson* yang menahan beban tarik harus memiliki tulangan tarik yang menerus di sepanjang bagian yang memikul gaya tarik tersebut. Tulangan longitudinal tersebut harus didetailkan untuk menyalurkan gaya tarik di dalam *poer* kepada komponen struktur yang didukungnya.

23.8.4.3 — Bila gaya tarik yang diakibatkan beban gempa disalurkan antara *poer* atau fondasi telapak dan tiang pancang pracetak dengan menggunakan tulangan yang diinjeksi atau dipasang belakangan pada kepala pancang, maka harus dapat dibuktikan secara eksperimen bahwa bahan sistem injeksi tersebut dapat menyalurkan 125% kuat leleh tulangan yang digunakan.

23.8.4.4 — Pancang, tiang bor, atau *caisson* harus memiliki tulangan transversal sesuai 23.4.4 pada lokasi-lokasi berikut ini.

(a) Pada bagian ujung atas elemen struktur sejarak minimal lima kali dimensi penampang, tapi tidak kurang daripada 2 m di bawah sisi bawah *poer*.

(b) Disepanjang tinggi bebas ditambah ketentuan pada 23.8.4.4(a) untuk bagian elemen struktur di dalam tanah atau di udara dan di dalam air yang tidak mampu memberikan kekangan lateral.

23.8.4.5 — Untuk pancang pracetak beton bertulang, tulangan transversal yang disediakan harus memperhitungkan variasi pada elevasi ujung tiang.

PENJELASAN

S23.8.3.4 — Pelat diatas tanah sering bekerja sebagai sebuah diafragma yang menahan bangunan bersama-sama di suatu ketinggian tanah dan meminimumkan pengaruh pergerakan tanah diluar fase yang mungkin terjadi pada seluruh dasar bangunan. Dalam kasus demikian, pelat di atas tanah itu harus diberi tulangan dan didetail secukupnya. Gambar-gambar desain harus secara jelas menyatakan bahwa pelat di atas tanah adalah komponen struktural sehingga dilarang memotong pelat itu.

S23.8.4 — Pancang, tiang bor, dan *caisson*

Kinerja yang cukup dari pancang dan *caisson* oleh beban gempa mensyaratkan bahwa ketentuan-ketentuan ini harus dipenuhi di samping standard lain atau pedoman-pedoman yang dapat digunakan. Lihat S3.1.5.

S23.8.4.2 — Alur beban diperlukan pada *poer* untuk mentransfer gaya tarik dari tulangan tarik kolom atau komponen batas melalui *poer* menuju ke tulangan pancang atau *caisson*.

S23.8.4.3 — Pasak yang diinjeksi di ujung atas tiang beton pracetak perlu diadakan, dan percobaan adalah cara praktis untuk menunjukkan kapasitasnya. Cara lain, batang tulangan dapat dicor di bagian atas pancang, dibuka dengan mengikis beton dan dihubungkan secara mekanis atau dilas ke suatu perpanjangan.

S23.8.4.4 — Sewaktu gempa, pancang dapat terkena lenturan yang sangat tinggi di titik-titik diskontinu, terutama tepat di bawah *poer* dan dekat dasar deposit tanah lunak atau lepas. Ketentuan tata cara ini yang mensyaratkan pemakaian tulang pengekangan di bagian atas pancang didasarkan atas banyak kegagalan yang teramati di lokasi ini di gempa-gempa yang terjadi baru-baru ini. Tulangan transversal diperlukan di daerah ini untuk memberikan kinerja yang daktail. Perencana harus pula mempertimbangkan kemungkinan aksi inelastis dalam pancang pada perubahan lapisan tanah, seperti perubahan dari tanah lunak ke keras atau tanah lepas ke padat. Bila pancang pracetak dipakai, potensi perubahan elevasi ujung pancang yang dipancang yang berlainan dengan yang ditentukan dalam gambar perlu dipertimbangkan sewaktu pembuatan detail pancang. Bila pancang menolak masuk pada posisi dangkal, pancang perlu dipotong lebih panjang. Bila kemungkinan ini tidak diperhitungkan, panjang tulangan transversal yang disyaratkan oleh 23.8.4.4 mungkin tidak ada setelah kelebihan panjang pancang dipotong.

TATA CARA

23.8.4.6 — Pancang, tiang bor, atau *caisson* beton bertulang pada fondasi yang mendukung satu atau dua lantai bangunan dengan konstruksi dinding pemikul tidak harus memenuhi ketentuan tulangan transversal pada 23.8.4.4 dan 23.8.4.5.

23.8.4.7 — *Poer* dengan pancang miring harus direncanakan untuk memikul seluruh kuat tekan penuh pancang miring yang bekerja sebagai kolom pendek. Kelangsingan pancang miring harus diperhitungkan untuk bagian tiang yang berada di dalam tanah, atau di dalam air atau di udara bebas yang tidak dapat memberikan kekangan lateral.

23.9 — Komponen struktur yang tidak direncanakan untuk memikul beban gempa

23.9.1 — Komponen struktur yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul beban lateral harus didetailkan sesuai 23.9.2 atau 23.9.3 bergantung pada besarnya momen yang timbul pada komponen struktur tersebut bila dikenakan perpindahan rencana. Bila pengaruh perpindahan rencana tidak secara khusus diperiksa maka berlaku ketentuan 23.9.3.

23.9.2 — Bila momen dan lintang yang timbul akibat perpindahan rencana pada 23.9.1 dikombinasikan dengan momen dan lintang terfaktor akibat beban gravitasi dan nilainya tidak melebihi momen dan lintang rencana komponen struktur tersebut maka berlaku ketentuan 23.9.2.1, 23.9.2.2, dan 23.9.2.3. Dalam hal ini harus digunakan kombinasi beban gravitasi $1,2D + 1,0L$ atau $0,9D$, tergantung mana yang paling menentukan. Faktor beban pada L boleh direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk garasi, ruang pertemuan, dan ruang-ruang lainnya yang beban hidupnya lebih besar daripada 5 kN/m^2 .

23.9.2.1 — Komponen struktur dengan beban aksial terfaktor tidak melampaui $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi 23.3.2.1. Senggang harus dipasang dengan spasi tidak melebihi $d/2$ pada seluruh bentangnya.

23.9.2.2 — Komponen struktur dengan gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi yang melebihi $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi ketentuan-ketentuan 23.4.3, 23.4.4.1(c), 23.4.4.3, dan 23.4.5. Spasi maksimum antar senggang di sepanjang tinggi kolom adalah s_o , dimana s_o tidak boleh melebihi 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil, dan 150 mm.

23.9.2.3 — Komponen struktur dengan gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi melebihi $0,35P_o$ harus memenuhi ketentuan 23.9.2.2 dan jumlah tulangan transversal yang disediakan tidak kurang daripada setengah yang disyaratkan oleh ketentuan 23.4.4.1 dan spasinya tidak lebih daripada s_o pada seluruh bentangnya.

PENJELASAN

S23.8.4.7 — Kerusakan struktural yang parah sering teramati di pertemuan pancang miring (*batter piles*) dan bangunan. *Poer* dan struktur sekitarnya harus didesain untuk gaya potensial yang besar yang dapat berkembang di pancang miring.

S23.9 — Komponen struktur yang tidak direncanakan untuk memikul beban gempa

Persyaratan pendetailan untuk komponen struktur yang merupakan bagian dari sistem pemikul beban lateral menganggap bahwa komponen struktur itu dapat mengalami deformasi yang melebihi batas leleh komponen struktur tanpa kehilangan kekuatan secara signifikan. Komponen struktur yang bukan merupakan bagian yang diperuntukkan untuk sistem pemikul beban lateral tidak disyaratkan untuk memenuhi semua persyaratan detail dari komponen struktur yang diperuntukkan menahan beban lateral. Namun komponen-komponen struktur tersebut harus sanggup menahan beban-beban gravitasi pada penyimpangan lateral sesuai tingkat desain yang ditentukan oleh peraturan yang berlaku untuk desain penahan gempa. Penyimpangan rencana didefinisikan di 23.1.

Pasal 23.9 mengakui penyimpangan aktual hasil gaya gempa bisa lebih besar dari penyimpangan yang dihitung memakai gaya desain dan model analisa yang biasa dipakai. Pasal 23.9.1 menentukan penyimpangan nominal untuk tujuan menentukan persyaratan pendetailan. Perpindahan aktual dapat melampaui nilai dari 23.9.1. Pasal 23.9.2 menguraikan persyaratan pendetailan yang bertujuan memberikan sistem yang tetap mampu menahan beban gravitasi di bawah pembebanan menengah memasuki lingkup inelastis. Pasal 23.9.3 menguraikan persyaratan pendetailan bertujuan memberikan sistem yang sanggup tetap menahan beban gravitasi pada perpindahan yang lebih besar.

Model yang dipakai untuk menentukan defleksi bangunan-bangunan harus dipilih yang memberikan hasil yang secara konservatif terikat pada nilai-nilai yang dinantikan sewaktu perencanaan gempa dengan mempertimbangkan sistem vertikal, horisontal dan diafragma yang sesuai.

Untuk faktor beban gravitasi, lihat S11.2.3.

TATA CARA

23.9.3 — Apabila momen atau lintang akibat perpindahan rencana pada 23.9.1 melampaui kuat lentur atau geser rencana komponen struktur tersebut, atau apabila momen atau lintang akibat perpindahan rencana tidak dihitung maka ketentuan-ketentuan 23.9.3.1, 23.9.3.2 dan 23.9.3.3 harus dipenuhi.

23.9.3.1 — Material harus memenuhi ketentuan 23.2.4 dan 23.2.5. Sambungan mekanis harus memenuhi 23.2.6 dan sambungan las harus memenuhi 23.2.7.1.

23.9.3.2 — Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang tidak melebihi $A_g f'_c / 10$, harus memenuhi ketentuan 23.3.2.1 dan 23.3.4. Spasi sengkang di seluruh panjang komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$.

23.9.3.3 — Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi yang melebihi $A_g f'_c / 10$, harus memenuhi ketentuan pada 23.4.4, 23.4.5, dan 23.5.2.1.

23.10 — Ketentuan-ketentuan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

23.10.1 — Ketentuan pada pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah.

23.10.2 — Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan 23.10.4, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $A_g f'_c / 10$. Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi $A_g f'_c / 10$, maka 23.10.5 harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai Persamaan 27. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi 23.10.6.

23.10.3 — Kuat geser rencana balok, kolom, dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

23.10.3.1 — Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor (lihat Gambar 47), atau

23.10.3.2 — Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahap gempa.

PENJELASAN

S23.10 — Ketentuan-ketentuan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Tujuan persyaratan dalam 23.10.3 adalah untuk mengurangi kegagalan geser sewaktu ada gempa. Perencana diberi dua pilihan untuk menentukan gaya geser terfaktor.

Menurut pilihan (a) dari 23.10.3, gaya geser terfaktor ditentukan dari kuat momen nominal dari komponen struktur dan beban gravitasi di atasnya. Contoh-contoh untuk balok dan kolom diilustrasikan di Gambar 47.

Untuk menentukan geser maksimum balok, dianggap kuat momen nominal ($\phi = 1,0$) terjadi berbarengan di dua ujung dari bentang bersihnya. Sebagaimana ditunjukkan di Gambar 47, geser terkait dengan kondisi ini $[(M_{nl} + M_{nr}) / \ell_n]$ ditambah efek beban gravitasi menunjukkan geser rencana untuk balok itu. Untuk contoh ini, baik beban mati w_D dan beban hidup w_L dianggap terdistribusi merata.

Penentuan geser rencana untuk kolom juga diilustrasikan untuk contoh khusus di Gambar 47. Beban aksial rencana terfaktor, P_u , harus dipilih yang memberikan kuat momen terbesar dari kolom.

Dalam semua aplikasi pilihan (a) dari 23.10.3, geser disyaratkan dihitung untuk momen yang bekerja sesuai jarum jam dan yang berlawanan jarum jam. Gambar 47 hanya mendemonstrasikan salah satu dari dua kondisi itu yang dipertimbangkan untuk tiap komponen. Pilihan (b) mendasarkan V_u dari kombinasi beban termasuk efek gempa, E , yang harus digandakan. Misalkan kombinasi beban yang didefinisikan Pers. (8) akan menjadi :

TATA CARA

PENJELASAN

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 2,0E$$

dimana E adalah nilai yang ditentukan oleh tata cara yang berlaku.

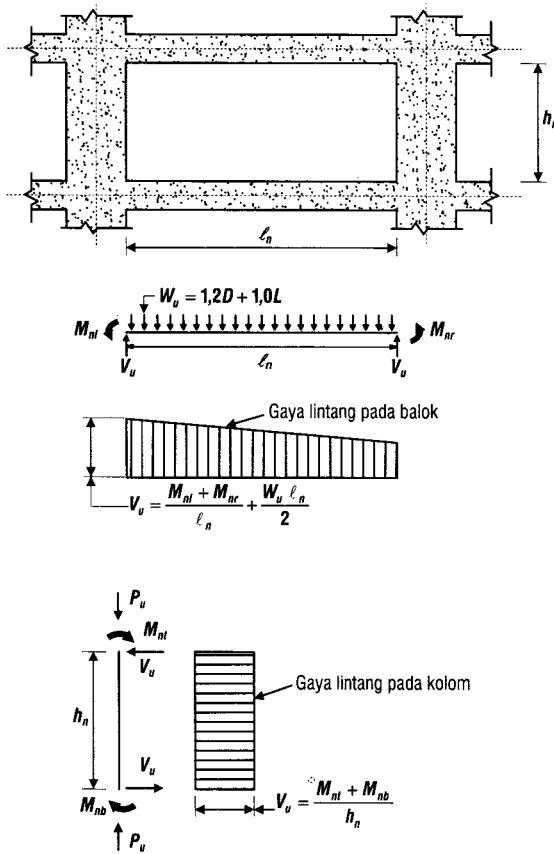
Pasal 23.10.4 mengandung persyaratan untuk memberi balok-balok dengan tingkat ambang kekokohnya (*toughness*). Dalam banyak kasus, sengkang yang ditentukan oleh 23.10.3 untuk beban geser rencana akan lebih banyak daripada yang ditentukan oleh 23.10.4. Persyaratan-persyaratan 23.10.5 melayani tujuan sama untuk kolom-kolom.

Pasal 23.10.6 berlaku untuk pelat dua arah tanpa balok (seperti pelat datar).

Memakai kombinasi beban yang ditentukan di 11.2.3 dapat menghasilkan momen yang membutuhkan tulangan atas dan dan bawah di perletakan.

Momen M_s merujuk, untuk suatu kombinasi beban desain dengan E bekerja ke satu arah horisontal, pada bagian momen pelat terfaktor yang diimbangi oleh komponen pendukung di suatu titik kumpul (*joint*). Adalah tidak perlu sama dengan momen desain total di tumpuan untuk kombinasi beban termasuk efek gempa. Sesuai dengan 15.5.3.2, hanya sebagian ($\gamma_f M_s$) dari momen M_s yang dibebankan pada lebar efektif pelat.

Pemakaian berbagai artikel dari 23.10.6 diilustrasikan dalam Gambar 48 dan 49.



Gambar 47—Gaya lintang rencana untuk SRPMM

23.10.4 — Balok

23.10.4.1 — Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.

23.10.4.2 — Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- (a) $d/4$,
- (b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- (c) 24 kali diameter sengkang, dan

TATA CARA

PENJELASAN

(d) 300 mm.

23.10.4.3 — Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

23.10.5 — Kolom

23.10.5.1 — Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang ℓ_o dari muka hubungan balok-kolom adalah s_o . Spasi s_o tersebut tidak boleh melebihi:

- (a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- (b) 24 kali diameter sengkang ikat,
- (c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan
- (d) 300 mm.

Panjang ℓ_o tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- (a) Seperenam tinggi bersih kolom,
- (b) Dimensi terbesar penampang kolom, dan
- (c) 500 mm.

23.10.5.2 — Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5s_o$ dari muka hubungan balok-kolom.

23.10.5.3 — Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi 13.11.2.

23.10.5.4 — Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2s_o$.

23.10.6 — Pelat dua arah tanpa balok

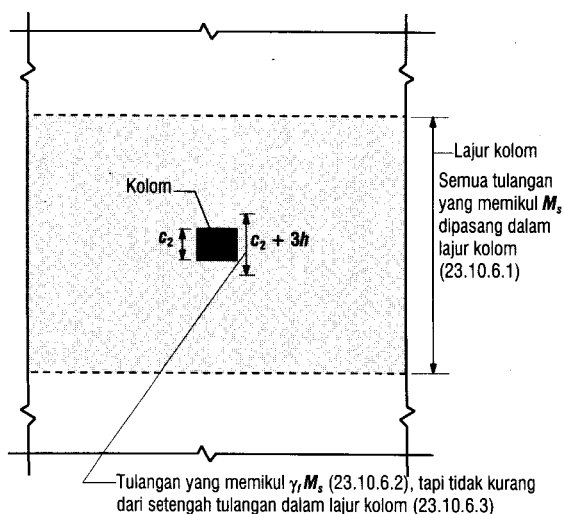
23.10.6.1 — Momen pelat terfaktor pada tumpuan akibat beban gempa harus ditentukan untuk kombinasi beban yang didefinisikan pada Persamaan 6 dan 7. Semua tulangan yang disediakan untuk memikul M_s , yaitu bagian dari momen pelat yang diimbangi oleh momen tumpuan, harus dipasang di dalam lajur kolom yang didefinisikan dalam 15.2.1. Lihat Gambar 48.

23.10.6.2 — Bagian dari momen M_s yang ditentukan oleh Persamaan 89 harus dipikul oleh tulangan yang dipasang pada daerah lebar efektif yang ditentukan dalam 15.5.3.2.

23.10.6.3 — Setidak-tidaknya setengah jumlah tulangan lajur kolom di tumpuan diletakkan di dalam daerah lebar efektif pelat sesuai 15.5.3.2.

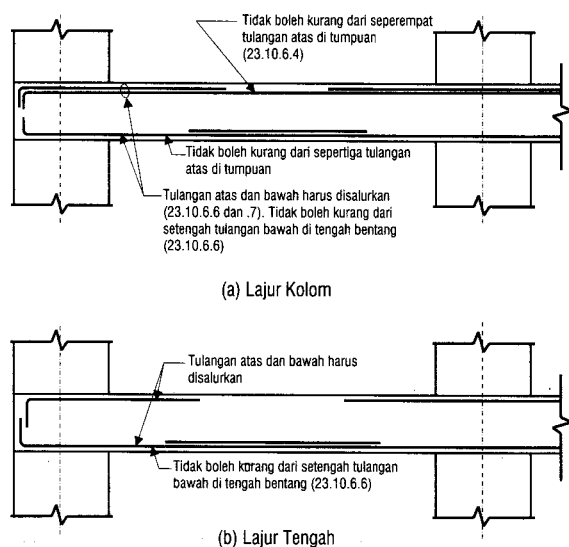
TATA CARA

PENJELASAN



Catatan: Ketentuan ini berlaku untuk tulangan atas dan bawah
Lihat Bab 15 untuk Notasi

Gambar 48—Lokasi tulangan pada konstruksi pelat dua arah



Gambar 49—Pengaturan tulangan pada pelat

23.10.6.4 — Paling sedikit seperempat dari seluruh jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan harus dipasang menerus di keseluruhan panjang bentang.

23.10.6.5 — Jumlah tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang daripada sepertiga jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan.

TATA CARA

PENJELASAN

23.10.6.6 — Setidak-tidaknya setengah dari seluruh tulangan bawah di tengah bentang harus diteruskan dan diangkur hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan sesuai 15.6.2.5.

23.10.6.7 — Pada tepi pelat yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada daerah tumpuan harus dipasang sedemikian hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan sesuai 15.6.2.5. Lihat Gambar 49.

PASAL 24 — BETON POLOS STRUKTURAL

TATA CARA

24.1 — Ruang lingkup

24.1.1 — Pasal ini memuat ketentuan minimum untuk perencanaan dan pelaksanaan komponen struktur beton polos struktural (cor setempat atau pracetak) kecuali pada 24.1.1.1 dan 24.1.1.2.

24.1.1.1 — Dinding besmen beton polos struktural harus dibebaskan dari persyaratan untuk kondisi lingkungan khusus pada 6.2.

24.1.1.2 — Perencanaan dan pelaksanaan pelat lantai yang ditumpu tanah, seperti tempat pejalan kaki dan pelat di atas tanah, tidak diatur oleh tata cara ini kecuali bilamana pelat tersebut menyalurkan beban vertikal dari bagian lain struktur ke tanah.

24.1.2 — Untuk struktur khusus, seperti pelengkung, struktur utilitas bawah tanah, dinding penahan tanah, dan dinding pelindung, aturan pada pasal ini harus digunakan bilamana berlaku.

24.2 — Batasan

24.2.1 — Aturan-aturan pada pasal ini harus diberlakukan untuk perencanaan komponen struktur beton polos struktural. Lihat 4.1.

24.2.2 — Penggunaan beton polos struktural harus dibatasi untuk:

- (a) Komponen struktur yang ditahan oleh tanah secara menerus atau ditahan oleh komponen struktural lain yang mampu memberi tumpuan vertikal secara menerus;
- (b) Komponen struktur dimana aksi pelengkung menghasilkan gaya tekan pada semua kondisi pembebanan; atau
- (c) Dinding dan pedestal. Lihat 24.6 dan 24.8. Penggunaan beton polos struktural pada kolom tidak diperbolehkan.

24.2.3 — Pasal ini tidak mengatur perencanaan dan instalasi tiang pancang dan *pier* beton cor setempat yang ditanam di dalam tanah.

PENJELASAN

S24.1 — Ruang lingkup

Mulai tahun 2002, persyaratan untuk beton polos struktural diatur dalam tata cara ini.

S24.1.1.1 — Pasal 24.1.1.1 mengecualikan dinding beton polos struktural dari persyaratan pengaruh lingkungan khusus karena banyak keberhasilan pemakaian beton dengan kuat tekan 28 hari sebesar 17 dan 20 MPa pada dinding basement perumahan dan struktur kecil yang tidak memenuhi syarat kekuatan Tabel 1.

S24.1.1.2 — Adalah tidak merupakan ruang lingkup tata cara ini untuk mengatur persyaratan desain dan pelaksanaan komponen non struktural beton polos seperti pelat diatas tanah.

S24.2 — Batasan

S24.2.2 dan S24.2.3 — Mengingat integritas struktural komponen struktur beton polos tergantung sepenuhnya pada sifat-sifat beton, pemakaian komponen struktur beton polos struktural harus dibatasi pada komponen struktur yang utamanya dalam keadaan tertekan, komponen struktur yang dapat mentoleransi retak-retak tanpa merusak integritas strukturnya, dan komponen struktur yang daktilitas bukan merupakan kelengkapan penting desain. Kuat tarik beton dapat diketahui dalam desain komponen struktur. Tegangan tarik akibat menahan rangkai, susut atau efek temperatur dipertimbangkan dan cukup dikurangi oleh teknik pelaksanaan untuk menghindari retak-retak yang tidak terkontrol, atau bila retak akibat efek penahan itu telah diantisipasi akan terjadi, tidak akan menimbulkan kegagalan struktural.

Dinding beton polos diijinkan (lihat 24.6) tanpa batas ketinggian. Namun untuk konstruksi banyak tingkat dan struktur-struktur umum lainnya, *ACI Committee 318* menganjurkan pemakaian dinding yang didesain sesuai dengan Pasal 16 (lihat S24.6).

TATA CARA

PENJELASAN

Mengingat beton polos tidak punya daktilitas yang diperlukan sebagaimana harus dimiliki oleh kolom dan karena retak random di kolom yang tidak bertulang akan kemungkinan besar membahayakan integritas struktur, tata cara ini tidak mengizinkan pemakaian beton polos untuk kolom-kolom. Tata cara ini masih mengizinkan pemakaian *pedestal* dengan batas rasio tinggi bebas terhadap dimensi melintang terkecil bernilai tiga atau lebih kecil (lihat 24.8.2).

Elemen struktur seperti tiang beton cor setempat dan pier dalam tanah atau material lain yang cukup kaku untuk memberikan cukup dukungan lateral untuk menghindarkan tekuk tidak diliput oleh tata cara ini. Elemen-elemen seperti itu diatur oleh tata cara bangunan umum.

24.2.4 — Kuat minimum

Kuat tekan beton polos yang digunakan untuk tujuan struktural harus tidak boleh kurang dari 17,5 MPa.

S24.2.4 — Kuat minimum

Syarat kuat minimum untuk konstruksi beton polos dipandang perlu karena keamanan didasarkan sepenuhnya pada kekuatan dan kualitas beton yang diperlakukan sebagai bahan homogen. Campuran beton polos mungkin tidak menghasilkan bahan yang cukup homogen atau permukaan yang berbentuk baik.

24.3 — Sambungan

24.3.1 — Sambungan kontraksi atau isolasi harus dipasang untuk memisahkan komponen struktur beton polos struktural menjadi komponen yang tidak menerus secara lentur. Ukuran masing-masing komponen struktur harus ditentukan untuk membatasi akumulasi tegangan dalam yang berlebihan akibat kekangan terhadap pergerakan-pergerakan yang ditimbulkan oleh fenomena rangkai, susut, dan pengaruh suhu.

24.3.2 — Dalam menentukan jumlah dan lokasi sambungan kontraksi atau isolasi, harus dipertimbangkan pengaruh dari kondisi iklim, pemilihan dan proporsi material; pencampuran, pengecoran, dan perawatan beton; tingkat pengekanan terhadap pergerakan; tegangan akibat beban yang bekerja pada komponen; dan metode pelaksanaan.

S24.3 — Sambungan

Sambungan di konstruksi beton polos merupakan pertimbangan penting desain. Di beton bertulang, penulangan dipasang untuk melawan tegangan akibat menahan rangkai, susut, dan efek temperatur. Di beton polos, sambungan adalah satu-satunya cara mengendalikan dan dengan demikian menghapus tegangan tarik yang membesar seperti itu. Karena itu, komponen struktur beton polos harus cukup kecil, atau dibagi dalam elemen-elemen lebih kecil oleh sambungan-sambungan, untuk mengendalikan tegangan internal yang membesar. Sambungan itu dapat berbentuk sambungan contraction atau sambungan isolasi. Reduksi minimum 25 persen dari tebal komponen dipandang cukup efektif untuk sambungan kontraksi. Penyambungan harus sedemikian sehingga tidak terjadi tarikan aksial atau tegangan oleh lentur di sambungan setelah terjadi retak, bila bisa dipakai, merupakan suatu kondisi yang disebut sebagai pemutusan lenturan. Dimana terjadi keretakan secara random akibat rangkai, susut, dan efek temperatur tidak akan mempengaruhi integritas struktur, dan sebaliknya dapat diterima, seperti retak melintang di fondasi menerus dinding, maka sambungan kontraksi melintang, atau isolasi sambungan dipandang tidak perlu.

24.4 — Metode perencanaan

24.4.1 — Komponen struktur beton polos struktural harus direncanakan agar cukup kuat sesuai tata cara ini, menggunakan faktor beban dan kuat rencana.

S24.4 — Metode perencanaan

Komponen struktur beton polos dirancang untuk cukup kuat menahan beban dan gaya terfaktor. Bila kuat rencana dilampaui, penampang harus ditambah atau kuat beton yang ditentukan ditingkatkan, atau kedua-duanya, atau

TATA CARA

24.4.2 — Faktor beban dan gaya-gaya harus dalam bentuk kombinasi seperti yang terdapat pada 12.2.

24.4.3 — Bila kuat perlu melebihi kuat rencana, maka tulangan harus diadakan dan komponen struktur direncanakan sebagai komponen struktur beton bertulang sesuai dengan persyaratan perencanaan dalam tata cara ini.

24.4.4 — Kuat rencana komponen struktur beton polos struktural untuk beban lentur dan aksial harus didasarkan pada hubungan tegangan – regangan linear baik pada kondisi tarik maupun kondisi tekan.

24.4.5 — Bila aturan 24.3 telah diikuti, maka kuat tarik beton diperbolehkan untuk dipertimbangkan dalam perencanaan komponen struktur beton polos.

24.4.6 — Kekuatan tulangan yang mungkin terpasang tidak perlu diperhitungkan.

24.4.7 — Gaya tarik tidak boleh disalurkan melalui tepi luar, sambungan konstruksi, sambungan kontraksi atau sambungan isolasi dari komponen individu beton polos. Tidak boleh ada kontinuitas lentur akibat tarik yang dapat diasumsikan antara komponen struktur beton polos struktural yang berdekatan.

24.4.8 — Pada saat menghitung kekuatan terhadap lentur, terhadap kombinasi beban lentur dan aksial, dan terhadap geser, keseluruhan luas penampang dari komponen struktur harus diperhitungkan dalam perencanaan, kecuali untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dimana tebal total h harus diambil 50 mm lebih kecil daripada tebal yang sebenarnya.

24.5 — Kuat rencana

24.5.1 — Perencanaan luas penampang yang mengalami lentur harus didasarkan pada:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (131)$$

dimana M_u adalah momen terfaktor dan M_n adalah kuat momen nominal yang dihitung dengan persamaan:

$$M_n = \frac{5}{12} \sqrt{f'_c} S \quad (132)$$

untuk kondisi yang dikontrol oleh tarik, dan dengan persamaan:

$$M_n = 0,85 f'_c S \quad (133)$$

untuk kondisi yang dikontrol oleh tekan, dimana S adalah

PENJELASAN

komponen struktur didesain sebagai komponen struktur beton bertulang sesuai dengan tata cara ini. Namun perencana harus memberi catatan, bahwa peningkatan penampang beton dapat memberikan pengaruh merugikan; tegangan akibat beban akan berkurang tetapi efek tegangan akibat rangkai, susut, dan temperatur dapat meningkat.

S24.4.4 — Dalam mendesain komponen struktur beton polos, tegangan tarik oleh lentur dapat dianggap untuk menahan beban, asalkan tegangan hasil perhitungan tidak melampaui tegangan yang diijinkan, dan pelaksanaan, kontraksi, atau sambungan isolasi diadakan untuk membebaskan tegangan tarik akibat menahan rangkai, temperatur, dan susut.

S24.4.8 — Ketebalan menyeluruh yang telah dikurangi h pada beton yang dicor langsung diatas tanah adalah mengimbangi galian yang kurang merata dan untuk kontaminasi beton yang berdekatan pada tanah.

S24.5 — Kuat rencana

TATA CARA

modulus penampang elastis.

24.5.2 — Perencanaan penampang yang mengalami gaya tekan harus didasarkan pada:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (134)$$

dimana P_u adalah beban tekan terfaktor dan P_n adalah kuat tekan nominal yang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_n = 0.60f'_c \left[1 - \left(\frac{l_c}{32h} \right)^2 \right] A_1 \quad (135)$$

dimana A_1 adalah luas daerah pembebanan

24.5.3 — Komponen struktur yang mengalami kombinasi beban lentur dan aksial tekan harus diproporsikan sehingga pada muka tekan dipenuhi:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 \quad (136)$$

dan pada muka tarik dipenuhi:

$$\frac{M_u}{S} - \frac{P_u}{A_g} \leq \frac{5}{12} \phi \sqrt{f'_c} \quad (137)$$

24.5.4 — Perencanaan penampang persegi panjang yang mengalami geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (138)$$

dimana V_u adalah gaya geser terfaktor dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dengan persamaan:

$$V_n = \frac{1}{9} \sqrt{f'_c} b h \quad (139)$$

untuk aksi balok dan dengan persamaan:

$$V_n = \frac{1}{9} \left[1 + \frac{2}{\beta_c} \right] \sqrt{f'_c} b_o h \quad (140)$$

untuk aksi dua arah, tapi tidak perlu lebih dari $\frac{2}{9} \sqrt{f'_c} b_o h$.

PENJELASAN

S24.5.2 — Pers. (135) disajikan untuk mencerminkan lingkup umum dari kondisi ujung yang berpengaku (*braced*) dan tertahan yang ditemui pada elemen-elemen struktural beton polos. Faktor panjang efektif ditiadakan sebagai pengubah dari l_c , yaitu jarak vertikal di antara tumpuan, karena ini adalah konservatif untuk dinding dengan anggapan tumpuan sendi yang disyaratkan berpengaku (*braced*) terhadap translasi melintang sebagaimana di Pasal 24.6.6.4.

S24.5.3 — Komponen struktur beton polos terkena kombinasi beban lentur dan aksial tekan dirancang sedemikian sehingga di muka tertekan:

$$\frac{P_u}{0.60\phi f'_c \left[1 - \left(\frac{l_c}{32h} \right)^2 \right] A_1} + \frac{M_u}{0.85\phi f'_c S} \leq 1$$

dan pada muka tertarik :

$$\left(\begin{array}{c} \text{Tegangan lentur} \\ \text{yang dihitung} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Tegangan aksial} \\ \text{yang dihitung} \end{array} \right) \leq (5/12) \phi \sqrt{f'_c}$$

S24.5.4 — Perancangan komponen struktur beton polos biasanya dikendalikan oleh kuat tarik daripada kuat geser. Tegangan geser (sebagai pengganti tegangan tarik utama) jarang menentukan. Namun, mengingat sulit untuk meramal kondisi semua kemungkinan dimana geser yang harus diselidiki (seperti kunci-kunci geser), *ACI Committee* 318 tetap menyelidiki kondisi tegangan mendasar ini. Perencana yang berpengalaman akan cepat mengetahui dimana geser tidak kritis untuk komponen struktur beton polos dan akan menyesuaikan prosedur desain yang tepat.

Syarat-syarat geser untuk beton polos pakai asumsi potongan utuh. Kegagalan geser di beton polos akan berupa kegagalan tarik diagonal, terjadi bila tegangan tarik utama dekat sumbu sentroidal menjadi sama dengan kuat tarik beton. Mengingat porsi besar tegangan tarik utama berasal dari geser, peraturan menjaga keamanan terhadap kegagalan tarik dengan membatasi geser diijinkan di sumbu sentroidal dari persamaan penampang material homogen:

$$v = VQ/Ib$$

dimana v dan V berturut-turut adalah tegangan geser dan gaya geser pada penampang yang ditinjau, Q adalah momen statis dari daerah di luar penampang yang ditinjau

TATA CARA

24.5.5 — Perencanaan daerah tumpu yang berada dalam kondisi tekan harus didasarkan pada:

$$\phi B_n \geq P_u \quad (141)$$

dimana P_u adalah beban tumpu terfaktor dan B_n adalah kuat tumpu nominal dari daerah pembebanan A_1 yang dihitung dengan persamaan:

$$B_n = 0,85f'_c A_1 \quad (142)$$

kecuali bilamana permukaan yang menumpu lebih lebar pada semua sisinya dibandingkan dengan daerah yang dibebani, maka kuat tumpu rencana pada daerah yang dibebani harus dikalikan dengan $\sqrt{A_2/A_1}$ tetapi tidak lebih dari 2.

24.5.6 — Beton ringan

24.5.6.1 — Ketentuan 24.5 berlaku untuk beton normal. Bila beton agregat ringan digunakan, satu dari beberapa modifikasi berikut ini harus diberlakukan:

(a) Jika f_{ct} dipersyaratkan dan campuran beton diproporsikan sesuai dengan 7.2, maka persamaan yang berisi $\sqrt{f'_c}$ harus dimodifikasi melalui penggantian $\sqrt{f'_c}$ dengan $1,8f_{ct}$ dimana saja notasi $\sqrt{f'_c}$ ditemui di 24.5, tetapi nilai $1,8f_{ct}$ tidak boleh melebihi $\sqrt{f'_c}$;

(b) Jika f_{ct} tidak dipersyaratkan, maka semua harga $\sqrt{f'_c}$ pada 24.5 harus dikalikan dengan 0,75 untuk beton ringan-total, dan 0,85 untuk beton ringan-pasir. Jika dilakukan penggantian pasir secara parsial maka faktor pengali bisa didapatkan dengan menggunakan interpolasi linier.

24.6 — Dinding

24.6.1 — Dinding beton polos struktural harus ditumpu secara menerus oleh tanah, fondasi telapak, dinding fondasi, balok sloof, atau komponen struktur lain yang mampu memberikan tumpuan vertikal secara menerus.

24.6.2 — Dinding beton polos struktural harus direncanakan terhadap beban vertikal, beban lateral, dan beban lain yang bekerja padanya.

24.6.3 — Dinding beton polos struktural harus direncanakan untuk suatu eksentrisitas sesuai dengan momen maksimum

PENJELASAN

terhadap sumbu pusat penampang bruto. I adalah momen inersia dari penampang bruto, dan b adalah lebar dimana tegangan geser bidang dihitung.

S24.5.6 — Beton ringan

Lihat S13.2.

S24.6 — Dinding

Dinding beton polos biasanya dipakai untuk konstruksi dinding besmen (*basement*) untuk perumahan dan bangunan komersial ringan di daerah gempa ringan atau bebas gempa. Walaupun peraturan tidak menentukan batas tinggi maksimum yang tegas pada pemakaian beton polos, para perencana diingatkan berhati-hati terhadap ekstrapolasi pengalaman dengan struktur yang relatif kecil dan memakai dinding beton polos di konstruksi bertingkat banyak dan struktur besar lain dimana perbedaan penurunan, angin, gempa bumi, atau kondisi beban yang tak terduga menuntut dinding memiliki daktilitas dan

TATA CARA

yang menyertai beban aksial tapi tidak boleh kurang dari $0,10h$. Apabila resultan dari semua beban terfaktor berada pada daerah sepertiga tengah dari tebal keseluruhan dinding, maka perencanaan harus dilakukan sesuai dengan 24.5.3 atau 24.6.5. Jika tidak, dinding harus direncanakan sesuai dengan 24.5.3.

24.6.4 — Perencanaan untuk geser harus sesuai dengan 24.5.4.

24.6.5 — Metode perencanaan empiris

24.6.5.1 — Dinding beton polos struktural dengan penampang solid persegi panjang diperbolehkan untuk direncanakan menggunakan Persamaan 143 bila resultan dari semua beban terfaktor berada pada daerah sepertiga tengah dari tebal keseluruhan dinding.

24.6.5.2 — Perencanaan dinding yang mengalami beban aksial tekan harus didasarkan pada:

$$\phi P_{nw} \geq P_u \quad (143)$$

dimana P_u adalah beban aksial terfaktor dan P_{nw} adalah kuat aksial nominal yang dihitung dengan persamaan:

$$P_{nw} = 0,45f'_cA_g \left[1 - \left(\frac{\ell_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (144)$$

24.6.6 — Pembatasan

24.6.6.1 — Kecuali dapat dibuktikan oleh analisis rinci, panjang horizontal dinding yang dapat dianggap efektif untuk masing-masing beban vertikal terpusat tidak boleh melebihi jarak pusat ke pusat antar beban ataupun tidak melebihi lebar daerah tumpu ditambah empat kali tebal dinding.

24.6.6.2 — Kecuali sebagaimana ditentukan dalam 24.6.6.3, tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari $1/24$ tinggi atau panjang bebas, diambil nilai terkecil, dan tidak boleh kurang dari 140 mm.

24.6.6.3 — Tebal dinding besmen luar dan dinding fondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.

24.6.6.4 — Dinding harus ditahan terhadap translasi lateral. Lihat 24.3 dan 24.4(7).

24.6.6.5 — Sekeliling lubang jendela dan pintu harus

PENJELASAN

kesanggupan memelihara integritasnya bila terjadi retak. Untuk kondisi-kondisi demikian, *ACI Committee 318* sangat menganjurkan pemakaian dinding yang direncanakan sesuai dengan Pasal 16.

Ketentuan untuk dinding beton polos hanya berlaku untuk dinding yang didukung di arah lateral sedemikian sehingga dilarang terjadi perpindahan melintang di atas dan di bawah dari individual elemen-elemen dinding (lihat 24.6.6.4). Tata cara ini tidak mengatur dinding-dinding tanpa pendukung horizontal untuk mencegah penyimpangan relatif di atas dan di bawah dari elemen-elemen dinding. Dinding-dinding yang tanpa pendukung melintang agar direncanakan sebagai komponen struktur beton bertulang sesuai tata cara ini.

S24.6.5 — Metode perencanaan empiris

Bila beban resultan jatuh dalam sepertiga tengah tebal dinding (inti penampang dinding), beton polos boleh direncanakan memakai Pers. sederhana (144). Beban-beban eksentris dan gaya-gaya lateral dipakai untuk menentukan eksentrisitas total dari beban terfaktor P_u . Bila eksentrisitas tidak melebihi $h/6$, Pers. (144) boleh dipakai dan perencanaan dilakukan dengan memakai P_u sebagai beban eksentris. Beban aksial terfaktor P_u harus tidak melebihi kuat beban aksial rencana ϕP_{nw} . Pers. (144) mencerminkan lingkup dari kondisi ujung yang braced dan tertahan yang ditemui dalam perencanaan dinding. Pembatasan Pasal 24.6.6 berlaku apakah dinding direncanakan dengan 24.5.3 atau dengan metode empiris dari 24.6.5.

TATA CARA**PENJELASAN**

dipasang penulangan tidak kurang dari dua tulangan D-16. Tulangan demikian harus diperpanjang sedikitnya 600 mm dari sudut lubang.

24.7 — Fondasi telapak

24.7.1 — Fondasi telapak beton polos struktural harus direncanakan terhadap beban terfaktor dan reaksi tanah yang diakibatkannya sesuai dengan ketentuan perencanaan yang berlaku pada tata cara ini dan sebagaimana ditentukan dalam 24.7.2 hingga 24.7.8.

24.7.2 — Luas dasar fondasi telapak harus ditentukan oleh gaya dan momen tak terfaktor yang disalurkan oleh fondasi telapak ke tanah dan oleh tekanan tanah ijin yang ditentukan berdasarkan prinsip-prinsip mekanika tanah.

24.7.3 — Beton polos tidak boleh dipakai untuk fondasi telapak di atas tiang pancang.

24.7.4 — Tebal fondasi telapak beton polos struktural tidak boleh kurang dari 200 mm. Lihat 24.4.8.

24.7.5 — Momen maksimum terfaktor harus dihitung di irisan penampang-penampang kritis sebagai berikut:

(a) Di muka kolom, pedestal, atau dinding, untuk fondasi telapak yang mendukung kolom, pedestal, atau dinding beton.

(b) Setengah jarak yang diukur dari bagian tengah ke tepi dinding untuk fondasi telapak yang mendukung dinding pasangan.

(c) Setengah jarak yang diukur dari muka kolom ke tepi pelat alas baja, untuk fondasi telapak yang mendukung kolom yang menggunakan pelat dasar baja.

24.7.6 — Geser pada fondasi telapak beton polos

24.7.6.1 — Geser terfaktor maksimum harus dihitung sesuai dengan 24.7.6.2 dengan lokasi penampang kritis diukur pada muka kolom, pedestal, atau dinding untuk fondasi telapak

S24.7 — Fondasi telapak

S24.7.4 — Tebal fondasi telapak beton polos akan dikendalikan oleh kuat lentur (tegangan tarik lapis terluar tidak boleh lebih besar dari $(5/12)\phi\sqrt{f'_c}$) daripada oleh kuat geser untuk ukuran yang biasanya dipakai pada fondasi telapak beton polos. Geser jarang sebagai penentu (lihat S24.5.4). Untuk fondasi telapak dicor langsung di atas tanah, tebal h untuk perhitungan kekuatan harus dikurangi 50 mm dari tebal sesungguhnya untuk memperhitungkan galian yang tidak rata dan kontaminasi beton yang langsung bersinggungan dengan tanah sebagaimana disyaratkan oleh Pasal 24.4.8. Jadi, untuk tebal minimum fondasi telapak 200 mm, perhitungan untuk tegangan lentur dan geser harus didasarkan pada tebal menyeluruh h sebesar 150 mm.

TATA CARA

yang mendukung kolom, pedestal, atau dinding. Untuk fondasi telapak yang mendukung kolom yang menggunakan pelat dasar baja, penampang kritis harus diukur di lokasi yang didefinisikan dalam 24.7.5(c).

24.7.6.2 — Kuat geser fondasi telapak beton polos struktural di sekitar beban terpusat atau reaksi harus ditentukan oleh yang terberat dari dua kondisi berikut:

(a) Aksi balok untuk fondasi telapak, dengan penampang kritis yang menjangkau dalam bidang yang melalui seluruh lebar fondasi telapak dan berada pada jarak h dari muka daerah beban terpusat atau daerah reaksi. Untuk kondisi ini, fondasi telapak harus direncanakan sesuai dengan Persamaan 139.

(b) Aksi dua-arah untuk fondasi telapak, dengan penampang kritis yang tegak lurus terhadap bidang fondasi telapak dan terletak sedemikian hingga keliling b_o adalah minimum, tapi tidak perlu lebih dekat daripada $h/2$ terhadap keliling daerah beban terpusat atau daerah reaksi. Untuk kondisi ini, fondasi telapak harus direncanakan sesuai dengan Persamaan 140.

24.7.7 — Kolom atau *pedestal* beton polos yang berbentuk lingkaran atau segi banyak beraturan boleh diperlakukan sebagai penampang persegi dengan luas yang sama, yang digunakan untuk menentukan letak penampang kritis bagi momen dan geser.

24.7.8 — Beban tumpuan terfaktor pada beton di permukaan bidang kontak antara komponen yang mendukung dan yang didukung tidak boleh melampaui kuat tumpu rencana untuk masing-masing permukaan sebagaimana yang ditentukan pada 24.5.5.

24.8 — Pedestal

24.8.1 — *Pedestal* beton polos harus direncanakan terhadap beban vertikal, beban lateral, dan beban lain yang bekerja padanya.

24.8.2 — Rasio tinggi bebas terhadap dimensi lateral terkecil rata-rata dari *pedestal* beton polos tidak boleh melampaui 3.

24.8.3 — Beban aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada *pedestal* beton polos tidak boleh melebihi kuat tumpu rencana yang ditentukan pada 24.5.5.

24.9 — Komponen struktur pracetak

24.9.1 — Perencanaan komponen beton polos pracetak harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan mulai dari saat fabrikasi awal hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpanan,

PENJELASAN**S24.8 — Pedestal**

Pembatasan tinggi-tebal untuk pedestal beton polos tidak berlaku untuk bagian dari pedestal yang tertanam dalam tanah yang berkemampuan untuk memberikan tahanan lateral.

S24.9 — Komponen struktur pracetak

Komponen-komponen struktur beton polos pracetak dikenai batasan-batasan dan ketentuan-ketentuan bagi beton cor setempat yang terkandung dalam pasal ini.

Pendekatan pada hubungan kontraksi atau sambungan

TATA CARA

pengangkutan, dan ereksi.

24.9.2 — Batasan 24.2 tidak hanya berlaku pada komponen struktur beton polos pracetak pada kondisi akhir tetapi juga berlaku pada saat fabrikasi, pengangkutan, dan ereksi.

24.9.3 — Komponen-komponen struktur pracetak harus disambung secara aman untuk menyalurkan gaya-gaya lateral ke sistem struktur yang mampu menahan gaya-gaya tersebut.

24.9.4 — Komponen-komponen struktur pracetak harus diikat dan ditopang secukupnya selama ereksi untuk menjamin tercapainya kedudukan yang tepat dan integritas struktur hingga sambungan yang permanen selesai dipasang.

24.10 — Beton polos pada struktur tahan gempa

24.10.1 — Struktur yang direncanakan terhadap gaya yang ditimbulkan oleh gempa di wilayah gempa dengan resiko tinggi atau yang dimaksudkan untuk memiliki kinerja gempa yang tinggi tidak boleh menggunakan komponen struktur fondasi dari beton polos struktural, kecuali berikut ini:

(a) Untuk pemukiman satu dan dua keluarga yang terpisah, bertingkat tiga atau lebih rendah dan dibuat dengan dinding penumpu pakai stud, fondasi telapak beton polos tanpa tulangan memanjang yang menahan dinding dan fondasi telapak beton polos yang terisolir yang menyangga kolom atau *pedestal* boleh digunakan.

(b) Untuk semua struktur lain, fondasi telapak dari beton polos yang menahan dinding pasangan bertulang atau dinding beton bertulang cor setempat boleh digunakan asalkan fondasi telapak diperkuat oleh tulangan memanjang yang terdiri dari tidak kurang dari dua batang tulangan yang menerus. Tulangan tidak boleh lebih kecil dari D-13 dan harus memiliki luas total tidak kurang dari 0,002 kali luas penampang melintang kotor dari fondasi telapak. Kontinuitas tulangan harus terjaga di daerah sudut dan di persimpangan.

(c) Untuk pemukiman satu atau dua keluarga yang terpisah, bertingkat tiga atau lebih rendah dan dibuat dengan dinding penumpu pakai stud, fondasi atau dinding besmen beton polos boleh digunakan asalkan tebal dinding tidak kurang dari 190 mm dan tidak menahan urugan yang lebih dari 1,2 m.

PENJELASAN

isolasi diharapkan agak berlainan dari beton cor setempat mengingat bagian besar porsi dari tegangan oleh susut terjadi sebelum ereksi. Untuk menjamin stabilitas, komponen struktur pracetak harus diikat pada komponen-komponen struktur lain. Sambungan itu tidak mentransfer tegangan tarik.

PASAL 25 — METODE DESAIN ALTERNATIF

TATA CARA

25.1 — Ruang lingkup

25.1.1 — Komponen struktur beton bertulang non-prategang boleh direncanakan berdasarkan beban kerja (tanpa faktor beban) dan tegangan ijin sesuai dengan ketentuan Pasal 25.

25.1.2 — Perencanaan komponen struktur yang tidak tercakup dalam Pasal 25 harus menggunakan ketentuan yang sesuai dari peraturan ini.

25.1.3 — Seluruh ketentuan untuk beton non-prategang yang berlaku dalam tata cara ini, kecuali 10.4, berlaku pula untuk komponen struktur yang didesain dengan Metode desain

PENJELASAN

S25.1 — Ruang lingkup

Sebagai alternatif Metoda Desain Kekuatan dari tata cara ini, ketentuan desain Pasal 25 ini dapat dipakai untuk merancang komponen struktur beton bertulang. Dalam metoda alternatif ini, suatu komponen struktur (terkena lentur) direncanakan sedemikian sehingga tegangan akibat beban kerja (tanpa faktor beban) dan dihitung berdasarkan teori garis lurus untuk lenturan tidak melampaui tegangan beban kerja yang diijinkan. Beban kerja adalah beban, seperti berat sendiri, beban hidup dan angin, yang dianggap terjadi sesungguhnya pada waktu struktur dipakai. Syarat beban kerja yang dipakai untuk desain adalah sebagaimana ditentukan dalam peraturan umum bangunan. Tegangan hasil perhitungan akibat beban kerja dibatasi dalam lingkup sifat elastis material sehingga dipakai hubungan garis lurus antara tegangan dan regangan (lihat 25.5).

Metoda alternatif ini sama dengan “metoda desain tegangan kerja” yang ada di tata cara SNI sebelumnya (SNI 03-2847-1992). Untuk komponen-komponen struktur yang terkena beban lentur tanpa beban aksial, metoda ini masih identik. Perubahan besar prosedur terjadi dalam desain komponen struktur yang terkena beban tekan dengan atau tanpa lentur (lihat 25.6) dan tegangan lekatan dan panjang penyaluran tulangan (lihat 25.4). Untuk geser, kuat geser yang dipikul oleh beton untuk Metoda Desain Kekuatan dibagi suatu faktor keamanan dan hasil tegangan beban kerja yang diijinkan diubah di 25.7.

Mengingat penyederhanaan yang diijinkan, Metoda Desain Alternatif Pasal 25 pada umumnya menghasilkan desain yang lebih konservatif dibanding hasil desain yang menggunakan Metoda Desain Kekuatan dari tata cara ini. Faktor beban dan faktor reduksi kekuatan memakai nilai 1,0 untuk desain dan analisis. Juga, aturan desain untuk perencanaan dengan teori garis lurus untuk lentur belum banyak diperbarui secara mendalam sebagaimana pada Metoda Desain Kekuatan untuk perancangan komponen struktur beton bertulang.

S25.1.1 — Desain dengan Pasal 25 tidak berlaku pada komponen struktur prategang. (Pasal 20 mengijinkan anggapan linier tegangan-regangan untuk perhitungan tegangan beban kerja dan tegangan transfer prategang untuk menyelidiki perilaku pada kondisi kerja.)

S25.1.3 — Semua ketentuan lain dari tata cara ini, kecuali ijin redistribusi momen, dapat dipakai pada Metode Desain Alternatif. Ini termasuk kontrol lendutan dan distribusi

TATA CARA

alternatif.

25.1.4 — Komponen struktur lentur harus memenuhi ketentuan untuk kontrol lendutan dalam 11.5, dan ketentuan 12.4 hingga 12.7 dari tata cara ini.

25.2 — Umum

25.2.1 — Faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ harus diambil sebesar 1,0 untuk komponen struktur yang direncanakan berdasarkan Metode desain alternatif.

25.2.2 — Komponen struktur boleh diproporsikan hingga 75% dari kapasitas yang diperlukan oleh bagian lain dari Pasal 25 pada saat memperhitungkan gaya angin dan gempa yang dikombinasikan dengan beban lain, asalkan penampang yang didapat untuk kondisi beban di atas, tidak lebih kecil dari yang diperlukan untuk kondisi beban mati dan beban hidup.

25.2.3 — Bila beban mati mengurangi pengaruh dari beban lain, maka komponen struktur harus direncanakan terhadap 85% dari beban mati yang dikombinasikan dengan beban lain.

25.3 — Tegangan ijin untuk beban kerja

25.3.1 — Tegangan dalam beton tidak boleh melebihi ketentuan berikut ini:

25.3.1.1 — Lentur

Serat terluar mengalami tekan $0,45f'_c$

25.3.1.2 — Geser

Balok dan pelat satu arah dan fondasi telapak:

Geser yang hanya dipikul oleh beton, v_c $(1/11)\sqrt{f'_c}$

Geser maksimum yang dipikul oleh beton

dan tulangan geser $v_c + (3/8)\sqrt{f'_c}$

Balok usuk (*joists*):

PENJELASAN

tulang lentur, juga semua ketentuan terkait efek kelangsingan di komponen-komponen tertekan di Pasal 12.

S25.1.4 — Syarat-syarat umum serviceability dari tata cara ini, seperti syarat-syarat kontrol lendutan (lihat 11.5) dan kontrol retak (lihat 12.6), harus dipenuhi apakah desain memakai metode kekuatan atau metode alternatif.

S25.2 — Umum

S25.2.1 — Faktor beban dan faktor reduksi beban untuk menentukan keamanan dalam Metode Desain Kekuatan tidak dipakai dalam Metode Desain Alternatif. Seterusnya, faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ diambil sama dengan 1,0 untuk meniadakan pengaruhnya bila melakukan perencanaan dengan metode alternatif.

Bila menggunakan momen dan persamaan geser dari 10.3.3 dan Pasal 15, beban terfaktor w_u harus diganti oleh beban kerja w .

S25.2.2 — Bila beban lateral seperti angin dan gempa bumi digabung dengan beban hidup dan berat sendiri menentukan perencanaan, komponen-komponen struktur boleh diproporsikan hingga 75 persen dari kapasitas yang ditentukan di Pasal 25. Ini sama dengan ketentuan tegangan desain dari tata cara SNI sebelumnya yang memperkenankan sepertiga peningkatan tegangan untuk beban kombinasi ini.

S25.2.3 — Reduksi 15 persen pada beban mati disyaratkan untuk kondisi desain dimana beban mati mengurangi pengaruh desain dari beban lain untuk mendapatkan beban mati yang aktual yang lebih sedikit dari beban mati yang dipakai dalam desain. Ketentuan ini analog dengan persamaan kekuatan yang disyaratkan [Pers. (7)] di Pasal 11.2.2.

S25.3 — Tegangan ijin untuk beban kerja

Untuk kemudahan, tegangan beban kerja yang diijinkan disajikan dalam tabel. Tegangan tekan beton untuk lentur tanpa beban aksial dibatasi sebesar $0,45f'_c$. Tegangan tarik tulangan dibatasi sebesar 140 MPa untuk grade baja 300 dan 350 dan 170 MPa untuk mutu baja kuat lebih tinggi yaitu 420. Suatu pengecualian yang telah lama berlaku untuk pelat satu arah dengan bentang bersih 4 m atau lebih kecil dan pakai tulangan $\varnothing 10$ atau jaring kawat las (*welded wire fabric*) yang berdiameter tidak lebih dari 10 mm. Untuk kondisi desain ini saja, tegangan tarik diijinkan dinaikkan dari yang lebih kecil dari $0,5f_y$ atau 200 MPa.

Tegangan geser dan tumpuan yang diijinkan merupakan suatu persentase dari kuat geser dan tumpuan yang ditentukan untuk desain kekuatan. Kenaikan 10 persen untuk pelat berusuk (*joists*) dari 10.11 tata cara ini sudah

TATA CARA

Geser yang dipikul oleh beton, v_c $(1/10)\sqrt{f'_c}$

Pelat dua arah dan fondasi telapak:

Geser yang dipikul oleh beton, v_c $\frac{1}{12}\left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right)\sqrt{f'_c}$

tetapi tidak lebih besar dari $(1/6)\sqrt{f'_c}$

25.3.1.3 — Tegangan tumpu pada daerah yang dibebani $0,3f'_c$

25.3.2 — Tegangan tarik pada tulangan f_s , tidak boleh melebihi ketentuan di bawah ini:

25.3.2.1 — Tulangan Mutu 300 atau Mutu 350..... 140 MPa

25.3.2.2 — Tulangan Mutu 400 atau lebih dan jaring kawat las (polos atau ulir) 170 MPa

25.3.2.3 — Untuk tulangan lentur, diameter 10 mm atau kurang, pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m $0,5f_y$, tetapi tidak boleh lebih besar dari 200 MPa

25.4 — Panjang penyaluran dan sambungan lewatan untuk tulangan

25.4.1 — Panjang penyaluran dan sambungan lewatan untuk tulangan harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam Pasal 14 dari tata cara ini.

25.4.2 — Untuk memenuhi ketentuan 14.11.3, M_n harus diambil sebagai nilai yang didapat dari perhitungan kapasitas momen dengan asumsi bahwa semua tulangan tarik momen positif pada penampang yang ditinjau mengalami tegangan hingga mencapai tegangan tarik ijin f_s , dan V_u harus diambil sebagai gaya geser tidak terfaktor pada penampang tersebut.

25.5 — Lentur

Untuk perhitungan tegangan pada beban kerja, teori garis lurus untuk lentur harus dipakai dengan asumsi berikut ini.

25.5.1 — Regangan bervariasi secara linear sebanding dengan jaraknya dari garis netral, kecuali untuk komponen lentur tinggi yang perbandingan antara tinggi dan bentang total lebih besar dari 2/5 untuk balok menerus, dan 4/5 untuk balok sederhana, harus digunakan distribusi regangan non-linier. Lihat 12.7.

25.5.2 — Hubungan tegangan-regangan beton untuk kondisi beban kerja dalam batas tegangan ijin adalah linear.

PENJELASAN

termasuk dalam nilai $0,1\sqrt{f'_c}$ untuk pelat berusuk (*joists*).

Penjelasan pemakaian bidang A_1 dan A_2 untuk peningkatan tegangan tumpuan dibicarakan di S12.7.1.

S25.4 — Panjang penyaluran dan sambungan lewatan untuk tulangan

Dalam perhitungan panjang penyaluran dan panjang sambungan lewatan, ketentuan Pasal 14 berlaku sama untuk kedua metode desain karena, dalam kedua kasus, panjang penyaluran (dan panjang sambungan lewatan sebagai kelipatan dari panjang penyaluran) didasarkan pada kuat leleh dari tulangan. Dimana M_n dan V_u mengacu pada Pasal 14, M_n adalah kapasitas momen perlawanan beban kerja dan V_u adalah gaya geser beban kerja (tanpa faktor beban) yang bekerja pada penampang.

S25.5 — Lentur

Teori garis lurus hanya berlaku untuk desain komponen struktur kena beban lentur tanpa beban aksial. Mengingat tegangan hasil hitungan akibat beban kerja berada dalam lingkup elastis, hubungan garis lurus antara tegangan dan regangan dipakai dengan tegangan maksimum di beton dibatasi $0,45f'_c$ dan tegangan tarik tulangan dibatasi sebesar 170 MPa untuk baja Mutu 420 (Lihat 25.3.2).

Teori garis lurus boleh dipakai untuk semua bentuk penampang yang memakai atau tidak tulangan tekan bila tidak ada beban aksial. Mengingat beban tekan aksial kecil cenderung meningkatkan kapasitas momen penampang, beban aksial kecil boleh diabaikan pada banyak kasus. Bila timbul keragu-raguan apakah beban aksial boleh diabaikan,

TATA CARA

25.5.3 — Dalam komponen beton bertulang, beton tidak menahan tegangan tarik.

25.5.4 — Rasio modulus, $n = E_s/E_c$, boleh diambil sebagai nilai angka bulat terdekat (tetapi tidak kurang dari 6). Kecuali dalam perhitungan lendutan, nilai n untuk beton ringan harus diasumsikan sama dengan nilai untuk beton normal dengan kekuatan yang sama.

25.5.5 — Untuk menghitung tegangan pada suatu komponen lentur dengan tulangan rangkap, proses transformasi tulangan tekan harus didasarkan pada suatu nilai rasio modulus efektif sebesar $2E_s/E_c$. Tegangan tekan dalam tulangan tersebut tidak boleh melebihi tegangan tarik ijin.

25.6 — Komponen tekan dengan atau tanpa lentur

25.6.1 — Kapasitas komponen tekan terhadap kombinasi beban lentur dan aksial harus diambil sebesar 40% dari nilai yang didapat dari perhitungan berdasarkan ketentuan dalam Pasal 12.

25.6.2 — Pengaruh kelangsingan harus diperhitungkan sesuai dengan ketentuan 12.10 sampai dengan 12.13. Dalam Persamaan 31 dan 40 besaran P_n harus diganti dengan 2,5 kali beban aksial rencana, dan faktor 0,75 diambil sama dengan 1,0.

25.6.3 — Dinding harus direncanakan sesuai dengan Pasal 16 dari tata cara ini dengan ketentuan bahwa kapasitas beban lentur dan aksial diambil sebesar 40% dari nilai yang didapat dari perhitungan berdasarkan ketentuan Pasal 16. Dalam Persamaan 95, ϕ harus diambil sama dengan 1,0.

25.7 — Geser dan puntir

25.7.1 — Tegangan geser rencana v harus dihitung dengan:

$$v = \frac{V}{b_w d} \quad (145)$$

dengan V adalah gaya geser rencana pada penampang yang ditinjau.

25.7.2 — Bila reaksi, yang searah dengan geser yang bekerja, menimbulkan tekan di daerah ujung komponen struktur, maka penampang-penampang yang berjarak kurang dari d dari muka tumpuan, boleh direncanakan terhadap geser v yang sama

PENJELASAN

maka komponen harus diselidiki memakai 25.6.

Komponen struktur lentur tinggi harus direncanakan sesuai Pasal 12.7 tata cara ini.

Untuk mentransformasi tulangan tekan ke beton ekuivalen pada desain lentur, $2E_s/E_c$ harus dipakai untuk menentukan lokasi sumbu netral dan menghitung momen inersia. Nilai yang lebih kecil dari dua kali tegangan hasil perhitungan di tulangan tekan atau tegangan tarik diijinkan akan dipakai untuk menghitung kontribusi tulangan tekan dalam menghitung perlawanan momen pada beban kerja.

S25.6 — Komponen tekan dengan atau tanpa lentur

Semua komponen struktur tertekan, dengan atau tanpa lentur, harus dirancang memakai Metoda Desain Kekuatan. Penyimpangan dari SNI sebelumnya ini adalah untuk memberi faktor keamanan yang lebih konsisten untuk lingkup penuh dari interaksi beban-momen. Alat bantu desain tegangan kerja yang ada untuk kolom tidak memenuhi syarat Pasal 25.

Kapasitas beban layan ijin diambil sebesar 40 persen dari kuat beban aksial nominal P_n pada eksentrisitas tertentu ($\phi = 1,0$) seperti yang dihitung dengan ketentuan dari Pasal 12, yang dikenai reduksi yang sesuai akibat pengaruh kelangsingan. Penggunaan 40 persen dari kuat nominal adalah ekuivalen dengan faktor keamanan keseluruhan U/ϕ sebesar 2,5.

Dengan Metoda Desain Alternatif, P_n/ϕ di Pers. (31) dan (40) diambil sebagai $2,5P$ bila beban gravitasi menentukan dan $1,875P$ bila beban lateral digabung dengan beban gravitasi menentukan desain, dimana P adalah beban aksial desain dalam komponen struktur tertekan.

S25.7 — Geser dan puntir

Untuk kemudahan, satu berkas ketentuan desain untuk geser disediakan dalam Pasal 25 ini.

Tegangan beton yang diijinkan dan batasan maksimum tegangan geser adalah 55 persen untuk balok, pelat berusuk (*joists*), dinding dan lantai satu-arah dan 50 persen untuk lantai dua-arah dan fondasi telapak, berturut-turut, dari kuat geser dan momen puntir Metoda Desain Kekuatan yang diberikan dalam tata cara ini.

Bila beban gravitasi, angin, gempa bumi, atau gaya lateral lain menyebabkan transfer momen antara pelat dan kolom, ketentuan 13.12.2 harus dipakai dengan tegangan diijinkan

TATA CARA

besarnya dengan geser yang dihitung untuk penampang yang berjarak d dari tumpuan.

25.7.3 — Bilamana berlaku, pengaruh puntir, sesuai ketentuan dalam Pasal 13, harus ditambahkan. Kekuatan geser dan momen puntir yang disediakan beton dan batas kekuatan puntir maksimum harus diambil sebesar 55% dari nilai yang diberikan pada Pasal 13.

25.7.4 — Tegangan geser yang dipikul beton:

25.7.4.1 — Untuk komponen struktur yang menerima beban geser dan lentur saja, tegangan geser v_c yang dipikul oleh beton tidak boleh melebihi $(1/11)\sqrt{f'_c}$ kecuali apabila dilakukan perhitungan yang lebih rinci menurut 25.7.4.4.

25.7.4.2 — Untuk komponen struktur yang menerima beban tekan aksial, tegangan geser v_c yang dipikul oleh beton tidak boleh diambil melebihi $(1/11)\sqrt{f'_c}$ kecuali apabila dilakukan perhitungan yang lebih rinci menurut 25.7.4.5.

25.7.4.3 — Untuk komponen struktur yang menerima beban tarik aksial yang besar, tulangan geser harus direncanakan untuk memikul geser total, kecuali bila dilakukan perhitungan yang lebih rinci dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_c = \frac{1}{11} \left(1 + 0,6 \frac{N}{A_g} \right) \sqrt{f'_c} \quad (146)$$

dengan N adalah negatif untuk tarik. Besaran N/A_g harus dinyatakan dalam MPa.

25.7.4.4 — Untuk komponen struktur yang menerima beban geser dan lentur saja, v_c dapat dihitung dengan:

$$v_c = \frac{1}{12} \sqrt{f'_c} + 9\rho_w \frac{Vd}{M} \quad (147)$$

tetapi v_c tidak boleh diambil lebih besar dari $(1/7)\sqrt{f'_c}$. Besaran Vd/M tidak boleh diambil lebih besar dari 1,0, dimana M adalah momen rencana yang bekerja secara bersamaan dengan V pada penampang yang ditinjau.

25.7.4.5 — Untuk komponen struktur yang menerima beban tekan aksial, v_c dapat dihitung dengan:

$$v_c = \frac{1}{11} \left(1 + \frac{N}{11A_g} \right) \sqrt{f'_c} \quad (148)$$

dengan besaran N/A_g harus dinyatakan dalam MPa.

25.7.4.6 — Tegangan geser v_c yang dipikul oleh beton

PENJELASAN

pada penampang kritis dibatasi oleh ketentuan-ketentuan yang diberikan di Pasal 25.7.7.3.

TATA CARA**PENJELASAN**

berlaku untuk beton normal. Bila digunakan beton dengan agregat ringan, harus diberlakukan salah satu dari modifikasi berikut:

(a) Bila f_{ct} ditentukan dan beton diproporsikan sesuai dengan 7.2, maka $\sqrt{f'_c}$ harus diganti dengan $1,8f_{ct}$, tetapi nilai $1,8f_{ct}$ tidak boleh melebihi $\sqrt{f'_c}$.

(b) Bila f_{ct} tidak ditentukan, maka nilai $\sqrt{f'_c}$ harus dikalikan dengan 0,75 untuk beton ringan-total dan dengan 0,85 untuk beton ringan-pasir. Interpolasi linier diperbolehkan apabila dilakukan penggantian pasir sebagian.

25.7.4.7 — Dalam menentukan tegangan geser v_c yang dipikul oleh beton, bilamana berlaku, maka pengaruh dari gaya tarik aksial akibat rangkai dan susut pada komponen struktur yang terkekang harus diperhitungkan dan pengaruh dari tekan lentur miring pada komponen struktur yang tingginya bervariasi dapat pula ikut diperhitungkan.

25.7.5 — Tegangan geser yang dipikul oleh tulangan geser:

25.7.5.1 — Jenis-jenis tulangan geser

Tulangan geser dapat terdiri dari salah satu berikut ini:

(a) Sengkang yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur.

(b) Jaring kawat las, dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen, dengan membuat sudut 45° atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal.

(c) Tulangan memanjang dengan bagian bengkokan yang membuat sudut 30° atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal.

(d) Kombinasi dari sengkang dan tulangan memanjang yang dibengkokkan.

(e) Spiral.

25.7.5.2 — Kuat leleh rencana dari tulangan geser tidak boleh lebih dari 400 MPa.

25.7.5.3 — Sengkang dan batang atau kawat lainnya yang digunakan sebagai tulangan geser harus diteruskan sejarak d dari serat tekan terluar dan harus diangkur pada kedua ujungnya menurut 14.13 untuk mengembangkan kuat leleh rencana tulangan.

TATA CARA

PENJELASAN

25.7.5.4 — Batas spasi bagi tulangan geser

(a) Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh lebih dari $d/2$, ataupun 600 mm.

(b) Senggang miring dan tulangan longitudinal yang dibengkokkan harus dipasang dengan spasi yang sedemikian hingga setiap garis miring 45 derajat yang ditarik dari titik tengah tinggi komponen struktur ke tulangan tarik memanjang dengan arah menuju reaksi tumpuan, harus dipotong paling tidak oleh satu garis tulangan geser.

(c) Bila $(v - v_c)$ melampaui $(1/6)\sqrt{f'_c}$, maka spasi maksimum yang diberikan oleh 25.7.5.4(a) dan 25.7.5.4(b) harus dikurangi menjadi setengahnya.

25.7.5.5 — Tulangan geser minimum

25.7.5.5.1 — Dalam semua komponen struktur lentur yang mempunyai tegangan geser rencana v lebih besar dari setengah tegangan geser izin beton v_c , harus dipasang tulangan geser minimum, kecuali pada:

- (a) Pelat dan fondasi telapak,
- (b) Konstruksi balok rusuk yang didefinisikan dalam 10.11,
- (c) Balok dengan tinggi total tidak lebih dari nilai terbesar dari 250 mm, 2,5 kali tebal sayap, atau setengah lebar badan penampang.

25.7.5.5.2 — Ketentuan tulangan geser minimum pada 25.7.5.5.1 boleh diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian bahwa kuat lentur dan geser batas yang diperlukan dapat dikembangkan walaupun tulangan gesernya dihilangkan.

25.7.5.5.3 — Bila berdasarkan ketentuan 25.7.5.5.1 ataupun berdasarkan perhitungan analisis diperlukan tulangan geser, maka luas tulangan geser minimum harus dihitung dari

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w s}{f_y} \quad (149)$$

tapi A_v tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$, dengan b_w dan s dalam milimeter.

25.7.5.6 — Perencanaan tulangan geser

(a) Bila tegangan geser rencana v lebih besar dari tegangan geser yang dapat dipikul oleh beton v_c , maka harus dipasang tulangan geser sesuai dengan 25.7.5.6(b) hingga

TATA CARA

PENJELASAN

25.7.5.6(h).

(b) Bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, maka:

$$A_v = \frac{(v - v_c)b_w s}{f_s} \quad (150)$$

(c) Bila digunakan tulangan sengkang miring, maka:

$$A_v = \frac{(v - v_c)b_w s}{f_s(\sin \alpha + \cos \alpha)} \quad (151)$$

(d) Bila tulangan geser terdiri dari tulangan tunggal atau satu kumpulan tulangan sejajar yang semuanya dibengkokkan pada jarak yang sama dari perletakan, maka:

$$A_v = \frac{(v - v_c)b_w d}{f_s \sin \alpha} \quad (152)$$

dengan $(v - v_c)$ tidak boleh melebihi $(1/8)\sqrt{f'_c}$.

(e) Bila tulangan geser terdiri dari suatu kumpulan batang tulangan sejajar yang dibengkokkan atau kumpulan dari batang tulangan sejajar yang dibengkokkan pada jarak yang berbeda dari perletakan, maka luas yang dibutuhkan harus dihitung dengan Persamaan 151.

(f) Pada setiap batang tulangan longitudinal yang dibengkokkan, yang dianggap efektif dapat menahan geser hanyalah tiga perempat bagian tengah dari bagian yang miring.

(g) Bila lebih dari satu jenis tulangan geser digunakan untuk menulangi bagian yang sama dari suatu komponen struktur, maka luas tulangan yang dibutuhkan harus dihitung sebagai jumlah dari tiap jenis tulangan secara terpisah. Dalam perhitungan tersebut nilai v_c hanya boleh dimasukkan sekali saja.

(h) Nilai $(v - v_c)$ tidak boleh melebihi $(3/8)\sqrt{f'_c}$.

25.7.6 — Geser friksi

Bilamana perlu dipertimbangkan perpindahan geser melalui suatu bidang tertentu, misalnya bidang retak yang telah ada maupun yang mungkin terjadi, bidang muka di antara dua material yang berbeda atau di antara dua adukan beton yang dicor pada waktu yang berbeda, maka ketentuan mengenai geser friksi yang terdapat pada 13.7 boleh digunakan, dengan membatasi tegangan geser maksimum sebesar 55% dari ketentuan yang diberikan 13.7.5. Tegangan ijin pada tulangan

TATA CARA

PENJELASAN

geser-friksi harus mengikuti ketentuan 25.3.2.

25.7.7 — Ketentuan khusus untuk pelat dan fondasi telapak

25.7.7.1 — Kapasitas geser pelat dan fondasi telapak disekitar beban terpusat atau gaya reaksi ditentukan oleh kondisi yang terberat dari dua kondisi berikut:

(a) Aksi balok pada pelat atau fondasi telapak, dengan penampang kritis yang memanjang pada suatu bidang yang memotong seluruh lebar dan berjarak d dari muka beban terpusat atau daerah tumpuan. Untuk kondisi ini, pelat atau fondasi telapak harus direncanakan berdasarkan 25.7.1 hingga 25.7.5.

(b) Aksi dua arah pada pelat dan fondasi telapak, dengan suatu penampang kritis yang tegak lurus terhadap bidang pelat dan terletak sedemikian hingga perimeternya minimum, tapi tidak perlu lebih dekat dari $d/2$ terhadap perimeter beban terpusat atau daerah reaksi. Untuk kondisi ini, pelat dan fondasi telapak harus direncanakan berdasarkan 25.7.2 dan 25.7.3.

25.7.7.2 — Tegangan geser rencana v harus dihitung dari

$$v = \frac{V}{b_o d} \quad (153)$$

dengan V dan b_o harus diambil pada penampang kritis yang didefinisikan pada 25.7.7.1(b).

25.7.7.3 — Tegangan geser rencana v tidak boleh melebihi v_c yang diberikan pada Persamaan 154 kecuali bila disediakan tulangan geser.

$$v_c = \frac{1}{12} \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} \quad (154)$$

tetapi v_c tidak boleh lebih besar dari $(1/6)\sqrt{f'_c}$. β_c adalah perbandingan antara sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat atau daerah tumpuan. Bila digunakan beton agregat ringan, maka modifikasi dari 25.7.4.6 harus diberlakukan.

25.7.7.4 — Bila tulangan geser terdiri dari batang tulangan atau kawat yang ditentukan berdasarkan 13.12.3, maka nilai v_c tidak boleh lebih dari $(1/12)\sqrt{f'_c}$ dan v tidak boleh lebih dari $(1/4)\sqrt{f'_c}$.

25.7.7.5 — Bila tulangan geser terdiri dari penampang baja profil I atau profil kanal (kepala geser) yang ditentukan berdasarkan 13.12.4, maka nilai v pada penampang kritis yang

TATA CARA

didefinisikan dalam 25.7.7.1(b) tidak boleh lebih dari $0,3\sqrt{f'_c}$, dan v pada penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.4.7 tidak boleh melebihi $(1/6)\sqrt{f'_c}$. Dalam Persamaan 82 dan 83, gaya geser rencana V harus dikalikan dengan 2 dan digunakan sebagai pengganti V_u .

25.7.8 — Ketentuan khusus untuk komponen lainnya

Pada perencanaan komponen struktur lentur tinggi, braket, dan dinding, ketentuan khusus pada Pasal 13 harus digunakan, dengan memperhitungkan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dan membatasi kekuatan geser maksimum sebesar 55% dari nilai yang ditentukan oleh Pasal 13. Dalam 13.10.6, gaya aksial rencana harus dikalikan dengan 1,2 untuk tekan, dan 2,0 untuk tarik, dan digunakan untuk menggantikan N_u .

25.7.9 — Komponen lentur beton komposit

Pada perencanaan komponen lentur beton komposit, tegangan geser horizontal izin v_h tidak boleh melebihi 55% dari kuat geser horisontal yang diberikan pada 19.5.2 dari tata cara ini.

PENJELASAN

DAFTAR REFERENSI PENJELASAN

Referensi, Pasal 1

1.1. Panitia Teknik Standarisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, "Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-1992)," Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pemukiman, Bandung, 1992, 185 hal.

Referensi, Pasal 3

3.1. ACI Committee 116, "Cement and Concrete Terminology (ACI 116R-90)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1990, 58 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

Referensi, Pasal 5

5.1. ACI Committee 214, "Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214-77) (Reapproved 1989)," (ANSI/ACI 214-77), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1977, 14 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

5.2. Gustafson, D. P., dan Felder, A. L., "Questions and Answers on ASTM A 706 Reinforcing Bars," *Concrete International*, V. 13, No. 7, Juli 1991, hal. 54-57.

5.3. ACI Committee 223, "Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete (ACI 223-98)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 29 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

Referensi, Pasal 6

6.1. Dikeou, J. T., "Fly Ash Increases Resistance of Concrete to Sulfate Attack," *Research Report* No. C-1224, Concrete and Structures Branch, Division of Research, U.S. Bureau of Reclamation, Jan. 1967, 25 hal.

6.2. ASTM C 1012-89, "Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution," *ASTM Book of Standards*, Part 04.01, ASTM, West Conshohocken, PA, 5 hal.

6.3. Li, S., dan Roy, D. M., "Investigation of Relations between Porosity, Pore Structure and CL Diffusion of Fly Ash and Blended Cement Pastes," *Cement and Concrete Research*, V. 16, No. 5, Sept. 1986, hal. 749-759.

6.4. ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-92)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 39 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

6.5. ACI Committee 222, "Corrosion of Metals in Concrete (ACI 222R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 30 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

6.6. Ozyildirim, C., dan Halstead, W., "Resistance to Chloride Ion Penetration of Concretes Containing Fly Ash, Silica Fume, or Slag," *Permeability of Concrete*, SP-108, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1988, hal. 35-61.

6.7. AASHTO T 277-83, "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete," American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

Referensi, Pasal 7

7.1. ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-98)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1998, 38 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

- 7.2 ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 18 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.
- 7.3. ASTM C 1077-92, "Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation," ASTM, West Conshohocken, PA, 5 hal.
- 7.4. ASTM D 3665-99, "Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials," ASTM, West Conshohocken, PA, 5 hal.
- 7.5. Bloem, D. L., "Concrete Strength Measurement—Cores vs. Cylinders," *Proceedings*, ASTM, V. 65, 1965, hal. 668-696.
- 7.6. Bloem, Delmar L., "Concrete Strength in Structures," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 65, No. 3, Mar. 1968, hal. 176-187.
- 7.7. Malhotra, V. M., *Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods*, ACI Monograph No. 9, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Farmington Hills, MI, 1976, 188 hal.
- 7.8. Malhotra, V. M., "Contract Strength Requirements—Cores Versus In Situ Evaluation," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 74, No. 4, Apr. 1977, hal. 163-172.
- 7.9. ACI Committee 304, "Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304R-89)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 49 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.
- 7.10. Newlon, H., Jr., dan Ozol, A., "Delayed Expansion of Concrete Delivered by Pumping through Aluminum Pipe Line," *Concrete Case Study* No. 20; Virginia Highway Research Council, Okt. 1969, 39 hal.
- 7.11. ACI Committee 309, "Guide for Consolidation of Concrete (ACI 309R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, 40 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.
- 7.12. ACI Committee 308, "Standard Practice for Curing Concrete (ACI 308-92)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 11 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.
- 7.13. ACI Committee 305, "Hot Weather Concreting (ACI 305R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 17 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

Referensi, Pasal 8

- 8.1. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347R-94)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, 33 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.
- 8.2. Hurd, M. K., dan ACI Committee 347, *Formwork for Concrete*, SP-4, Edisi ke-5, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 475 hal.
- 8.3. Liu, X. L.; Lee, H. M.; dan Chen, W. F., "Shoring and Reshoring of High-Rise Buildings," *Concrete International*, V. 10, No. 1, Jan. 1989, hal. 64-68.
- 8.4. ASTM C 873-99, "Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast-in-Place in Cylindrical Molds," ASTM, West Conshohocken, PA, 4 hal.
- 8.5. ASTM C 803/C 803M-97^{e1}, "Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete," ASTM, West Conshohocken, PA, 4 hal.
- 8.6. ASTM C 900, "Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete," ASTM, West Conshohocken, PA, 5 hal.
- 8.7. ASTM C 1074-87, "Estimating Concrete Strength by the Maturity Method," ASTM, West Conshohocken, PA.
- 8.8. "Power Piping (ANSI/ASME B 31.1-1992)," American Society of Mechanical Engineers, New York, 1992.

8.9. "Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping (ANSI/ASME B 31.3-1990)," American Society of Mechanical Engineers, New York, 1990.

Referensi, Pasal 9

9.1. ACI Committee 315, *ACI Detailing Manual—1994*, SP-66, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, 244 hal. Juga "Details and Detailing of Concrete Reinforcement (ACI 315-92)," dan "Manual of Engineering and Placing Drawings for Reinforced Structures (ACI 315R-94)." Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

9.2. Black, William C., "Field Corrections to Partially Embedded Reinforcing Bars," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 70, No. 10, Okt. 1973, hal. 690-691.

9.3. Stecich, J.; Hanson, J. M.; dan Rice, P. F.; "Bending and Straightening of Grade 60 Reinforcing Bars," *Concrete International: Design & Construction*, V. 6, No. 8, Agust. 1984, hal. 14-23.

9.4. Kemp, E. L.; Brezny, F. S.; dan Unterspan, J. A., "Effect of Rust and Scale on the Bond Characteristics of Deformed Reinforcing Bars," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 65, No. 9, Sept. 1968, hal. 743-756.

9.5. Sason, A. S. "Evaluation of Degree of Rusting on Prestressed Concrete Strand," *PCI Journal*, V. 37, No. 3, Mei-Juni 1992, hal. 25-30.

9.6. ACI Committee 117, "Standard Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-90)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 22 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

9.7. *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete*, Edisi ke-4, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1992, 580 hal.

9.8. ACI Committee 408, "Bond Stress—The State of the Art," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 63, No. 11, Nop. 1966, hal. 1161-1188.

9.9. "Standard Specifications for Highway Bridges," Edisi ke-15, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1992, 686 hal.

9.10. Deatherage, J. H., Burdette, E. G. dan Chew, C. K., "Development Length and Lateral Spacing Requirements of Prestressing Strand for Prestressed Concrete Bridge Girders," *PCI Journal*, V. 39, No. 1, Jan.-Peb. 1994, hal. 70-83.

9.11. Russell, B. W., dan Burns, N. H. "Measured Transfer Lengths of 0.5 and 0.6 in. Strands in Pretensioned Concrete," *PCI Journal*, V. 41, No. 5, Sept.-Okt. 1996, hal. 44-65.

9.12. Hanson, N. W., dan Conner, H. W., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *Proceedings*, ASCE, V. 93, ST5, Okt. 1967, hal. 533-560.

9.13. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 18 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*.

9.14. Pfister, J. F., "Influence of Ties on the Behavior of Reinforced Concrete Columns," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 61, No. 5, Mei 1964, hal. 521-537.

9.15. Gilbert, R. I., "Shrinkage Cracking in Fully Restrained Concrete Members," *ACI Structural Journal*, V. 89, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 141-149.

9.16. "Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete," MNL-123-88, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1988, 270 hal.

9.17. PCI Building Code Committee, "Proposed Design Requirements for Precast Concrete," *PCI Journal*, V. 31, No. 6, Nop.-Des. 1986, hal. 32-47.

Referensi, Pasal 10

- 10.1. Fintel, M.; Ghosh, S. K.; dan Iyengar, H., *Column Shortening in Tall Buildings—Prediction and Compensation*, EB108D, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1986, 34 hal.
- 10.2. Cohn, M. Z., "Rotational Compatibility in the Limit Design of Reinforced Concrete Continuous Beams," *Flexural Mechanics of Reinforced Concrete*, SP-12, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Farmington Hills, MI, 1965, hal. 359-382.
- 10.3. Mattock, A. H., "Redistribution of Design Bending Moments in Reinforced Concrete Continuous Beams," *Proceedings*, Institution of Civil Engineers (London), V. 13, 1959, hal. 35-46.
- 10.4. Pauw, Adrian, "Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 57, No. 6, Des. 1960, hal. 679-687.
- 10.5. ASTM C 469-94, "Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression," ASTM, West Conshohocken, PA.
- 10.6. "Handbook of Frame Constants," Portland Cement Association, Skokie, IL, 1972, 34 hal.
- 10.7. "Continuity in Concrete Building Frames," Portland Cement Association, Skokie, IL, 1959, 56 hal.

Referensi, Pasal 11

- 11.1. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," ASCE 7-98, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 337 hal.
- 11.2. "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA, 2000.
- 11.3. Panitia Teknik Standarisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)," Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pemukiman, Bandung, 2002, 85 hal.
- 11.4. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-93)," ASCE, New York, 1993, 134 hal.
- 11.5. "BOCA National Building Code, 13th Edition," Building Officials and Code Administration International, Inc., Country Club Hills, IL, 1993, 357 hal.
- 11.6. "Standard Building Code," Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, AL, 1994, 656 hal.
- 11.7. "Uniform Building Code, V. 2, Structural Engineering Design Provisions," International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 hal.
- 11.8. MacGregor, J. G., "Safety and Limit States Design for Reinforced Concrete," *Canadian Journal of Civil Engineering*, V. 3, No. 4, Des. 1976, hal. 484-513.
- 11.9. Winter, G., "Safety and Serviceability Provisions in the ACI Building Code," *Concrete Design: U.S. and European Practices*, SP-59, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1979, hal. 35-49.
- 11.10. *Deflections of Concrete Structures*, SP-43, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1974, 637 hal.
- 11.11. ACI Committee 213, "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete (ACI 213R-87)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1987, 27 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1.
- 11.12. Branson, D. E., "Instantaneous and Time-Dependent Deflections on Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams," *HPR Report No. 7, Part 1*, Alabama Highway Department, Bureau of Public Roads, August. 1965, hal. 1-78.

- 11.13. ACI Committee 435, "Deflections of Reinforced Concrete Flexural Members (ACI 435.2R-66) (Reapproved 1989)," ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 63, No. 6, Juni 1966, hal. 637-674. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- 11.14. Subcommittee 1, ACI Committee 435, "Allowable Deflections (ACI 435.3R-68) (Reapproved 1989)," ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 65, No. 6, Juni 1968, hal. 433-444. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- 11.15. Subcommittee 2, ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (ACI 209R-92)," *Designing for the Effects of Creep, Shrinkage, and Temperature in Concrete Structures*, SP-27, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1971, hal. 51-93.
- 11.16. ACI Committee 435, "Deflections of Continuous Concrete Beams (ACI 435.5R-73) (Reapproved 1989)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1973, 7 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4.
- 11.17. ACI Committee 435, "Proposed Revisions by Committee 435 to ACI Building Code and Commentary Provisions on Deflections," ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 75, No. 6, Juni 1978, hal. 229-238.
- 11.18. Branson, D. E., "Compression Steel Effect on Long-Time Deflections," ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 68, No. 8, Agust. 1971, hal. 555-559.
- 11.19. Branson, D. E., *Deformation of Concrete Structures*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1977, 546 hal.
- 11.20. Shaikh, A. F., dan Branson, D. E., "Non-Tensioned Steel in Prestressed Concrete Beams," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 15, No. 1, Feb. 1970, hal. 14-36.
- 11.21. Branson, D. E., discussion of "Proposed Revision of ACI 318-63: Building Code Requirements for Reinforced Concrete," by ACI Committee 318, ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 67, No. 9, Sept. 1970, hal. 692-695.
- 11.22. Subcommittee 5, ACI Committee 435, "Deflections of Prestressed Concrete Members (ACI 435.1R-63) (Reapproved 1989)," ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 60, No. 12, Des. 1963, hal. 1697-1728. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4.
- 11.23. Branson, D. E.; Meyers, B. L.; dan Kripanarayanan, K. M., "Time-Dependent Deformation of Noncomposite and Composite Prestressed Concrete Structures," *Symposium on Concrete Deformation*, Highway Research Record 324, Highway Research Board, 1970, hal. 15-43.
- 11.24. Ghali, A., dan Favre, R., *Concrete Structures: Stresses and Deformations*, Chapman and Hall, New York, 1986, 348 hal.

Referensi, Pasal 12

- 12.1. Nedderman, H., "Flexural Stress Distribution in Extra High Strength Concrete," MS thesis, University of Texas at Arlington, 1973.
- 12.2. Karr, P. H.; Hanson, N. W; dan Capell, H. T.; "Stress-Strain Characteristics of High Strength Concrete," *Douglas McHenry International Symposium on Concrete and Concrete Structures*, SP-55, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1978, hal. 161-185. Juga, *R/D Serial* 1541, Portland Cement Association.
- 12.3. Mattock, A. H.; Kriz, L. B.; dan Hognestad, E., "Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design," ACI JOURNAL, *Proceedings* V. 57, No. 8, Feb. 1961, hal. 875-928. Juga, *Development Department Bulletin* D49, Portland Cement Association.
- 12.4. *ACI Design Handbook, Vol. 2—Columns*, SP-17A(90), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1990, hal. 161-163 dan 207-221.
- 12.5. *CRSI Handbook*, 7th Edition, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, Ill., 1992, 840 hal.

- 12.6. Bresler, B., "Design Criteria for Reinforced Concrete Columns under Axial Load and Biaxial Bending," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 57, No. 5, Nop. 1960, hal. 481-490.
- 12.7. Parme, A. L.; Nieves, J. M.; dan Gouwens, A., "Capacity of Reinforced Rectangular Columns Subjected to Biaxial Bending," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 63, No. 9, Sept. 1966, hal. 911-923.
- 12.8. Heimdahl, P. D., dan Bianchini, A. C., "Ultimate Strength of Biaxially Eccentrically Loaded Concrete Columns Reinforced with High Strength Steel," *Reinforced Concrete Columns*, SP-50, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1975, hal. 100-101.
- 12.9. Furlong, R. W., "Concrete Columns Under Biaxially Eccentric Thrust," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 76, No. 10, Okt. 1979, hal. 1116.
- 12.10. Hansell, W., dan Winter, G., "Lateral Stability of Reinforced Concrete Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 56, No. 3, Sept. 1959, hal. 193-214.
- 12.11. Sant, J. K., dan Bletzacker, R. W., "Experimental Study of Lateral Stability of Reinforced Concrete Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 58, No. 6, Des. 1961, hal. 713-736.
- 12.12. Gergely, P., dan Lutz, L. A., "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members," *Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete*, SP-20, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1968, hal. 87-117.
- 12.13. Kaar, P. H., "High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 8: Similitude in Flexural Cracking of T-Beam Flanges," *Journal, PCA Research and Development Laboratories*, V. 8, No. 2, Mei 1966, hal. 2-12. Juga, *Development Department Bulletin D106*, Portland Cement Association.
- 12.14. Base, G. D.; Reed, J. B.; Beeby, A. W.; dan Taylor, H. P. J., "An Investigation of the Crack Control Characteristics of Various Types of Bar in Reinforced Concrete Beams," *Research Report No. 18*, Cement and Concrete Association, London, Des. 1966, 44 hal.
- 12.15. Beeby, A. W., "The Prediction of Crack Widths in Hardened Concrete," *The Structural Engineer*, V. 57A, No. 1, UK, Jan. 1979, hal. 9-17.
- 12.16. Frosch, R. J., "Another Look at Cracking and Crack Control in Reinforced Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 3, Mei-Juni 1999, hal. 437-442.
- 12.17. ACI Committee 318, "Closure to Public Comments on ACI 318-99," *Concrete International*, Mei 1999, hal. 318-1 sampai 318-50.
- 12.18. Darwin, D., et al., "Debate: Crack Width, Cover, and Corrosion," *Concrete International*, V. 7, No. 5, Mei 1985, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., hal. 20-35.
- 12.19. Oesterle, R. G., "The Role of Concrete Cover in Crack Control Criteria and Corrosion Protection," RD Serial No. 2054, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1997.
- 12.20. Chow, L.; Conway, H.; dan Winter, G., "Stresses in Deep Beams," *Transactions, ASCE*, V. 118, 1953, hal. 686-708.
- 12.21. "Design of Deep Girders," IS079D, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1946, 10 hal.
- 12.22. Park, R., dan Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, Wiley-Inter-Science, New York, 1975, 769 hal.
- 12.23. Furlong, R. W., "Column Slenderness and Charts for Design," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 68, No. 1, Jan. 1971, hal. 9-18.
- 12.24. "Reinforced Concrete Column Investigation—Tentative Final Report of Committee 105," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 29, No. 5, Feb. 1933, hal. 275-282.
- 12.25. MacGregor, J. G., "Design of Slender Concrete Columns—Revisited," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 3, Mei-Juni 1993, hal. 302-309.

- 12.26. MacGregor, J. G.; Breen, J. E.; dan Pfrang, E. O., "Design of Slender Concrete Columns," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 67, No. 1, Jan. 1970, hal. 6-28.
- 12.27. Ford, J. S.; Chang, D. C.; dan Breen, J. E., "Design Indications from Tests of Unbraced Multipanel Concrete Frames," *Concrete International: Design and Construction*, V. 3, No. 3, Mar. 1981, hal. 37-47.
- 12.28. MacGregor, J. G., dan Hage, S. E., "Stability Analysis and Design Concrete," *Proceedings, ASCE*, V. 103, No. ST 10, Okt. 1977.
- 12.29. Grossman, J. S., "Slender Concrete Structures—The New Edge," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 1, Jan.-Feb. 1990, hal. 39-52.
- 12.30. Grossman, J. S., "Reinforced Concrete Design," *Building Structural Design Handbook*, R. N. White dan C. G. Salmon, eds., John Wiley and Sons, New York, 1987.
- 12.31. "Guide to Design Criteria for Metal Compression Members," 2nd Edition, Column Research Council, Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University, Bethlehem, Penn., 1966.
- 12.32. ACI Committee 340, *Design Handbook in Accordance with the Strength Design Method of ACI 318-77, V. 2—Columns*, SP-17A(78), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1978, 228 hal.
- 12.33. "Code of Practice for the Structural Use of Concrete, Part 1. Design Materials and Workmanship," CP110: Part 1, Nop. 1972, British Standards Institution, London, 1972, 154 hal.
- 12.34. Cranston, W. B., "Analysis and Design of Reinforced Concrete Columns," *Research Report* No. 20, Paper 41.020, Cement and Concrete Association, London, 1972, 54 hal.
- 12.35. Mirza, S. A.; Lee, P. M.; dan Morgan, D. L., "ACI Stability Resistance Factor for RC Columns," *ASCE Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, V. 113, No. 9, Sept. 1987, hal. 1963-1976.
- 12.36. Mirza, S. A., "Flexural Stiffness of Rectangular Reinforced Concrete Columns," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 4, Juli-Agust. 1990, hal. 425-435.
- 12.37. Lai, S. M. A., dan MacGregor, J. G., "Geometric Nonlinearities in Unbraced Multistory Frames," *ASCE Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, V. 109, No. 11, Nop. 1983, hal. 2528-2545.
- 12.38. Bianchini, A. C.; Woods, Robert E.; dan Kesler, C. E., "Effect of Floor Concrete Strength on Column Strength," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 56, No. 11, Mei 1960, hal. 1149-1169.
- 12.39. Ospina, C. E., and Alexander, S. D. B., "Transmission of Interior Concrete Column Loads through Floors," *ASCE Journal of Structural Engineering*, V. 124, No. 6, 1998.
- 12.40. Everard, N. J., dan Cohen, E., "Ultimate Strength Design of Reinforced Concrete Columns," SP-7, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1964, 182 hal.
- 12.41. Hawkins, N. M., "Bearing Strength of Concrete Loaded through Rigid Plates," *Magazine of Concrete Research* (London), V. 20, No. 62, Mar. 1968, hal. 31-40.

Referensi, Pasal 13

- 13.1. ACI-ASCE Committee 426, "Shear Strength of Reinforced Concrete Members (ACI 426R-74) (Reapproved 1980)," *Proceedings, ASCE*, V. 99, No. ST6, Juni 1973, hal. 1148-1157. Lihat juga Referensi 13.43.
- 13.2. MacGregor, J. G., dan Hanson, J. M., "Proposed Changes in Shear Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 66, No. 4, Apr. 1969, hal. 276-288.

- 13.3.** ACI-ASCE Committee 326 (sekarang 426), "Shear and Diagonal Tension," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 59, No. 1, Jan. 1962, hal. 1-30; No. 2, Feb. 1962, hal. 277-334; dan No. 3, Mar. 1962, hal. 352-396.
- 13.4.** Barney, G. B.; Corley, W. G.; Hanson, J. M.; dan Parmelee, R. A., "Behavior and Design of Prestressed Concrete Beams with Large Web Openings," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 6, Nop.-Des. 1977, hal. 32-61. Juga, *Research and Development Bulletin* RD054D, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- 13.5.** Schlaich, J.; Schafer, K.; dan Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 32, No. 3, Mei-Juni 1987, hal. 74-150.
- 13.6.** Joint Committee, "Recommended Practice and Standard Specification for Concrete and Reinforced Concrete," *Proceedings*, ASCE, V. 66, No. 6, Part 2, Juni 1940, 81 hal.
- 13.7.** Mphonde, A. G., dan Frantz, G. C., "Shear Tests of High- and Low-Strength Concrete Beams without Stirrups," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 81, No. 4, Juli-Agust. 1984, hal. 350-357.
- 13.8.** Elzanaty, A. H.; Nilson, A. H.; dan Slate, F. O., "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High Strength Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 83, No. 2, Mar.-Apr. 1986, hal. 290-296.
- 13.9.** Roller, J. J., dan Russell, H. G., "Shear Strength of High-Strength Concrete Beams with Web Reinforcement," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-Apr. 1990, hal. 191-198.
- 13.10.** Hanson, J. A., "Tensile Strength and Diagonal Tension Resistance of Structural Lightweight Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 58, No. 1, Juli 1961, hal. 1-40.
- 13.11.** Ivey, D. L., dan Buth, E., "Shear Capacity of Lightweight Concrete Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 64, No. 10, Okt. 1967, hal. 634-643.
- 13.12.** Kani, G. N. J., "Basic Facts Concerning Shear Failure," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 63, No. 6, Juni 1966, hal. 675-692.
- 13.13.** Kani, G. N. J., "How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 64, No. 3, Mar. 1967, hal. 128-141.
- 13.14.** Faradji, M. J., dan Diaz de Cossio, R., "Diagonal Tension in Concrete Members of Circular Section" (dalam bahasa Spanyol) Institut de Ingenieria, Mexico (translasi oleh Portland Cement Association, Foreign Literature Study No. 466).
- 13.15.** Khalifa, J. U., dan Collins, M. P., "Circular Reinforced Concrete Members Subjected to Shear," Publications No. 81-08, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Des. 1981.
- 13.16.** *PCI Design Handbook—Precast and Prestressed Concrete*, 4th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1992, 580 hal.
- 13.17.** ACI Committee 318, "Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-63)," SP-10, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1965, hal. 78-84.
- 13.18.** Guimares, G. N.; Kreger, M. E.; dan Jirsa, J. O., "Evaluation of Joint-Shear Provisions for Interior Beam-Column-Slab Connections Using High Strength Materials," *ACI Structural Journal*, V. 89, No. 1, Jan.-Feb. 1992, hal. 89-98.
- 13.19.** Griezic, A.; Cook, W. D.; dan Mitchell, D., "Tests to Determine Performance of Deformed Welded-Wire Fabric Stirrups," *ACI Structural Journal*, V. 91, No. 2, Mar.-Apr. 1994, hal. 211-220.
- 13.20.** Furlong, R. W.; Fenves, G. L.; dan Kasl, E. P., "Welded Structural Wire Reinforcement for Columns," *ACI Structural Journal*, V. 88, No. 5, Sept.-Okt. 1991, hal. 585-591.
- 13.21.** Angelakos, D.; Bentz, E. C.; and Collins, M. D., "Effect of Concrete Strength and Minimum Stirrups on Shear Strength of Large Members," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 3, Mei-Juni 2001, hal. 290-300.

- 13.22. Olesen, S. E., Sozen, M. A., dan Siess, C. P., "Investigation of Prestressed Reinforced Concrete for Highway Bridges, Part IV: Strength in Shear of Beams with Web Reinforcement," *Bulletin* No. 493, University of Illinois, Engineering Experiment Station, Urbana, 1967.
- 13.23. Anderson, N. S., dan Ramirez, J. A., "Detailing of Stirrup Reinforcement," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 5, Sept.-Okt. 1989, hal. 507-515.
- 13.24. Leonhardt, F., dan Walther, R., "The Stuttgart Shear Tests," *C&CA Translation*, No. 111, Cement and Concrete Association, 1964, London, 134 hal.
- 13.25. MacGregor, J. G., dan Ghoneim, M. G., "Design for Torsion," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 2, Mar.-Apr. 1995, hal. 211-218.
- 13.26. Collins, M. P., dan Lampert, P., "Redistribution of Moments at Cracking—The Key to Simpler Torsion Design?" *Analysis of Structural Systems for Torsion*, SP-35, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1973, hal. 343-383.
- 13.27. Hsu, T. T. C., dan Burton, K. T., "Design of Reinforced Concrete Spandrel Beams," *Proceedings*, ASCE, V. 100, No. ST1, Jan. 1974, hal. 209-229.
- 13.28. Hsu, T. C., "Shear Flow Zone in Torsion of Reinforced Concrete," *ASCE Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, V. 116, No. 11, Nop. 1990, hal. 3206-3226.
- 13.29. Mitchell, D., dan Collins, M. P., "Detailing for Torsion," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 73, No. 9, Sept. 1976, hal. 506-511.
- 13.30. Behera, U., dan Rajagopalan, K. S., "Two-Piece U-Stirrups in Reinforced Concrete Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 66, No. 7, Juli 1969, hal. 522-524.
- 13.31. Birkeland, P. W., dan Birkeland, H. W., "Connections in Precast Concrete Construction," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 63, No. 3, Mar. 1966, hal. 345-368.
- 13.32. Mattock, A. H., dan Hawkins, N. M., "Shear Transfer in Reinforced Concrete—Recent Research," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 17, No. 2, Mar.-Apr. 1972, hal. 55-75.
- 13.33. Mattock, A. H.; Li, W. K.; dan Want, T. C., "Shear Transfer in Lightweight Reinforced Concrete," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 21, No. 1, Jan.-Peb. 1976, hal. 20-39.
- 13.34. Mattock, A. H., "Shear Transfer in Concrete Having Reinforcement at an Angle to the Shear Plane," *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1974, hal. 17-42.
- 13.35. Mattock, A. H., discussion of "Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal Loads," by PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings, *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 3, Mei-Juni 1977, hal. 105-106.
- 13.36. "Chapter 1—Composite Members," *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel for Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Sept. 1986, hal. 51-58.
- 13.37. Mattock, A. H.; Johal, L.; dan Chow, H. C., "Shear Transfer in Reinforced Concrete with Moment or Tension Acting Across the Shear Plane," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 20, No. 4, Juli-Agust. 1975, hal. 76-93.
- 13.38. Rogowsky, D. M., dan MacGregor, J. G., "Design of Reinforced Concrete Deep Beams," *Concrete International: Design and Construction*, V. 8, No. 8, Agust. 1986, hal. 46-58.
- 13.39. Marti, P., "Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 82, No. 1, Jan.-Peb. 1985, hal. 46-56.
- 13.40. Crist, R. A., "Shear Behavior of Deep Reinforced Concrete Beams," *Proceedings*, Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structural Elements (Mexico City, 1966), V. 4, RILEM, Paris, 31 hal.

- 13.41.** Kriz, L. B., dan Raths, C. H., "Connections in Precast Concrete Structures—Strength of Corbels," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 10, No. 1, Feb. 1965, hal. 16-47.
- 13.42.** Mattock, A. H.; Chen, K. C.; dan Soongswang, K., "The Behavior of Reinforced Concrete Corbels," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 21, No. 2, Mar.-Apr. 1976, hal. 52-77.
- 13.43.** Cardenas, A. E.; Hanson, J. M.; Corley, W. G.; dan Hognestad, E., "Design Provisions for Shear Walls," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 70, No. 3, Mar. 1973, hal. 221-230. Juga *Research and Development Bulletin* RD028D, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- 13.44.** Barda, F.; Hanson, J. M.; dan Corley, W. G., "Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements," *Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones*, SP-53, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1977, hal. 149-202. Juga, *Research and Development Bulletin* RD043.01D, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- 13.45.** Hanson, N. W., dan Conner, H. W., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *Proceedings, ASCE*, V. 93, ST5, Okt. 1967, hal. 533-560. Juga, *Development Department Bulletin* D121, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1967, 36 hal.
- 13.46.** ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1991, 18 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.
- 13.47.** ACI-ASCE Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members," *Proceedings, ASCE*, V. 100, No. ST8, Agust. 1974, hal. 1543-1591.
- 13.48.** Vanderbilt, M. D., "Shear Strength of Continuous Plates," *Journal of the Structural Division, ASCE*, V. 98, No. ST5, Mei 1972, hal. 961-973.
- 13.49.** ACI-ASCE Committee 423, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons (ACI 423.3R-89)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 18 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.
- 13.50.** Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Scale Model of Post-Tensioned Flat Plate," *Proceedings, ASCE*, V. 103, ST6, Juni 1977, hal. 1237-1255.
- 13.51.** Hawkins, N. M., "Shear Strength of Slabs with Shear Reinforcement," *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, V. 2, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1974, hal. 785-815.
- 13.52.** Corley, W. G., dan Hawkins, N. M., "Shearhead Reinforcement for Slabs," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 65, No. 10, Okt. 1968, hal. 811-824.
- 13.53.** Hanson, N. W., dan Hanson, J. M., "Shear and Moment Transfer between Concrete Slabs and Columns," *Journal, PCA Research and Development Laboratories*, V. 10, No. 1, Jan. 1968, hal. 2-16. Juga, *Development Department Bulletin* D129, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1968, 16 hal.
- 13.54.** Hawkins, N. M., "Lateral Load Resistance of Unbonded Post-Tensioned Flat Plate Construction," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 26, No. 1, Jan.-Feb. 1981, hal. 94-115.
- 13.55.** Hawkins, N. M., dan Corley, W. G., "Moment Transfer to Columns in Slabs with Shearhead Reinforcement," *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1974, hal. 847-879. Juga, *Research and Development Bulletin* RD-37.01D, Portland Cement Association, Skokie, Ill.

Referensi, Pasal 14

- 14.1.** ACI Committee 408, "Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension," (ACI 408.1R-90), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1990, 3 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.

- 14.2. Jirsa, J. O.; Lutz, L. A.; dan Gergely, P., "Rationale for Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension," *Concrete International: Design & Construction*, V. 1, No. 7, Juli 1979, hal. 47-61.
- 14.3. Jirsa, J. O., dan Breen, J. E., "Influence of Casting Position and Shear on Development and Splice Length—Design Recommendations," *Research Report 242-3F*, Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin, Nop. 1981.
- 14.4. Jeanty, P. R.; Mitchell, D.; dan Mirza, M. S., "Investigation of 'Top Bar' Effects in Beams," *ACI Structural Journal* V. 85, No. 3, Mei-Juni 1988, hal. 251-257.
- 14.5. Treece, R. A., "Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars," Master's thesis, Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, Mei 1987.
- 14.6. Johnston, D. W., dan Zia, P., "Bond Characteristics of Epoxy-Coated Reinforcing Bars," Department of Civil Engineering, North Carolina State University, *Report No. FHWA/NC/82-002*, Agust. 1982.
- 14.7. Mathey, R. G., dan Clifton, J. R., "Bond of Coated Reinforcing Bars in Concrete," *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 102, No. ST1, Jan. 1976, hal. 215-228.
- 14.8. Orangun, C. O.; Jirsa, J. O.; dan Breen, J. E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 74, No. 3, Mar. 1977, hal. 114-122.
- 14.9. Hamad, B. S.; Jirsa, J. O.; dan D'Abreu, N. I., "Anchorage Strength of Epoxy-Coated Hooked Bars," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 2, Mar.-Apr. 1993, hal. 210-217.
- 14.10. Bartoletti, S. J., dan Jirsa, J. O., "Effects of Epoxy-Coating on Anchorage and Splices of Welded Wire Fabric," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 6, Nop.-Des. 1995, hal. 757-764.
- 14.11. Kaar, P., dan Magura, D., "Effect of Strand Blanketing on Performance of Pretensioned Girders," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 10, No. 6, Des. 1965, hal. 20-34. Juga, *Development Department Bulletin D97*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1965, 15 hal.
- 14.12. Hanson, N. W., dan Kaar, P. H., "Flexural Bond Tests Pretensioned Beams," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 55, No. 7, Jan. 1959, hal. 783-802. Juga, *Development Department Bulletin D28*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1959, 20 hal. ↻
- 14.13. Kaar, P. H.; La Fraugh, R. W.; dan Mass, M. A., "Influence of Concrete Strength on Strand Transfer Length," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 8, No. 5, Okt. 1963, hal. 47-67. Juga, *Development Department Bulletin D71*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., Okt. 1963, 21 hal.
- 14.14. Martin, L., and Korkosz, W., "Strength of Prestressed Members at Sections Where Strands Are Not Fully Developed," *PCI Journal*, V. 40, No. 5, Sept.-Okt. 1995, hal. 58-66.
- 14.15. *PCI Design Handbook — Precast and Prestressed Concrete*, 5th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1998, hal. 4-27 sampai 4-29.
- 14.16. Rabbat, B. G.; Kaar, P. H.; Russell, H. G.; dan Bruce, R. N., Jr., "Fatigue Tests of Pretensioned Girders with Blanketed and Draped Strands," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 24, No. 4, Juli-Agust. 1979, hal. 88-114. Juga, *Research and Development Bulletin RD062*, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- 14.17. ACI Committee 408, "Bond Stress—The State of the Art," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 63, No. 11, Nop. 1966, hal. 1161-1188.
- 14.18. Rogowsky, D. M., dan MacGregor, J. G., "Design of Reinforced Concrete Deep Beams," *Concrete International: Design & Construction*, V. 8, No. 8, Agust. 1986, hal. 46-58.
- 14.19. Joint PCI/WRI Ad Hoc Committee on Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement, "Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 25, No. 4, Juli-Agust. 1980, hal. 32-36.

- 14.20. Pfister, J. F., dan Mattock, A. H., "High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 5: Lapped Splices in Concentrically Loaded Columns," *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 5, No. 2, Mei 1963, hal. 27-40.
- 14.21. Lloyd, J. P., dan Kesler, C. E., "Behavior of One-Way Slabs Reinforced with Deformed Wire and Deformed Wire Fabric," *T&AM Report* No. 323, University of Illinois, 1969, 129 hal.
- 14.22. Lloyd, J. P., "Splice Requirements for One-Way Slabs Reinforced with Smooth Welded Wire Fabric," *Publication* No. R(S)4, Civil Engineering, Oklahoma State University, Juni 1971, 37 hal.

Referensi, Pasal 15

- 15.1. Mitchell, D., dan Cook, W. D., "Preventing Progressive Collapse of Slab Structures," *Journal of Structural Engineering*, V. 110, No. 7, Juli 1984, hal. 1513-1532.
- 15.2. Carpenter, J. E.; Kaar, P. H.; dan Corley, W. G., "Design of Ductile Flat-Plate Structures to Resist Earthquakes," *Proceedings*, Fifth World Conference on Earthquake Engineering Rome, Juni 1973, International Association for Earthquake Engineering, V. 2, hal. 2016-2019. Juga, *Research and Development Bulletin* RD035.01D, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- 15.3. Morrison, D. G., dan Sozen, M. A., "Response to Reinforced Concrete Plate-Column Connections to Dynamic and Static Horizontal Loads," *Civil Engineering Studies, Structural Research Series* No. 490, University of Illinois, Urbana, Apr. 1981, 249 hal.
- 15.4. Vanderbilt, M. D., dan Corley, W. G., "Frame Analysis of Concrete Buildings," *Concrete International: Design and Construction*, V. 5, No. 12, Des. 1983, hal. 33-43.
- 15.5. Grossman, J. S., "Code Procedures, History, and Shortcomings: Column-Slab Connections," *Concrete International*, V. 11, No. 9, Sept. 1989, hal. 73-77.
- 15.6. Moehle, J. P., "Strength of Slab-Column Edge Connections," *ACI Structural Journal*, V. 85, No. 1, Jan.-Peb. 1988, hal. 89-98.
- 15.7. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352.1R-89)," *ACI Structural Journal*, V. 85, No. 6, Nop.-Des. 1988, hal. 675-696.
- 15.8. Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Pattern Loadings on Reinforced Concrete Floor Slabs," *Proceedings*, ASCE, V. 95, No. ST6, Juni 1969, hal. 1117-1137.
- 15.9. Nichols, J. R., "Statical Limitations upon the Steel Requirement in Reinforced Concrete Flat Slab Floors," *Transactions*, ASCE, V. 77, 1914, hal. 1670-1736.
- 15.10. Corley, W. G.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Equivalent-Frame Analysis for Reinforced Concrete Slabs," *Civil Engineering Studies, Structural Research Series* No. 218, University of Illinois, Juni 1961, 166 hal.
- 15.11. Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Effects of Pattern Loadings on Reinforced Concrete Floor Slabs," *Civil Engineering Studies, Structural Research Series* No. 269, University of Illinois, Juli 1963.
- 15.12. Corley, W. G., dan Jirsa, J. O., "Equivalent Frame Analysis for Slab Design," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 67, No. 11, Nop. 1970, hal. 875-884.
- 15.13. Gamble, W. L., "Moments in Beam Supported Slabs," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 69, No. 3, Mar. 1972, hal. 149-157.

Referensi, Pasal 16

- 16.1. Oberlander, G. D., dan Everard, N. J., "Investigation of Reinforced Concrete Walls," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 74, No. 6, Juni 1977, hal. 256-263.

- 16.2. Kripanarayanan, K. M., "Interesting Aspects of the Empirical Wall Design Equation," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 74, No. 5, Mei 1977, hal. 204-207.
- 16.3. Athey, J. W., ed., "Test Report on Slender Walls," Southern California Chapter of the American Concrete Institute and Structural Engineers Association of Southern California, Los Angeles, Calif., 1982, 129 hal.
- 16.4. ACI Committee 551, "Tilt-Up Concrete Structures (ACI 551R-92)," *Manual of Concrete Practice*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., hal. 551R-1 sampai 551R-46.
- 16.5. Carter III, J. W., Hawkins, N. M., dan Wood, S. L. "Seismic Response of Tilt-Up Construction," *Civil Engineering Series, SRS No. 581*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Des. 1993, 224 hal.

Referensi, Pasal 17

- 17.1. ACI Committee 336, "Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats (ACI 336.2R-88)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1988, 21 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4.
- 17.2. Kramrisch, F., dan Rogers, P., "Simplified Design of Combined Footings," *Proceedings, ASCE*, V. 87, No. SM5, Okt. 1961, hal. 19.
- 17.3. *CRSI Handbook*, 7th Edition, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, Ill., 1992, 840 hal.

Referensi, Pasal 18

- 18.1. *Industrialization in Concrete Building Construction*, SP-48, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1975, 240 hal.
- 18.2. Waddell, J. J., "Precast Concrete: Handling and Erection," *Monograph No. 8*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1974, 146 hal.
- 18.3. "Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete," MNL-123-88, 2nd Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1988, 270 hal.
- 18.4. *PCI Design Handbook—Precast and Prestressed Concrete*, MNL-120-92, 4th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1992, 580 hal.
- 18.5. "Design of Prefabricated Concrete Buildings for Earthquake Loads," *Proceedings of Workshop*, Apr. 27-29, 1981, ATC-8, Applied Technology Council, Redwood City, Calif., 717 hal.
- 18.6. PCI Committee on Building Code dan PCI Technical Activities Committee, "Proposed Design Requirements for Precast Concrete," *PCI Journal*, V. 31, No. 6, Nop.-Des. 1986, hal. 32-47.
- 18.7. ACI-ASCE Committee 550, "Design Recommendations for Precast Concrete Structures (ACI 550R-93)," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 1, Jan.-Peb. 1993, hal. 115-121. Juga in *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 5.
- 18.8. ACI Committee 551, "Tilt-Up Concrete Structures (ACI 551R-92)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1992. Juga in *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 5.
- 18.9. *Manual for Quality Control for Plants and Production of Precast and Prestressed Concrete Products*, MNL-116-85, 3rd Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1985, 123 hal.
- 18.10. "Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete," MNL-117-77, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1977, 226 hal.

- 18.11. PCI Committee on Tolerances, "Tolerances for Precast and Prestressed Concrete," *PCI Journal*, V. 30, No. 1, Jan.-Peb. 1985, hal. 26-112.
- 18.12. ACI Committee 117, "Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary (ACI 117-90/ACI 117R-90)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1990. Juga in *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 5.
- 18.13. LaGue, D. J., "Load Distribution Tests on Precast Prestressed Hollow-Core Slab Construction," *PCI Journal*, V. 16, No. 6, Nop.-Des. 1971, hal. 10-18.
- 18.14. Johnson, T., dan Ghadiali, Z., "Load Distribution Test on Precast Hollow Core Slabs with Openings," *PCI Journal*, V. 17, No. 5, Sept.-Okt. 1972, hal. 9-19.
- 18.15. Pfeifer, D. W., dan Nelson, T. A., "Tests to Determine the Lateral Distribution of Vertical Loads in a Long-Span Hollow-Core Floor Assembly," *PCI Journal*, V. 28, No. 6, Nop.-Des. 1983, hal. 42-57.
- 18.16. Stanton, J., "Proposed Design Rules for Load Distribution in Precast Concrete Decks," *ACI Structural Journal*, V. 84, No. 5, Sept.-Okt. 1987, hal. 371-382.
- 18.17. *PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs*, MNL-126-85, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1985, 120 hal.
- 18.18. Stanton, J. F., "Response of Hollow-Core Floors to Concentrated Loads," *PCI Journal*, V. 37, No. 4, Juli-Agust. 1992, hal. 98-113.
- 18.19. Aswad, A., dan Jacques, F. J., "Behavior of Hollow-Core Slabs Subject to Edge Loads," *PCI Journal*, V. 37, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 72-84.
- 18.20. "Design of Concrete Structures for Buildings," CAN3-A23.3-M84, and "Precast Concrete Materials and Construction," CAN3-A23.4-M84, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada.
- 18.21. "Design and Construction of Large-Panel Concrete Structures," six reports, 762 hal., 1976-1980, EB 100D; three studies, 300 hal., 1980, EB 102D, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- 18.22. PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings, "Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal Loads," *PCI Journal*, V. 21, No. 2, Mar.-Apr. 1976, hal. 18-51.
- 18.23. Salmons, J. R., dan McCrate, T. E., "Bond Characteristics of Untensioned Prestressing Strand," *PCI Journal*, V. 22, No. 1, Jan.-Peb. 1977, hal. 52-65.
- 18.24. PCI Committee on Quality Control and Performance Criteria, "Fabrication and Shipment Cracks in Prestressed Hollow-Core Slabs and Double Tees," *PCI Journal*, V. 28, No. 1, Jan.-Peb. 1983, hal. 18-39.
- 18.25. PCI Committee on Quality Control and Performance Criteria, "Fabrication and Shipment Cracks in Precast or Prestressed Beams and Columns," *PCI Journal*, V. 30, No. 3, Mei-Juni 1985, hal. 24-49.

Referensi, Pasal 19

- 19.1. "Specification for Structural Steel Buildings—Allowable Stress Design and Plastic Design, with Commentary" Juni 1989, dan "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings," Sept. 1986, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- 19.2. Kaar, P. H.; Kriz, L. B.; dan Hognestad, E., "Precast-Prestressed Concrete Bridges: (1) Pilot Tests of Continuous Girders," *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No. 2, Mei 1960, hal. 21-37. Juga, *Development Department Bulletin* D34, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1960, 17 hal.
- 19.3. Saemann, J. C., dan Washa, G. W., "Horizontal Shear Connections between Precast Beams and Cast-in-Place Slabs," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 61, No. 11, Nop. 1964, hal. 1383-1409. Juga lihat discussion, *ACI JOURNAL*, Juni 1965.

- 19.4. Hanson, N. W., "Precast-Prestressed Concrete Bridges: (2), Horizontal Shear Connections," *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No. 2, Mei 1960, hal. 38-58. Juga, *Development Department Bulletin D35*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 21 hal.
- 19.5. Grossfield, B., dan Birstiel, C., "Tests of T-Beams with Precast Webs and Cast-in-Place Flanges," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 59, No. 6, Juni 1962, hal. 843-851.
- 19.6. Mast, R. F., "Auxiliary Reinforcement in Concrete Connections," *Proceedings*, ASCE, V. 94, No. ST6, Juni 1968, hal. 1485-1504.

Referensi, Pasal 20

- 20.1. ACI-ASCE Committee 423, "Tentative Recommendations for Prestressed Concrete Flat Plates," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 71, No. 2, Feb. 1974, hal. 61-71.
- 20.2. *PCI Design Handbook—Precast and Prestressed Concrete*, 4th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1992, hal. 4-42 through 4-44.
- 20.3. ACI-ASCE Committee 423, "Tentative Recommendations for Prestressed Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 54, No. 7, Jan. 1958, hal. 545-578.
- 20.4. ACI Committee 435, "Deflections of Prestressed Concrete Members (ACI 435.1R-63)(Reapproved 1989)," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 60, No. 12, Des. 1963, hal. 1697-1728. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4.
- 20.5. PCI Committee on Prestress Losses, "Recommendations for Estimating Prestress Losses," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 20, No. 4, Juli-Agust. 1975, hal. 43-75.
- 20.6. Zia, P.; Preston, H. K.; Scott, N. L.; dan Workman, E. B., "Estimating Prestress Losses," *Concrete International: Design & Construction*, V. 1, No. 6, Juni 1979, hal. 32-38.
- 20.7. Mojtahedi, S., dan Gamble, W. L., "Ultimate Steel Stresses in Unbonded Prestressed Concrete," *Proceedings*, ASCE, V. 104, ST7, Juli 1978, hal. 1159-1165.
- 20.8. "Design of Post-Tensioned Slabs," Post-Tensioning Institute, Phoenix, Ariz., 1984, 54 hal.
- 20.9. Gerber, L. L., dan Burns, N. H., "Ultimate Strength Tests of Post-Tensioned Flat Plates," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 16, No. 6, Nop.-Des. 1971, hal. 40-58.
- 20.10. Smith, S. W., dan Burns, N. H., "Post-Tensioned Flat Plate to Column Connection Behavior," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 19, No. 3, Mei-Juni 1974, hal. 74-91.
- 20.11. Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Scale Model Post-Tensioned Flat Plate," *Proceedings*, ASCE, V. 103, ST6, Juni 1977, hal. 1237-1255.
- 20.12. Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Flat Plate with Bonded Tendons," *Proceedings*, ASCE, V. 111, No. 9, Sept. 1985, hal. 1899-1915.
- 20.13. Kosut, G. M., Burns, N. H., dan Winter, C. V., "Test of Four-Panel Post-Tensioned Flat Plate," *Proceedings*, ASCE V. 111, No. 9, Sept. 1985, hal. 1916-1929.
- 20.14. Mattock, A. H.; Yamazaki, J.; dan Kattula, B. T., "Comparative Study of Prestressed Concrete Beams, with and without Bond," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 68, No. 2, Feb 1971, hal. 116-125.
- 20.15. ACI-ASCE Committee 423, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons (ACI 423.3R-89)," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 3, Mei-Juni 1989, hal. 301-318. Juga, *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.

- 20.16. Odello, R. J., dan Mehta, B. M., "Behavior of a Continuous Prestressed Concrete Slab with Drop Panels," *Report*, Division of Structural Engineering and Structural Mechanics, University of California, Berkeley, 1967.
- 20.17. Muspratt, M. A., "Behavior of a Prestressed Concrete Waffle Slab with Unbonded Tendons," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 66, No. 12, Des. 1969, hal. 1001-1004.
- 20.18. Hawkins, N. M., "Lateral Load Resistance of Unbonded Post-Tensioned Flat Plate Construction," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 26, No. 1, Jan.-Peb. 1981, hal. 94-116.
- 20.19. "Guide Specifications for Post-Tensioning Materials," *Post-Tensioning Manual*, 5th Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, Ariz., 1990, hal. 208-216.
- 20.20. Foutch, D. A., Gamble, W. L., dan Sunidja, H., "Tests of Post-Tensioned Concrete Slab-Edge Column Connections," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-Apr. 1990, hal. 167-179.
- 20.21. Scordelis, A. C.; Lin, T. Y.; dan Itaya, R., "Behavior of a Continuous Slab Prestressed in Two Directions," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 56, No. 6, Des. 1959, hal. 441-459.
- 20.22. American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Specifications for Highway Bridges," 16th Edition, 1996.
- 20.23. Breen, J. E.; Burdet, O.; Roberts, C.; Sanders, D.; Wollmann, G.; dan Falconer, B., "Anchorage Zone Requirements for Post-Tensioned Concrete Girders," *NCHRP Report 356*, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C., 1994.
- 20.24. ACI-ASCE Committee 423, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 3, Mei-Juni 1989, hal. 312.
- 20.25. "Specification for Unbonded Single Strand Tendons," revised 1993, Post-Tensioning Institute, Phoenix, Ariz., 1993, 20 hal.
- 20.26. Gerwick, B. C. Jr., "Protection of Tendon Ducts," *Construction of Prestressed Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1971, 411 hal.
- 20.27. "Recommended Practice for Grouting of Post-Tensioned Prestressed Concrete," *Post-Tensioning Manual*, 5th Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, Ariz., 1990, hal. 230-236.
- 20.28. *Manual for Quality Control for Plants and Production of Precast and Prestressed Concrete Products*, 3rd Edition, MNL-116-85, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1985, 123 hal.
- 20.29. ACI Committee 301, "Standard Specifications for Structural Concrete for Buildings (ACI 301-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, 34 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.
- 20.30. Salmons, J. R., dan McCrate, T. E., "Bond Characteristics of Untensioned Prestressing Strand," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 1, Jan.-Peb. 1977, hal. 52-65.
- 20.31. ACI Committee 215, "Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading (ACI 215R-74)(Revised 1992)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1992, 24 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1.
- 20.32. Barth, F., "Unbonded Post-Tensioning in Building Construction," *Concrete Construction Engineering Handbook*, CRC Press, 1997, hal. 12.32-12.47.

Referensi, Pasal 21

- 21.1. Tedesco, A., "How Have Concrete Shell Structures Performed?" *Bulletin*, International Association for Shell and Spatial Structures, Madrid, Spain, No. 73, Agust. 1980, hal. 3-13.

- 21.2. ACI Committee 334, "Reinforced Concrete Cooling Tower Shells—Practice and Commentary (ACI 334.2R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1991, 9 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4.
- 21.3. ACI Committee 373R, "Design and Construction of Circular Prestressed Concrete Structures with Circumferential Tendons (ACI 373R-97)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1997, 26 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 4.
- 21.4. *Concrete Thin Shells*, SP-28, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1971, 424 hal.
- 21.5. Billington, D. P., *Thin Shell Concrete Structures*, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1982, 373 hal.
- 21.6. Billington, D. P., "Thin Shell Structures," *Structural Engineering Handbook*, Gaylord and Gaylord, eds., McGraw-Hill, New York, 1990, hal. 24.1-24.57.
- 21.7. *Hyperbolic Paraboloid Shells*, SP-110, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1988, 184 hal.
- 21.8. "Phase I Report on Folded Plate Construction," ASCE Task Committee, ASCE, *Journal of Structural Division*, V. 89, No. ST6 1963, hal. 365-406.
- 21.9. Esquillan N., "The Shell Vault of the Exposition Palace, Paris," ASCE, *Journal of Structural Division*, V. 86, No. ST1, Jan. 1960, hal. 41-70.
- 21.10. Scordelis, A. C., "Non-Linear Material, Geometric, and Time Dependent Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Shells," *Bulletin*, International Association for Shells and Spatial Structures, Madrid, Spain, No. 102, Apr. 1990, hal. 57-90.
- 21.11. Schnobrich, W. C., "Reflections on the Behavior of Reinforced Concrete Shells," *Engineering Structures*, Butterworth, Heinemann, Ltd., Oxford, V. 13, No. 2, Apr. 1991, hal. 199-210.
- 21.12. Sabnis, G. M.; Harris, H. G.; dan Mirza, M. S., *Structural Modeling and Experimental Techniques*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1983.
- 21.13. IASS Working Group No. 5, "Recommendations for Reinforced Concrete Shells and Folded Plates," International Association for Shell and Spatial Structures, Madrid, Spain, 1979, 66 hal.
- 21.14. *Concrete Shell Buckling*, SP-67, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1981, 234 hal.
- 21.15. Gupta, A. K., "Membrane Reinforcement in Concrete Shells: A Review," *Nuclear Engineering and Design*, Nofi-Holland Publishing, Amsterdam, V. 82, Okt. 1984, hal. 63-75.
- 21.16. Vecchio, F. J., dan Collins, M. P., "Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 83, No. 2, Mar. -Apr. 1986, hal. 219-223.
- 21.17. Fialkow, M. N., "Compatible Stress and Cracking in Reinforced Concrete Membranes with Multidirectional Reinforcement," *ACI Structural Journal*, V. 88, No. 4, Juli-Agust. 1991, hal. 445-457.
- 21.18. Medwadowski, S., "Multidirectional Membrane Reinforcement," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 5, Sept.-Okt. 1989, hal. 563-569.
- 21.19. ACI Committee 224, "Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-90)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1990, 43 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.
- 21.20. Gupta, A. K., "Combined Membrane and Flexural Reinforcement in Plates and Shells," *Structural Engineering*, ASCE, V. 112, No. 3, Mar, 1986, hal. 550-557.
- 21.21. Tedesco, A., "Construction Aspects of Thin Shell Structures," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 49, No. 6, Feb. 1953, hal. 505-520.
- 21.22. Huber, R. W., "Air Supported Forming — Will it Work?" *Concrete International*, V. 8, No. 1, Jan. 1986, hal. 13-17.

Referensi, Pasal 23

- 23.1.** "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures," Part 1: Provisions (FEMA 302, 353 hal.) and Part 2: Commentary (FEMA 303, 335 hal.), Building Seismic Safety Council, Washington, D. C., 1997.
- 23.2.** *Uniform Building Code*, V. 2, "Structural Engineering Design Provisions," 1997 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 hal.
- 23.3.** "BOCA National Building Code," 13th Edition, Building Officials and Code Administration International, Inc., Country Club Hills, IL, 1996, 357 hal.
- 23.4.** "Standard Building Code," Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, Ala., 1996, 656 hal.
- 23.5.** Panitia Teknik Standarisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)," Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pemukiman, Bandung, 2002, 85 hal.
- 23.6.** "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA, International Council, 2000.
- 23.7.** Blume, J. A.; Newmark, N. M.; dan Corning, L. H., *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1961, 318 hal.
- 23.8.** Clough, R. W., "Dynamic Effects of Earthquakes," *Proceedings*, ASCE, V. 86, ST4, Apr. 1960, hal. 49-65.
- 23.9.** Housner, C. W., "Limit Design of Structures to Resist Earthquakes," *Proceedings*, World Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, Calif., 1956, hal. 51-1 sampai 5-13.
- 23.10.** Gulkan, P., dan Sozen, M. A., "Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 71, No. 12, Des. 1974, hal. 604-610.
- 23.11.** ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1991, 18 hal. Juga *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 3.
- 23.12.** Hiroswawa, M., "Strength and Ductility of Reinforced Concrete Members," *Report No. 76*, Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo, Mar. 1977 (dalam bahasa Jepang). Juga, data in Civil Engineering Studies, *Structural Research Series* No. 452, University of Illinois, Urbana, 1978.
- 23.13.** "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary," Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California, Sacramento, Calif., 6th Edition, 504 hal.
- 23.14.** Popov, E. P.; Bertero, V. V.; dan Krawinkler, H., "Cyclic Behavior of Three R/C Flexural Members with High Shear," *EERC Report No. 72-5*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Okt. 1972.
- 23.15.** Wight, J. K., dan Sozen, M. A., "Shear Strength Decay of RC Columns under Shear Reversals," *Proceedings*, ASCE, V: 101, ST5, Mei 1975, hal. 1053-1065.
- 23.16.** French, C. W., dan Moehle, J. P., "Effect of Floor Slab on Behavior of Slab-Beam-Column Connections," *ACI SP-123, Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1991, hal. 225-258.
- 23.17.** Sivakumar, B.; Gergely, P.; White, R. N., "Suggestions for the Design of R/C Lapped Splices for Seismic Loading," *Concrete International*, V. 5, No. 2, Feb. 1983, hal. 46-50.
- 23.18.** Sakai, K., dan Sheikh, S. A., "What Do We Know about Confinement in Reinforced Concrete Columns? (A Critical Review of Previous Work and Code Provisions)," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 2, Mar.-Apr. 1989, hal. 192-207.
- 23.19.** Park, R. "Ductile Design Approach for Reinforced Concrete Frames," *Earthquake Spectra*, V. 2, No. 3, Mei 1986, hal. 565-619.

- 23.20.** Watson, S.; Zahn, F. A.; dan Park, R., "Confining Reinforcement for Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, V. 120, No. 6, Juni 1994, hal. 1798-1824.
- 23.21.** Meinheit, D. F., dan Jirsa, J. O., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *Report No. 77-1*, Department of Civil Engineering, Structures Research Laboratory, University of Texas at Austin, Jan. 1977.
- 23.22.** Briss, G. R.; Paulay, T; dan Park, R., "Elastic Behavior of Earthquake Resistant R. C. Interior Beam-Column Joints," *Report 78-13*, University of Canterbury, Department of Civil Engineering, Christchurch, New Zealand, Feb. 1978.
- 23.23.** Ehsani, M. R., "Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading," *Report No. UMEE 82R5*, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Juli 1982, 275 hal.
- 23.24.** Durrani, A. J., dan Wight, J. K., "Experimental and Analytical Study of Internal Beam to Column Connections Subjected to Reversed Cyclic Loading," *Report No. UMEE 82R3*, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Juli 1982, 275 hal.
- 23.25.** Leon, R. T., "Interior Joints with Variable Anchorage Lengths," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 115, No. 9, Sept. 1989, hal. 2261- 2275.
- 23.26.** Zhu, S., dan Jirsa, J. O., "Study of Bond Deterioration in Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *PMFSEL Report No. 83-1*, Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, Juli 1983.
- 23.27.** Meinheit, D. F., dan Jirsa, J. O., "Shear Strength of R/C Beam-Column Connections," *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 107, No. ST11, Nop. 1982, hal. 2227-2244.
- 23.28.** Ehsani, M. R., dan Wight, J. K., "Effect of Transverse Beams and Slab on Behavior of Reinforced Concrete Beam to Column Connections," *ACI JOURNAL, Proceedings V. 82, No. 2, Mar.-Apr. 1985*, hal. 188-195.
- 23.29.** Ehsani, M. R., "Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading," *ACI JOURNAL, Proceedings V. 82, No. 4, Juli-Agust. 1985*, hal. 492-499.
- 23.30.** Durrani, A. J., dan Wight, J. K., "Behavior of Interior Beam to Column Connections under Earthquake Type Loading," *ACI JOURNAL, Proceedings V. 82, No. 3, Mei-Juni 1985*, hal. 343-349.
- 23.31.** ACI-ASCE Committee 326, "Shear and Diagonal Tension," *ACI JOURNAL, Proceedings V. 59, No. 1, Jan. 1962*, hal. 1-30; No. 2, Feb. 1962, hal. 277-334; dan No. 3, Mar. 1962, hal. 352-396.
- 23.32.** Barda, F.; Hanson, J. M.; dan Corley, W. G., "Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements," *Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones*, SP-53, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1977, hal. 149-202.
- 23.33.** Wood, S. L., Stanton, J. F., dan Hawkins, N. M., "Influence of Floor Diaphragms on the Seismic Response of Precast Parking Garages," *Proceedings*, The Northridge Earthquake Research Conference, California Universities for Research in Earthquake Engineering, 1997.
- 23.34.** Wallace, J. W., "Evaluation of UBC-94 Provisions for Seismic Design of RC Structural Walls," *Earthquake Spectra*, V. 12, No. 2, Mei 1996, hal. 327-348.
- 23.35.** Moehle, J. P., "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes," *Earthquake Spectra*, V. 8, No. 3, Agust. 1992, hal. 403-428.
- 23.36.** Wallace, J. W., "A New Methodology for Seismic Design of Reinforced Concrete Shear Walls," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 120, No. 3, Mar. 1994, hal. 863-884.
- 23.37.** Paulay, T., dan Binney, J. R., "Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls," *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1974, hal. 579-598.
- 23.38.** Barney, G. G., et al., *Behavior of Coupling Beams under Load Reversals (RD068.01B)*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1980.

23.39. Wylie, L. A., Jr., "Structural Walls and Diaphragms — How They Function," *Building Structural Design Handbook*, R. N. White, dan C. G. Salmon, eds., John Wiley & Sons, 1987, hal. 188-215.

23.40. Taylor, C. P.; Cote, P. A.; Wallace, J. W., "Design of Slender RC Walls with Openings," *ACI Structural Journal*, V. 95, No. 5, Juli-Agust. 1998.

23.41. Nilsson, I. H. E., dan Losberg, A., "Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment," *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 102, No. ST6, Juni 1976, hal. 1229-1254.

LAMPIRAN A — DAFTAR NOTASI

PASAL 5 BAHAN

f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa

PASAL 6 PERSYARATAN KEAWETAN BETON

f'_c adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa

PASAL 7 KUALITAS, PENCAMPURAN, DAN PENGECORAN BETON

f'_c adalah kuat tekan beton karakteristik, MPa

f'_{cr} adalah kuat tekan rata-rata perlu yang digunakan sebagai dasar penentuan proporsi campuran beton, MPa

f'_{ct} adalah kuat tarik belah rata-rata beton ringan, MPa

s adalah deviasi standar, MPa

PASAL 9 DETAIL PENULANGAN

d adalah jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik, mm

d_b adalah diameter nominal batang tulangan, kawat, atau *strand* prategang, mm

f'_{ci} adalah kuat tekan beton pada kondisi prategang awal, MPa

f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa

l_d adalah panjang penyaluran, mm. Lihat 14

PASAL 10 ANALISIS DAN PERENCANAAN

A_s adalah luas tulangan tarik non-prategang, mm²

A'_s adalah luas tulangan tekan, mm²

b adalah lebar muka tekan komponen struktur, mm

d adalah jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm

E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa. Lihat 10.5.1

E_s adalah modulus elastisitas tulangan, MPa. Lihat 10.5.2 dan 10.5.3

f'_c adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa

f_y adalah kuat leleh tulangan non-prategang yang disyaratkan, MPa

l_n adalah bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif

V_c adalah kuat geser nominal yang dipikul oleh beton

w_u adalah beban terfaktor per unit panjang dari balok atau per unit luas pelat

w_c adalah berat satuan beton, kg/m³

β_1 adalah faktor yang didefinisikan dalam 12.2.7.3

ρ adalah rasio tulangan tarik non-prategang

$$= A_s / bd$$

ρ' adalah rasio tulangan tekan non-prategang

$$= A'_s / bd$$

ρ_b adalah rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang. Lihat 12.3.2

ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 11 KETENTUAN MENGENAI KEKUATAN DAN KEMAMPUAN LAYAN

A	adalah beban atap, atau momen dan gaya kolom yang berhubungan dengannya
A_g	adalah luas bruto penampang, mm ²
A_s	adalah luas tulangan tarik non-prategang, mm ²
A'_s	adalah luas tulangan tekan, mm ²
D	adalah beban mati, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
d_s	adalah jarak dari serat tarik terluar ke pusat tulangan tarik, mm
d'	adalah jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan, mm
E	adalah pengaruh beban gempa, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
E_c	adalah modulus elastisitas beton, MPa. Lihat 10.5.1
F	adalah beban akibat berat dan tekanan fluida yang diketahui dengan baik berat jenis dan tinggi maksimumnya yang terkontrol, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
$\sqrt{f'_c}$	adalah nilai akar dari kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_{ct}	adalah kuat tarik belah rata-rata beton ringan, MPa
f_r	adalah modulus keruntuhan lentur beton, MPa
f_y	adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa
H	adalah beban akibat berat dan tekanan tanah, air dalam tanah, atau material lainnya, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
h	adalah tebal total komponen struktur, mm
I_{cr}	adalah momen inersia penampang retak yang ditransformasikan menjadi beton, mm ⁴
I_e	adalah momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan, mm ⁴
I_g	adalah momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbunya, dengan mengabaikan tulangan, mm ⁴
L	adalah beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
l	adalah panjang bentang balok atau pelat satu arah, seperti yang didefinisikan dalam 10.7; proyeksi bersih dari kantilever, mm
l_n	adalah panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka-ke-muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka-ke-muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya, mm
M_a	adalah momen maksimum pada komponen struktur di saat lendutan dihitung, N-mm
M_{cr}	adalah momen retak, N-mm. Lihat 11.5.2.3
P	adalah beban akibat benturan, atau momen dan gaya kolom yang berhubungan dengannya
P_b	adalah kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang, N. Lihat 12.3.2
P_n	adalah kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan, N
P_u	adalah kuat tekan aksial perlu pada eksentrisitas yang diberikan, $\leq \phi P_n$
R	adalah beban hujan, atau momen dan gaya kolom yang berhubungan dengannya
T	adalah pengaruh kombinasi suhu, rangkai, susut, dan perbedaan penurunan
U	adalah kuat perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
W	adalah beban angin, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
w_c	adalah berat satuan beton, kg/m ³
y_t	adalah jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan tulangan, ke serat tarik terluar, mm
α	adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok. Lihat Pasal 15

α_m	adalah nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel
β	adalah rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
λ	adalah pengali untuk penambahan lendutan jangka-panjang seperti yang didefinisikan dalam 11.5.2.5
ξ	adalah faktor ketergantungan waktu untuk beban yang bersifat tetap dalam jangka waktu yang panjang. Lihat 11.5.2.5
ρ'	adalah rasio tulangan tekan non-prategang, A'_s/bd
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 12 BEBAN LENTUR DAN AKSIAL

A	adalah luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan tersebut, dibagi dengan jumlah n batang tulangan atau kawat, mm ² . Bila tulangan lentur terdiri dari batang tulangan atau kawat yang berbeda ukurannya, maka jumlah tulangan atau kawat harus dihitung sebagai luas total tulangan dibagi dengan luas tulangan kawat terbesar yang digunakan
A_b	luas batang atau kawat horisontal tunggal, mm ²
A_c	adalah luas inti komponen struktur tekan yang ditulangi spiral diukur hingga diameter luar dari spiral, mm ²
A_g	adalah luas bruto penampang, mm ²
A_s	adalah luas tulangan tarik non-prategang, mm ²
A_{sk}	adalah luas dari tulangan longitudinal pada sisi/muka badan penampang per unit tinggi pada satu sisi/muka, mm ² /m. Lihat 12.6.7
$A_{s,min}$	adalah luas minimum tulangan lentur, mm ² . Lihat 12.5
A_{st}	adalah luas total tulangan longitudinal (batang tulangan atau baja profil), mm ²
A_t	adalah luas baja profil, pipa atau tabung pada suatu penampang komposit, mm ²
A_1	adalah luas daerah yang dibebani
A_2	adalah luas maksimum dari sebagian permukaan pendukung yang secara geometris serupa dan konsentris dengan daerah yang dibebani, mm ²
a	adalah tinggi blok tegangan persegi ekuivalen seperti yang didefinisikan dalam 12.2.7.1, mm
b	adalah lebar muka tekan komponen struktur, mm
b_w	adalah lebar badan, mm
C_m	adalah suatu faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen
c	adalah jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm.
c_c	adalah selimut bersih dari permukaan tarik terdekat ke permukaan tulangan tarik lentur, mm
d	adalah jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm
d_c	tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat, mm
d_t	adalah jarak dari serat tekan terluar ke baja tarik terjauh, mm
E_c	adalah modulus elastisitas beton, MPa. Lihat 10.5.1
E_s	adalah modulus elastisitas tulangan, MPa. Lihat 10.5.2 atau 10.5.3
El	adalah kekakuan lentur komponen struktur tekan, N-mm ² . Lihat Persamaan 33 dan Persamaan 34
f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_s	adalah tegangan dalam tulangan yang dihitung pada kondisi beban kerja, MPa
f_y	adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa
h	adalah tinggi total komponen struktur, mm

I_g	adalah momen inersia penampang bruto beton terhadap sumbu pusat penampang, dengan mengabaikan tulangan, mm ⁴
I_{se}	adalah momen inersia tulangan terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur, mm ⁴
I_t	momen inersia profil, pipa atau tabung baja terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur komposit, mm ⁴
l_c	adalah panjang komponen struktur tekan pada sistem rangka yang diukur dari sumbu-ke-sumbu <i>joint</i> , mm
k	adalah faktor panjang efektif komponen struktur tekan
M_c	adalah momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan, N-mm
M_s	adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti pada struktur, N-mm
M_u	adalah momen terfaktor pada penampang, N-mm
M_1	adalah momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan tunggal, negatif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan ganda, N-mm
M_{1ns}	adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (order pertama), bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda, N-mm
M_2	adalah momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan; selalu bernilai positif, N-mm
$M_{2,min}$	adalah nilai minimum untuk M_2 , N-mm
M_{2ns}	adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional, N-mm
M_{1s}	adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (order pertama), bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda, N-mm
M_{2s}	adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional, N-mm
P_b	adalah kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang, N. Lihat 12.3.2
P_c	adalah beban kritis, N. Lihat Persamaan 32
P_n	adalah kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan, N
P_o	adalah kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol, N
P_u	adalah beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan $\leq \phi P_n$
Q	adalah indeks stabilitas. Lihat 12.11.4
r	adalah radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan
s	adalah spasi sumbu-ke-sumbu tulangan tarik lentur yang terdekat dengan muka tarik terluar, mm (bilamana hanya ada satu batang tulangan atau kawat terdekat dengan muka tarik terluar, maka s adalah lebar muka tarik terluar)
V_u	adalah gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai, N
Z	adalah besaran pembatas distribusi tulangan lentur. Lihat 12.6
β_1	adalah faktor yang didefinisikan dalam 12.2.7.3
β_d	(a) Untuk sistem rangka yang tidak bergoyang, β_d adalah rasio dari beban tetap aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum dari kombinasi beban yang sama;

(b) Untuk sistem rangka yang bergoyang, kecuali seperti yang disyaratkan item (c) dari definisi ini, β_g adalah rasio gaya lintang tetap terfaktor maksimum pada suatu lantai terhadap gaya lintang terfaktor maksimum di lantai tersebut;

(c) Untuk pemeriksaan stabilitas sistem rangka yang bergoyang sesuai dengan 12.13.6 adalah faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan.

δ_s adalah faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi

Δ_o adalah perpindahan lateral relatif antara puncak dan dasar suatu lantai akibat V_u , dihitung menggunakan analisis rangka elastis konvensional, dengan nilai kekakuan sesuai 12.11.1, mm

ρ adalah rasio tulangan tarik non-prategang
 $= A_s / bd$

ρ_b adalah rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang. Lihat 12.3.2

ρ_s adalah rasio volume tulangan spiral terhadap volume inti total (diukur dari sisi luar ke sisi luar spiral) dari sebuah komponen struktur tekan yang ditulangi spiral

ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 13 GESER DAN PUNTIR

A_c adalah luas penampang beton yang menahan penyaluran geser, mm²

A_{cp} adalah luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm²

A_f adalah luas dari tulangan di dalam konsol pendek yang memikul momen terfaktor, $[V_u a + N_{uc}(h - d)]$, mm²

A_g adalah luas bruto penampang, mm². Untuk penampang berongga, A_g adalah luas beton saja dan tidak termasuk luas rongga. Lihat 13.6.1

A_h adalah luas tulangan geser yang paralel dengan tulangan lentur tarik, mm²

A_l adalah luas total tulangan longitudinal yang memikul puntir, mm²

A_n adalah luas tulangan dalam konsol pendek yang memikul gaya tarik N_{uc} , mm²

A_o adalah luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm²

A_{oh} adalah luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar, mm²

A_{ps} adalah luas tulangan prategang dalam daerah tarik, mm²

A_s adalah luas tulangan tarik non-prategang, mm²

A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm²

A_v adalah luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , atau luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi, mm²

A_{vf} adalah luas tulangan geser-friksi, mm²

A_{vh} adalah luas tulangan geser yang paralel dengan tulangan lentur tarik dalam suatu jarak s_2 , mm²

a adalah bentang geser, jarak antara beban terpusat dan muka tumpuan, mm

b adalah lebar muka tekan pada komponen struktur, mm

b_o adalah keliling dari penampang kritis pada pelat dan fondasi telapak, mm

b_t adalah lebar bagian penampang yang dibatasi oleh sengkang tertutup yang menahan puntir

b_w adalah lebar badan balok, atau diameter penampang bulat, mm

b_1 adalah lebar penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, diukur dalam arah bentang padamana momen ditinjau, mm

b_2 adalah lebar penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, diukur dalam arah tegak lurus terhadap b_1 , mm

c_1	adalah ukuran dari kolom persegi atau kolom persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah bentang dimana momen lentur sedang ditentukan, mm
c_2	adalah ukuran dari kolom persegi atau kolom persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah tegak lurus terhadap arah bentang dimana momen lentur sedang ditentukan, mm
d	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal, tapi tidak perlu kurang dari $0,80h$ untuk penampang bulat dan elemen prategang, mm
$\sqrt{f'_c}$	adalah akar kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_{ct}	adalah harga rata-rata kuat tarik belah beton agregat ringan, MPa
f_d	adalah tegangan akibat beban mati tak terfaktor, pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik disebabkan oleh beban luar, MPa
f_{pc}	adalah tegangan tekan pada beton (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang) pada titik berat penampang yang menahan beban luar atau pada pertemuan antara badan dan flens jika titik berat penampang terletak dalam flens, MPa. (Pada komponen struktur komposit, f_{pc} adalah resultan tegangan tekan pada titik berat penampang komposit atau pada pertemuan antara badan dan flens jika titik berat penampang komposit berada di dalam flens, akibat gaya prategang dan juga momen yang ditahan oleh komponen struktur pracetak yang bekerja sendiri)
f_{pe}	adalah tegangan tekan pada beton akibat gaya prategang efektif saja (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang) pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik terjadi akibat beban luar, MPa
f_{pu}	adalah kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan, MPa
f_y	adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa
f_{yh}	adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan sengkang cincin, sengkang tertutup atau spiral, MPa
f_{ye}	adalah kuat leleh tulangan torsi longitudinal, MPa
f_{yv}	adalah kuat leleh tulangan sengkang torsi, MPa
h	adalah tinggi total komponen struktur, mm
h_v	adalah tinggi total penampang kepala geser, mm
h_w	adalah tinggi total dinding diukur dari dasar ke puncak, mm
I	adalah momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor yang bekerja, mm ⁴
l_n	adalah bentang bersih diukur dari muka-ke-muka tumpuan, mm
l_v	adalah panjang lengan kepala geser diukur dari titik berat beban atau reaksi terpusat, mm
l_w	adalah panjang horizontal dinding, mm
M_{cr}	adalah momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar. Lihat 13.4.2.1
M_m	adalah momen yang telah dimodifikasi, N-mm
M_{max}	adalah momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar, N-mm
M_p	adalah kuat momen plastis perlu dari penampang kepala geser, N-mm
M_u	adalah momen terfaktor pada penampang, N-mm
M_v	adalah tahanan momen yang disumbangkan oleh tulangan kepala geser, N-mm
N_u	adalah beban aksial terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u , diambil positif untuk tekan, negatif untuk tarik, dan memperhitungkan pengaruh tarik akibat rangkai dan susut, N
N_{uc}	adalah gaya tarik terfaktor yang bekerja pada tepi atas konsol pendek yang terjadi bersamaan dengan V_u , diambil positif untuk tarik, N
p_{cp}	adalah keliling luar penampang beton, mm. Lihat 11.6.1
p_h	adalah keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar, mm
s	adalah spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm

s_1	adalah spasi tulangan vertikal dalam dinding, mm
s_2	adalah spasi tulangan geser atau puntir yang tegak lurus terhadap tulangan longitudinal atau spasi tulangan horisontal dalam dinding, mm
T_n	adalah kuat momen puntir nominal, N-mm
T_u	adalah momen puntir terfaktor pada penampang, N-mm
t	adalah tebal dinding dengan penampang berongga, mm
V_c	adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, N
V_{ci}	adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser, N
V_{cw}	adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang, N
V_d	adalah gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor, N
V_l	adalah gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max} , N
V_n	adalah tegangan geser nominal, MPa. Lihat 11.12.6.2
V_p	adalah komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang, N
V_s	adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser, N
V_u	adalah gaya geser terfaktor pada penampang, N
v_n	adalah kuat geser nominal, N
y_t	adalah jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan keberadaan tulangan, ke serat tarik terluar, mm
α	adalah sudut antara sengkang miring dan sumbu longitudinal dari komponen struktur
α_f	adalah sudut antara tulangan geser-friksi dengan bidang geser
α_s	adalah konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada pelat dan fondasi telapak
α_v	adalah rasio kekakuan lengan kepala geser terhadap penampang pelat komposit di sekitarnya. Lihat 13.12.4.5
β_c	adalah rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat atau daerah tumpuan
β_p	adalah konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada pelat prategang
γ_l	adalah bagian dari momen tidak berimbang yang disalurkan sebagai lentur pada hubungan pelat-kolom. Lihat 15.5.3.2
γ_v	adalah bagian dari momen tidak berimbang yang dipindahkan sebagai geser eksentris pada hubungan pelat-kolom. Lihat 13.12.6.1 $= 1 - \gamma_l$
η	adalah jumlah lengan yang serupa dari kepala geser
θ	adalah sudut diagonal tekan pada penerapan analogi rangka untuk torsi
λ	adalah faktor koreksi yang berkaitan dengan unit massa beton
μ	adalah koefisien friksi. Lihat 11.7.4.3
ρ	adalah rasio dari tulangan tarik non-prategang $= A_s / bd$
ρ_h	adalah rasio dari tulangan geser horizontal terhadap luas bruto penampang beton vertikal
ρ_n	adalah rasio tulangan geser vertikal terhadap luas bruto penampang beton horisontal
ρ_w	adalah $A_s / b_w d$
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 14 PENYALURAN DAN PENYAMBUNGAN TULANGAN

A_b	adalah luas penampang satu batang tulangan, mm ²
A_s	adalah luas tulangan tarik non prategang, mm ²

A_{tr}	adalah luas total tulangan geser yang dipasang dengan spasi s , dan yang melintasi potensi bidang retak, mm ²
A_v	adalah luas tulangan geser dalam rentang spasi s , mm ²
A_w	adalah luas penampang satu kawat yang akan disalurkan atau disambung lewatkan, mm ²
a	adalah tinggi blok tegangan persegi ekuivalen seperti didefinisikan dalam 12.2.7.1, mm
b_w	adalah lebar badan atau garis tengah penampang bulat, mm ²
c	adalah spasi atau ukuran selimut beton, mm. Lihat 14.2.4
d	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik, mm
d_b	adalah diameter nominal batang tulangan, kawat, atau <i>strand</i> prategang, mm
f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
$\sqrt{f'_c}$	adalah nilai akar kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_{ct}	adalah kuat tarik belah rata-rata beton agregat ringan, MPa
f_{ps}	adalah tegangan pada tulangan prategang pada saat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa
f_{se}	adalah tegangan efektif pada tulangan prategang (setelah memperhitungkan kehilangan semua tegangan prategang), MPa
f_y	adalah kuat leleh tulangan non prategang yang disyaratkan, MPa
f_{yt}	adalah kuat leleh tulangan transversal yang disyaratkan, MPa
h	adalah tebal total komponen struktur, mm
K_{tr}	adalah indeks tulangan transversal, mm $= \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn}$
l_a	adalah panjang penjangkaran tambahan pada daerah tumpuan atau pada titik belok garis elastis, mm
l_d	adalah panjang penyaluran, mm $= l_{db} \times \text{faktor modifikasi yang berlaku}$
l_{db}	adalah panjang penyaluran dasar, mm
l_{dh}	adalah panjang penyaluran kait standar tarik, diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan), mm $= l_{hb} \times \text{faktor modifikasi yang berlaku}$
l_{hb}	adalah panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik, mm
M_n	adalah kuat momen nominal pada suatu penampang, N-mm $= A_s f_y (d - a/2)$
n	adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang akan disalurkan atau disambung lewatkan di sepanjang bidang retak
s	adalah jarak maksimum dari tulangan transversal sepanjang l_d dari sumbu-ke-sumbu, mm
s_w	adalah jarak antar kawat yang akan disalurkan atau disambung lewatkan, mm
V_u	adalah gaya geser terfaktor pada penampang, N
α	adalah faktor lokasi tulangan. Lihat 14.2.4
β	adalah faktor coating. Lihat 14.2.4
β_b	adalah rasio luas tulangan yang terputus terhadap luas total tulangan tarik pada suatu penampang
γ	adalah faktor ukuran tulangan. Lihat 14.2.4
λ	adalah faktor beton agregat ringan. Lihat 14.2.4

PASAL 15 SISTEM PELAT DUA ARAH

- b_1 adalah lebar penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, diukur dalam arah bentang padamana momen ditinjau, mm
- b_2 adalah lebar penampang kritis yang didefinisikan dalam 13.12.1.2, diukur dalam arah tegak lurus terhadap b_1 , mm

C adalah konstanta penampang untuk menentukan kekakuan puntir

$$= \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3}$$

Konstanta C untuk penampang T atau L dapat dihitung dengan membagi penampang menjadi bagian-bagian kecil dan nilai C untuk masing-masing bagian kemudian dijumlahkan

- c_1 adalah ukuran kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah bentang dimana momen dihitung, mm.
- c_2 adalah ukuran kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah tegak lurus terhadap bentang dimana momen dihitung, mm
- d adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik, mm
- E_{cb} adalah modulus elastisitas balok beton, MPa
- E_{cc} adalah modulus elastisitas kolom beton, MPa
- E_{cp} adalah modulus elastisitas pelat beton, MPa
- h adalah tinggi total komponen struktur, mm
- I_b adalah momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok sebagaimana didefinisikan dalam 15.2.4, mm⁴
- I_p adalah momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat, mm⁴
 $= h^3/12$ kali lebar pelat, seperti yang didefinisikan dalam notasi α dan β
- K_b adalah kekakuan lentur balok; momen per unit rotasi
- K_c adalah kekakuan lentur kolom; momen per unit rotasi
- K_p adalah kekakuan lentur pelat; momen per unit rotasi
- K_t adalah kekakuan puntir komponen struktur, momen per unit puntir
- ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah momen yang ditinjau, diukur dari muka ke muka tumpuan, mm
- ℓ_1 adalah panjang bentang dalam arah momen yang ditinjau, diukur dari sumbu ke sumbu tumpuan, mm
- ℓ_2 adalah panjang bentang dalam arah transversal terhadap ℓ_1 , diukur dari sumbu-ke-sumbu tumpuan. Lihat juga 15.6.2.3 dan 15.6.2.4, mm
- M_o adalah momen total statis terfaktor, N-mm
- V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, N. Lihat 13.12.2.1
- w_d adalah beban mati terfaktor per unit luas
- w_l adalah beban hidup terfaktor per unit luas
- w_u adalah beban terfaktor per unit luas
- x adalah dimensi keseluruhan yang lebih pendek dari bagian persegi suatu penampang, mm
- y adalah dimensi keseluruhan yang lebih panjang dari bagian persegi suatu penampang, mm
- α adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur suatu pelat dengan lebar yang dibatasi dalam arah lateral oleh sumbu dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi dari balok

$$= \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p}$$

- α_c adalah rasio dari kekakuan lentur kolom di atas dan di bawah pelat terhadap gabungan kekakuan pelat dan balok pada suatu hubungan balok-kolom, dalam arah bentang dimana momen dihitung
- $$= \frac{\Sigma K_c}{\Sigma(K_p + K_b)}$$
- α_1 adalah α dalam arah ℓ_1
- α_2 adalah α dalam arah ℓ_2
- β_t adalah rasio kekakuan puntir penampang balok tepi terhadap kekakuan lentur dari suatu pelat dengan lebar yang sama dengan bentang balok, diukur dari sumbu-ke-sumbu tumpuan
- $$= \frac{E_{cb} C}{2E_{cp} I_p}$$
- γ_l adalah bagian momen tak berimbang yang disalurkan melalui lentur pada hubungan pelat kolom. Lihat 15.5.3.2
- γ_v adalah bagian momen tak berimbang yang disalurkan melalui eksentrisitas geser pada hubungan pelat-kolom
- $$= 1 - \gamma_l$$

PASAL 16 DINDING

- A_g adalah luas bruto penampang, mm²
- A_s adalah luas tulangan tarik longitudinal pada segmen dinding, mm²
- A_{se} adalah luas tulangan tarik longitudinal efektif pada segmen dinding, mm², sebagaimana ditentukan oleh Persamaan 102
- c adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, mm
- d adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik pusat tulangan tarik longitudinal, mm
- E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa
- f'_c adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
- f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan nonprategang, MPa
- h adalah tebal total komponen struktur, mm
- I_{cr} adalah momen inersia penampang retak yang ditransformasikan menjadi beton, mm⁴
- I_e adalah momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan, mm⁴
- k adalah faktor panjang efektif
- ℓ_c adalah jarak vertikal antara dua tumpuan, mm
- ℓ_w adalah panjang horisontal dinding, mm
- M adalah momen tak terfaktor maksimum akibat beban layan, termasuk pengaruh $P\Delta$, N-mm
- M_a adalah momen maksimum dalam komponen struktur pada saat lendutan dihitung, N-mm
- M_{cr} adalah momen yang menimbulkan retak lentur akibat beban vertikal dan lateral yang bekerja, N-mm
- M_n adalah kuat momen nominal pada penampang, N-mm
- M_{sa} adalah momen tak terfaktor maksimum akibat beban layan, tidak termasuk pengaruh $P\Delta$, N-mm
- M_u adalah momen terfaktor pada penampang termasuk pengaruh $P\Delta$, N-mm
- M_{ub} adalah momen pada penampang setengah tinggi dinding akibat beban vertikal eksentris dan lateral terfaktor, N-mm
- n adalah rasio modulus elastisitas, tetapi tidak kurang dari 6
- $$= E_s/E_c$$
- P_{nw} adalah kuat dukung beban aksial nominal dinding yang direncanakan menurut 16.4, N
- P_s adalah beban aksial tak terfaktor pada penampang setengah tinggi yang direncanakan termasuk pengaruh berat sendiri, N

P_u	adalah beban aksial terfaktor, N
Δ_s	adalah defleksi maksimum pada atau dekat daerah setengah tinggi akibat beban layan, mm
Δ_u	adalah defleksi pada penampang dinding disetengah tinggi akibat beban terfaktor, mm
ρ	adalah rasio tulangan tarik = $A_s/(\ell_w d)$
ρ_b	adalah rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 17 FONDASI TELAPAK

A_g	adalah luas bruto penampang, mm ²
d_p	adalah diameter pancang di dasar fondasi telapak, mm
$\sqrt{f'_c}$	adalah nilai akar kuadrat dari kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
β	adalah rasio antara sisi panjang terhadap sisi pendek fondasi telapak
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 18 BETON PRACETAK

A_g	adalah luas bruto penampang kolom, mm ²
ℓ	adalah panjang bentang bersih, mm

PASAL 19 KOMPONEN STRUKTUR LENTUR BETON KOMPOSIT

A_c	adalah luas bidang kontak yang ditinjau terhadap geser horisontal, mm ²
A_v	adalah luas tulangan sengkang ikat dalam daerah sejarak s , mm ²
b_v	adalah lebar penampang pada bidang kontak yang ditinjau terhadap geser horisontal, mm
d	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik pusat tulangan tarik untuk keseluruhan penampang komposit, mm
h	adalah tebal total penampang komposit, mm
V_{nh}	adalah kuat geser horizontal nominal, N
V_u	adalah gaya geser terfaktor pada penampang, N
λ	adalah faktor koreksi sehubungan dengan unit massa beton
ρ_v	adalah rasio tulangan sengkang ikat terhadap luas permukaan bidang kontak = $A_v/b_v s$
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 20 BETON PRATEGANG

A	adalah luas bagian penampang antara muka tarik lentur tarik dan titik berat penampang bruto, mm ²
A_{c1}	adalah luas penampang bruto terbesar dari lajur balok-pelat yang diambil dari dua rangka ekuivalen yang saling tegak lurus dan memotong pada lokasi sebuah kolom dari suatu pelat dua arah, mm ²
A_c	adalah luas beton pada penampang yang ditinjau, mm ²
A_{ps}	adalah luas tulangan prategang dalam daerah tarik, mm ²
A_s	adalah luas tulangan tarik non-prategang, mm ²
A'_s	adalah luas tulangan tekan, mm ²
b	adalah lebar muka tekan komponen struktur, mm
D	adalah beban mati, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut
d	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik non-prategang, mm
d'	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan, mm
d_p	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang, mm
e	adalah dasar logaritma <i>Napier</i>

f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
$\sqrt{f'_c}$	adalah nilai akar dari kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f'_{ci}	adalah kuat tekan beton pada saat pemberian prategang awal, MPa
$\sqrt{f'_{ci}}$	adalah nilai akar dari kuat tekan beton pada keadaan prategang awal, MPa
f_{pc}	adalah tegangan tekan beton rata-rata akibat gaya prategang efektif saja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi), MPa
f_{ps}	adalah tegangan pada tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa
f_{pu}	adalah kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan, MPa
f_{py}	adalah kuat leleh tendon prategang yang disyaratkan, MPa
f_r	adalah modulus keruntuhan lentur beton, MPa
f_s	adalah tegangan pada tulangan tarik
f'_s	adalah tegangan pada tulangan tekan
f_{se}	adalah tegangan efektif pada tulangan prategang (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi), MPa
f_y	adalah kuat leleh tulangan non-prategang yang disyaratkan, MPa
h	adalah tinggi total penampang, mm
K	adalah koefisien friksi <i>wobble</i> per meter panjang tendon prategang
L	adalah beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut
l	adalah panjang bentang pelat dua arah pada arah yang sejajar dengan tulangan yang ditinjau, mm
l_x	adalah panjang elemen tendon prategang dari ujung penjangkaran ke suatu titik x , m. Lihat Persamaan 107 dan 108
M_n	adalah momen nominal penampang
N_c	adalah gaya tarik dalam beton akibat beban mati dan beban hidup tidak terfaktor ($D + L$), N
n	adalah jumlah perangkat angkur <i>strand</i> tunggal dalam sebuah kelompok angkur
P_s	adalah gaya tendon prategang pada ujung angkur, N
P_{su}	adalah gaya tendon pasca tarik terfaktor pada perangkat angkur, N
P_x	adalah gaya tendon prategang pada sebarang titik x , N
α	adalah perubahan sudut total dari profil tendon prategang dalam radian dari ujung angkur ke sebarang titik x
β_1	adalah faktor yang didefinisikan dalam 12.2.7.3
ϵ_{cu}'	adalah regangan batas beton pada serat tekan terluar
ϵ_s	adalah regangan tulangan tarik
ϵ'_s	adalah regangan tulangan tekan
γ_p	adalah faktor yang memperhitungkan tipe tendon prategang = 0,55 untuk f_{py}/f'_{pu} tidak kurang dari 0,80 = 0,40 untuk f_{py}/f'_{pu} tidak kurang dari 0,85 = 0,28 untuk f_{py}/f'_{pu} tidak kurang dari 0,90
λ	adalah faktor koreksi sehubungan dengan berat satuan beton. Lihat 13.7.4.3
μ	adalah koefisien friksi lengkungan
ρ	adalah rasio tulangan tarik non-prategang = A_s/bd
ρ'	adalah rasio tulangan tekan = A'_s/bd
ρ_p	adalah rasio tulangan prategang

$$= A_{ps} / bd_p$$

- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3
- ω adalah $\rho f_y / f'_c$
- ω' adalah $\rho' f_y / f'_c$
- ω_p adalah $\rho_p f_{ps} / f'_c$
- $\omega_w, \omega_{pw}, \omega_w'$ adalah indeks tulangan untuk penampang yang mempunyai flens, dihitung sebagai $\omega, \omega_p, \omega'$ dengan b diambil sebesar lebar badan, dan luas tulangan harus sesuai dengan yang diperlukan untuk mengembangkan kuat tekan dari bagian badan saja

PASAL 21 KOMPONEN STRUKTUR CANGKANG DAN PELAT LIPAT

- E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa. Lihat 10.5.1
- f'_c adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
- $\sqrt{f'_c}$ adalah nilai akar dari kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
- f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa
- h adalah tebal pelat cangkang atau pelat lipat, mm
- ℓ_d adalah panjang penyaluran, mm
- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3

PASAL 22 EVALUASI KEKUATAN DARI STRUKTUR YANG TELAH BERDIRI

- D adalah beban mati, atau momen dan gaya-gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut
- h adalah tebal total dari komponen struktur, mm
- L adalah beban hidup, atau momen dan gaya-gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut
- ℓ_i adalah bentang komponen struktur yang diuji beban, mm (bentang yang lebih pendek untuk sistem pelat dua arah). Bentang komponen struktur adalah nilai terkecil dari (a) jarak antar pusat tumpuan, dan (b) jarak bersih antara tumpuan ditambah dengan tinggi komponen struktur h . Pada Persamaan 118, bentang untuk kantilever ditentukan sebagai dua kali jarak dari tumpuan ke ujung kantilever
- Δ_{maks} adalah defleksi maksimum terukur, mm. Lihat Persamaan 118
- $\Delta_{r,maks}$ adalah defleksi residual terukur, mm. Lihat Persamaan 119 dan 120
- $\Delta_{f,maks}$ adalah defleksi maksimum yang diukur selama uji beban kedua relatif terhadap posisi struktur pada awal pengujian kedua, mm. Lihat Persamaan 120

PASAL 23 KETENTUAN KHUSUS UNTUK PERENCANAAN GEMPA

- A_{ch} adalah luas penampang komponen struktur dari sisi luar ke sisi luar tulangan transversal, mm²
- A_{cp} adalah luas penampang beton yang menahan geser dari segmen dinding horisontal, mm²
- A_{cv} adalah luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau, mm²
- A_g adalah luas bruto penampang, mm²
- A_j adalah luas penampang efektif di dalam suatu hubungan balok-kolom, lihat 23.5.3.1, pada suatu bidang yang sejajar dengan bidang tulangan yang menimbulkan geser di dalam hubungan balok-kolom tersebut; mm². Tinggi hubungan balok-kolom adalah tinggi total penampang kolom. Bilamana terdapat suatu balok yang merangka pada suatu tumpuan yang mempunyai lebar yang lebih besar maka, lebar efektif dari hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari:
- (a) Lebar balok ditambah tinggi hubungan balok-kolom

(b) Dua kali jarak tegak lurus yang terkecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom. Lihat 23.5.3.1

A_{sh}	adalah luas penampang total tulangan transversal (termasuk sengkang pengikat) dalam rentang spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi h_c , mm ²
A_{vd}	adalah luas total tulangan dalam masing-masing kelompok tulangan diagonal pada balok perangkai yang ditulangi secara diagonal, mm ²
b	adalah lebar efektif flens tekan dari komponen struktur, mm
b_w	adalah lebar badan, atau diameter penampang lingkaran, mm
c	adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, lihat 12.2.7, yang dihitung untuk beban aksial terfaktor dan kuat momen nominal, konsisten dengan perpindahan rencana δ_u , yang menghasilkan kedalaman sumbu netral yang terbesar, mm
d	adalah tinggi efektif penampang, mm
d_b	adalah diameter batang tulangan, mm
E	adalah pengaruh beban gempa, atau gaya dan momen dalam yang berhubungan dengan beban tersebut
f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_y	adalah kuat leleh tulangan yang disyaratkan, MPa
f_{yh}	adalah kuat leleh tulangan transversal yang disyaratkan, MPa
h	adalah tebal total komponen struktur, mm
h_c	adalah dimensi penampang inti kolom diukur dari sumbu-ke-sumbu tulangan pengekang, mm
h_w	adalah tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau
h_x	adalah spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom, mm
l_d	adalah panjang panyaluran batang tulangan lurus, mm
l_{dh}	adalah pajang penyaluran batang tulangan dengan kait standar seperti yang ditentukan Persamaan 126, mm
l_n	adalah bentang bersih yang diukur dari muka ke muka tumpuan, mm
l_o	adalah panjang minimum, diukur dari muka join sepanjang sumbu komponen struktur, dimana harus disediakan tulangan transversal, mm
l_w	adalah panjang keseluruhan dinding atau segmen dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser, mm
M_c	adalah momen pada muka join, yang berhubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada join tersebut, yang dihitung untuk beban aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur terendah, N-mm. Lihat 23.4.2.2
M_g	adalah momen pada muka join, yang berhubungan dengan kuat lentur nominal balok (termasuk pelat yang berada dalam kondisi tarik) yang merangka pada join tersebut, N-mm. Lihat 23.4.2.2
M_{pr}	adalah kuat momen lentur mungkin dari suatu komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan sifat-sifat komponen struktur pada muka join dengan menganggap kuat tarik pada tulangan longitudinal sebesar minimum $1,25f_y$, dan faktor reduksi kekuatan $\phi = 1$, N-mm
M_s	adalah bagian momen pelat yang diimbangi oleh momen tumpuan, N-mm
s	adalah spasi tulangan transversal diukur sepanjang sumbu longitudinal komponen struktur, mm
s_o	adalah spasi maksimum tulangan transversal, mm
s_x	adalah spasi longitudinal tulangan transversal dalam rentang panjang l_o , mm
V_c	adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, N
V_e	adalah gaya geser rencana yang ditentukan dalam 23.3.4.1 dan 23.4.5.1, N
V_n	adalah kuat geser nominal, N

V_u	adalah gaya geser terfaktor pada penampang, N
α	adalah sudut antara tulangan diagonal dan sumbu longitudinal balok perangkai yang ditulangi secara diagonal
α_c	adalah koefisien yang mendefinisikan kontribusi relatif dari tahanan beton terhadap tahanan dinding. Lihat Persamaan 127
δ_u	adalah perpindahan rencana, mm
ρ	adalah rasio tulangan tarik non-prategang $= A_s/bd$
ρ_g	adalah rasio luas tulangan total terhadap luas penampang kolom
ρ_n	adalah rasio luas tulangan yang tersebar pada bidang yang paralel bidang A_{cv} terhadap luas beton bruto yang tegak lurus terhadap tulangan tersebut
ρ_s	adalah rasio volume tulangan spiral terhadap volume inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral (diukur dari sisi luar ke sisi luar tulangan spiral)
ρ_v	adalah rasio luas tulangan yang tersebar pada bidang yang tegak lurus bidang A_{cv} terhadap luas beton bruto A_{cv}
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan

PASAL 24 BETON POLOS STRUKTURAL

A_g	adalah luas bruto penampang, mm ²
A_1	adalah luas daerah yang dibebani
A_2	adalah luas maksimum dari sebagian permukaan pendukung yang secara geometris serupa dan konsentris dengan daerah yang dibebani, mm ²
b	adalah lebar komponen struktur, mm
b_o	adalah keliling penampang kritis untuk geser pada fondasi telapak, mm
B_n	adalah beban tumpu nominal, N
f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa, lihat Pasal 7.
$\sqrt{f'_c}$	adalah nilai akar kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_{ct}	adalah kuat tarik belah rata-rata beton agregat ringan, MPa. Lihat 7.1.4 dan 7.1.5
h	adalah tebal keseluruhan komponen struktur, mm
ℓ_c	adalah jarak vertikal antar tumpuan, mm
M_n	adalah kuat momen nominal pada suatu penampang, N-mm
M_u	adalah momen terfaktor pada penampang, N-mm
P_n	adalah kuat nominal penampang yang mengalami tekan, N
P_{nw}	adalah kuat beban aksial nominal dinding sesuai 24.6.5, N
P_u	adalah beban aksial terfaktor pada eksentrisitas tertentu, N
S	adalah modulus penampang elastis, mm ³
V_n	adalah kuat geser nominal penampang, N
V_u	adalah gaya geser terfaktor penampang, N
β_c	adalah rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari daerah beban terpusat atau reaksi
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3.5

PASAL 25 METODE DESAIN ALTERNATIF

A_g	adalah luas bruto penampang, mm ²
A_v	adalah luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , mm ²
A_1	adalah luas daerah yang dibebani, mm ²
A_2	adalah luas maksimum dari sebagian permukaan pendukung yang secara geometris serupa dan konsentris dengan daerah yang dibebani, mm ²

b_o	adalah keliling penampang kritis pada pelat dan fondasi telapak, mm
b_w	adalah lebar badan, atau diameter penampang lingkaran, mm
d	adalah jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik, mm
E_c	adalah modulus elastisitas beton, MPa. Lihat 10.5.1
E_s	adalah modulus elastisitas tulangan, MPa. Lihat 10.5.2 atau 10.5.3
f'_c	adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa. Lihat Pasal 7
$\sqrt{f'_c}$	adalah nilai akar kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f_{ct}	adalah kuat tarik belah rata-rata beton agregat ringan, MPa. Lihat 7.1.4 dan 7.1.5
f_s	adalah tegangan tarik izin pada tulangan, MPa
f_y	adalah kuat leleh tulangan yang disyaratkan, MPa. Lihat 5.5.3
M	adalah momen rencana
N	adalah beban aksial rencana yang bekerja secara bersamaan dengan V , bernilai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik
n	adalah rasio modulus, $n = E_s/E_c$
s	adalah spasi tulangan geser pada arah sejajar tulangan longitudinal, mm
V	adalah gaya geser rencana pada penampang
v	adalah tegangan geser rencana, MPa
v_c	adalah tegangan geser ijin beton, MPa
v_h	adalah tegangan geser horisontal ijin, MPa
α	adalah sudut antara kemiringan sengkang dan sumbu longitudinal komponen struktur
β_c	adalah rasio sisi panjang dan sisi pendek beban terpusat atau daerah reaksi
ρ_w	adalah rasio tulangan tarik = $A_s/b_w d$
ϕ	adalah faktor reduksi kekuatan. Lihat 11.3.5

LAMPIRAN B — INFORMASI TULANGAN BAJA

Sebagai bantuan bagi pengguna Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, informasi mengenai ukuran, luas penampang, dan berat dari berbagai tulangan baja disajikan disini.

BATANG TULANGAN STANDAR ASTM

Ukuran batang, no.*	Diameter nominal, mm	Luas penampang nominal, mm ²	Masa nominal, kg/m
10	9,5	71	0,560
13	12,7	129	0,994
16	15,9	199	1,552
19	19,1	284	2,235
22	22,2	387	3,042
25	25,4	510	3,973
29	28,7	645	5,060
32	32,3	819	6,404
36	35,8	1006	7,907
43	43,0	1452	11,38
57	57,3	2581	20,24

*No. batang menunjukkan diameter nominal batang.

TENDON PRATEGANG STANDAR ASTM

Tipe*	Diameter nominal, mm	Luas penampang nominal, mm ²	Masa nominal, kg/m
Strand tujuh-kawat (Mutu 1750)	6,35	23,22	0,182
	7,94	37,42	0,294
	9,53	51,61	0,405
	11,11	69,68	0,548
	12,70	92,90	0,730
	15,24	139,35	1,094
Strand tujuh-kawat (Mutu 3290)	9,53	54,84	0,432
	11,11	74,19	0,582
	12,70	98,71	0,775
Kawat prategang	15,24	140,00	1,102
	4,88	18,7	0,146
	4,98	19,4	0,149
	6,35	32	0,253
Batang prategang (polos)	7,01	39	0,298
	19	284	2,23
	22	387	3,04
	25	503	3,97
	29	639	5,03
	32	794	6,21
Batang prategang (ulir)	35	955	7,52
	15	181	1,46
	20	271	2,22
	26	548	4,48
	32	806	6,54
	36	1019	8,28

*Ketersediaan beberapa ukuran tendon harus diperiksa sebelumnya.

**PERSYARATAN DIMENSI ASTM
UNTUK KAWAT BAJA ULIR SEBAGAI
TULANGAN BETON (SATUAN SI)**

Nomor ukuran kawat ulir	Dimensi nominal		
	Berat satuan, kg/m	Diameter, mm	Luas penampang, mm ²
D-1	0,0510	2,87	6,45
D-2	0,1013	4,04	12,90
D-3	0,1523	4,95	19,35
D-4	0,2025	5,72	25,81
D-5	0,2532	6,40	32,26
D-6	0,3038	7,01	38,71
D-7	0,3548	7,57	45,16
D-8	0,4051	8,10	51,61
D-9	0,4561	8,59	58,96
D-10	0,5063	9,04	64,52
D-11	0,5574	9,50	70,97
D-12	0,6076	9,91	77,42
D-13	0,6586	10,31	83,87
D-14	0,7089	10,72	90,32
D-15	0,7599	11,10	96,77
D-16	0,8101	11,46	103,23
D-17	0,8611	11,81	109,68
D-18	0,9114	12,14	116,13
D-19	0,9624	12,47	122,58
D-20	1,0127	12,80	129,03
D-21	1,0637	13,13	135,48
D-22	1,1139	13,44	141,94
D-23	1,1649	13,74	148,39
D-24	1,2152	14,05	154,84
D-25	1,2662	14,33	161,29
D-26	1,3164	14,61	167,74
D-27	1,3675	14,88	174,19
D-28	1,4177	15,16	180,64
D-29	1,4687	15,44	187,10
D-30	1,5190	15,70	193,55
D-31	1,5700	15,95	200,00

INDEKS

- Abu terbang (*fly ash*)**, 5.6.6
- Agregat**, 5.3
- Beton ringan—Definisi, 3.18
 - Definisi, 3.2
 - Ukuran maksimum nominal, 5.3.2
- Agregat ringan**, 5.3
- Air**, 5.4
- American Society for Testing and Materials**—Lihat ASTM
- American Welding Society**—Lihat AWS
- Analisis umum**—Cangkang, 21.2
- Angkur**—Mekanis—Penyaluran, 14.6
- Angkur**—Pasca tarik, 20.21
- ASTM (*American Society for Testing and Materials*)**
standar yang dirujuk dalam tata cara ini, 2
- AWS (*American Welding Society*)** standar yang dirujuk
dalam tata cara ini, 2
- Bahan, pengujian**, 5.1
- Bahan tambahan**, 5.6
- Definisi, 3.7
 - Pembentuk gelembung udara, 5.6.4
 - Pemercepat, 5.6.5
 - Penghambat, 5.6.5
 - Pengurang air, 5.6.5
- Bahan tambahan pembentuk gelembung udara**, 5.6.4
- Bahan tambahan penghambat reaksi hidrasi beton**, 5.6
- Bahan tambahan pengurang air**, 5.6
- Baja struktural**—Tulangan, 5.5
- Baja tulangan**, 5.5
- Balok**
- Distribusi tulangan lentur, 12.6
 - Lendutan—Tebal minimum, 11.5
 - Tanah—Dinding—Perencanaan, 16.7
- Balok di dalam tanah**—Dinding—Perencanaan, 16.7
- Balok-T**, 10.10
- Sayap/flens mengalami tarik—Tulangan tarik, 12.6
- Balok tunggal**, 10.10.4
- Batang bundel**
- Batasan spasi, 9.6
 - Penyaluran, 14.4
- Batang tulangan pada daerah hubungan balok-kolom (*offset*)**—Detail tulangan untuk kolom, 9.8
- Batang ulir**, 14.2, 14.3
- Tarik—Sambungan lewatan, 14.15
 - Tekan—Sambungan lewatan, 14.16
- Beban**
- Hidup—Definisi, 3.8
 - Hidup—Pengaturan, 10.9
 - Kerja/layan, 10.2
 - Kerja/layan—Definisi, 3.9
 - Mati—Definisi, 3.10
 - Terfaktor—Definisi, 3.11
- Beban aksial**
- Asumsi dalam perencanaan, 12.2
 - Prinsip perencanaan, 12.3
- Beban angin**, 10.2
- Beban dan gaya terfaktor**—Definisi, 23.1
- Beban gempa**, 10.2, 11.2
- Beban hidup**—Lihat beban, hidup
- Beban kerja/layan**—Lihat Beban, kerja/layan
- Beban kolom**—Penyaluran melalui sistem pelat lantai,
12.15
- Beban mati**—Lihat Beban, mati
- Beban terfaktor**—Lihat Beban, terfaktor
- Benda uji yang dirawat di laboratorium**—Uji, 7.6.3
- Bengkokan**—Tulangan, 9.2
- Beton**
- Definisi, 3.12
 - Evaluasi dan penerimaan, 7.6
 - Pencampuran, 7.8
 - Pengantaran, 7.9
 - Pengecoran, 7.10
 - Perancangan proporsi campuran, 7.2, 7.3, 7.4
 - Perawatan, 7.11
- Beton bertulang**—Definisi, 3.13
- Beton campuran**, 7.8
- Beton dengan kuat tekan rendah**, 7.6.5
- Beton polos**
- Definisi, 3.15
 - Struktur tahan gempa, 24.10
 - Struktural, 24.1, 24.2
- Beton polos struktural**
- Batasan, 24.2
 - Dinding, 24.6
 - Fondasi telapak, 24.7
 - Komponen struktur pracetak, 24.9
 - Kuat rencana, 24.5
 - Metode perencanaan, 24.4
 - Pedestal*, 24.8
 - Sambungan, 24.3
- Beton pracetak**
- Definisi, 3.16
 - Evaluasi kekuatan, 18.10
 - Distribusi gaya-gaya, 18.3
 - Integritas struktural, 18.5
 - Penanganan, 18.9
 - Perencanaan, 18.4
 - Perencanaan tumpuan, 18.6
- Beton prategang**, 20.1, 20.2
- Angkur dan penyambung (*coupler*) pasca tarik, 20.21
 - Asumsi perencanaan, 20.3
 - Daerah pengankuran tendon, 20.13
 - Definisi, 3.17
 - Geser, 13.4
 - Grout* untuk tendon dengan lekatan, 20.18
 - Kehilangan prategang, 20.6
 - Komponen struktur lentur—Batasan tulangan, 20.8
 - Komponen struktur tekan, 20.11

- Kuat lentur, 20.7
- Lendutan, 11.5
- Pemberian gaya prategang, 20.20
- Pengukuran gaya prategang, 20.20
- Perlindungan terhadap karat untuk tendon tanpa lekatan, 20.16
- Perlindungan untuk tendon prategang, 20.19
- Perlindungan untuk tendon prategang tanpa lekatan, 20.16
- Puntir/torsi, 13.6
- Rangka dan struktur menerus, 20.10
- Selongsong pasca tarik, 20.17
- Sistem pelat, 20.12
- Struktur statis tak-tentu, 20.10
- Tegangan ijin—Komponen struktur lentur, 20.4
- Tegangan ijin tendon, 20.5
- Tulangan non-prategang minimum, 20.9
- Beton ringan**
 - Definisi, 3.18
 - Kuat geser, 13.2
 - Kuat tarik belah, 7.1
- Beton yang ditambah air lagi (*retempered*), 7.10**
- Bukaan**
 - Pelat, 13.12
 - Pelat dua arah, 15.4
- Cangkang**
 - Definisi, 21.1
 - Kuat bahan, 21.3
 - Pelaksanaan konstruksi, 21.5
 - Tulangan, 21.4
- Cangkang tipis—Definisi, 21.1**
- Cara perencanaan langsung—Pelat, 15.6**
- Cara rangka ekuivalen—Pelat, 15.7**
- Cetakan (*formwork*)**
 - Beton prategang, 8.1
 - Pembongkaran, 8.2
 - Perencanaan, 8.1
- Dasar struktur—Definisi, 23.1**
- Definisi, 3, 15.2, 21.1, 23.1**
- Diafragma struktural—Definisi, 23.1**
 - Rangka batang, 23.7
- Dinding**
 - Balok di dalam tanah—Perencanaan, 16.7
 - Beton polos struktural, 24.6
 - Ketentuan khusus, 13.10
 - Perencanaan empiris, 16.5
 - Perencanaan struktural, 16.1
- Dinding langsing, 16.8**
 - Perencanaan alternatif, 16.8
- Dinding penumpu**
 - Perencanaan, 16.2
 - Pracetak, 18.4
- Dinding struktural—Definisi, 23.1**
 - Beton biasa—Definisi, 23.1
 - Beton khusus—Definisi, 23.1
- Elemen kolektor—Definisi, 23.1**
- Elemen pengikat—Definisi, 23.1**
- Evaluasi dan penerimaan beton, 7.6**
- Evaluasi kekuatan, 18.10, 22.1**
 - Evaluasi analisis, 22.1
 - Keamanan, 22.7
 - Kriteria pembebanan, 22.4
 - Syarat penerimaan, 22.5
 - Tingkat pembebanan yang lebih rendah, 22.6
 - Uji beban, 22.3
- Fondasi, 23.8**
- Fondasi pelat penuh—Kombinasi, 17.10**
- Fondasi telapak, 17.1**
 - Beban dan reaksi, 17.2
 - Beton polos struktural, 24.7
 - Geser, 13.12, 17.5
 - Kombinasi, 17.10
 - Mendukung kolom lingkaran atau segi banyak, 17.3
 - Miring atau berundak, 17.9
 - Momen, 17.4
 - Penyaluran gaya-gaya pada dasar kolom atau pedestal, 17.8
 - Penyaluran tulangan, 17.6
 - Tebal minimum, 17.7
- Friksi kelengkungan—Definisi, 3, 20.6**
- Friksi wobble—Definisi, 3.23, 20.6**
- Gaya jacking—Definisi, 3.24**
- Gaya lateral yang ditetapkan—Definisi, 23.1**
- Geser**
 - Dinding, 13.10
 - Fondasi telapak, 13.12, 17.5
 - Horizontal—Senggang pengikat—Komponen struktur lentur komposit, 19.6
 - Komponen struktur lentur tinggi, 13.8
 - Konsol pendek, 13.9
 - Metode desain alternatif, 25.7
 - Pelat, 13.12, 15.6
- Geser-friksi, 13.7**
 - Metode desain alternatif, 25.7
- Grout—Prategang dengan lekatan, 20.18**
- Integritas struktural**
 - Ketentuan, 9.13, 18.5
- Inti baja struktural—Beton yang berselubung, 12.16**
- Jaring kawat las, 5.5**
 - Bengkokan, 9.2
 - Penempatan, 9.5
 - Polos—Penyaluran, 14.8
 - Polos—Sambungan lewatan, 14.19
 - Ulir—Penyaluran, 14.7
 - Ulir—Sambungan lewatan, 14.18
- Kait**
 - Gempa, 23.1

- Penyaluran, 14.13
- Standar, 9.1
- Kait gempa—Definisi**, 23.1
- Keamanan—Evaluasi kekuatan**, 22.7
- Kehilangan prategang**, 20.6
- Kejut (*impact*)**, 11.2.6
- Kekakuan**, 10.6
- Ketentuan tulangan puntir/torsi**, 13.6
- Klorida—Bahan tambahan**, 5.6.3
- Kolom**
 - Definisi, 3.25
 - Detail tulangan khusus, 9.8
 - Ekivalen—Perencanaan pelat, 15.7
 - Inti baja, 9.8.2
 - Penyaluran momen, 13.11
 - Perencanaan, 10.8
 - Sambungan lewatan tulangan, 14.17
- Kombinasi beban rencana—Definisi**, 23.1
- Komponen batas—Definisi**, 23.1
- Komponen batas khusus**, 23.1
- Komponen struktur dengan beban aksial—Pendukung sistem pelat**, 12.14
- Komponen struktur lentur—Batasan tulangan**, 12.5, 20.8
- Komponen struktur lentur beton komposit**, 19.1, 19.2
 - Definisi, 3.27
 - Kuat geser horizontal, 19.5
 - Kuat geser vertikal, 19.4
 - Penopangan, 19.3
 - Senggang pengikat untuk geser horizontal, 19.6
- Komponen struktur lentur tinggi**, 12.7
 - Ketentuan khusus untuk geser, 13.8
- Komponen struktur pracetak—Beton polos struktural**, 24.9
- Komponen struktur puntir/torsi—Perencanaan pelat**, 15.7
- Komponen struktur tekan**
 - Beton prategang, 20.11
 - Dimensi rencana, 12.8
 - Metode desain alternatif, 25.6
 - Panjang efektif, 12.11
 - Pembatasan untuk tulangan, 12.9
 - Pengaruh kelangsingan, 12.10, 12.11
- Komponen struktur tekan komposit—Beban aksial**, 12.16
- Konsol pendek—Ketentuan geser**, 13.9
- Konsol pendek—Ketentuan geser**, 13.9
- Konstruksi dua arah—Lendutan**, 11.5
- Konstruksi komposit—Lendutan**, 11.5
- Konstruksi pelat rusuk**, 10.11
- Konstruksi yang ditopang**, 11.5
- Konstruksi yang tidak ditopang**, 11.5
- Korosi**
 - Perlindungan tendon prategang tanpa lekatan, 20.16
 - Perlindungan tulangan, 6.4
- Kualitas beton**, 7.1
- Kuat, nominal—Definisi**, 3.28
- Kuat, perlu**, 11.2
 - Definisi, 3.29
- Kuat, rencana**, 11.1, 11.3
 - Beton polos struktural, 24.5
 - Definisi, 3.30
 - Tulangan, 11.4
- Kuat geser**, 13.1
 - Beton—Komponen struktur non-prategang, 13.3
 - Beton—Komponen struktur prategang, 13.4
 - Beton ringan, 13.2
 - Horizontal—Komponen struktur lentur komposit, 19.5
 - Vertikal—Komponen struktur lentur komposit, 19.4
- Kuat momen puntir/torsi**, 13.6
- Kuat nominal—Lihat Kuat, nominal**
- Kuat perlu—Lihat Kuat, perlu**
- Kuat rencana**, 11.3
 - Komponen struktur lentur dan tekan bertulang dan prategang, 11.3
 - Lihat juga Kuat, rencana
 - Tulangan, 11.4
- Kuat tarik—Beton**, 12.2
- Kuat tarik belah (f_{ct})—Definisi**, 3.31
- Kuat tarik leleh—Definisi**, 3.32
- Kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c')—Definisi**, 3.33
- Kuat tumpu**, 12.17
- Lantai—Penyaluran beban kolom**, 12.15
- Lendutan**
 - Konstruksi beton non-prategang, 11.5
 - Konstruksi beton prategang, 11.5
 - Konstruksi komposit, 11.5
 - Kontrol, 11.5
 - Maksimum, 11.5
- Metode analisis**, 10.3
- Metode desain alternatif**, 25.1, 25.2
 - Geser dan puntir, 25.7
 - Komponen tekan, 25.6
 - Lentur, 25.5
 - Panjang penyaluran dan sambungan lewatan untuk tulangan, 25.4
 - Tegangan ijin untuk beban kerja, 25.3
- Metode perencanaan**, 10.1
 - Beton polos struktural, 24.4
- Modulus elastisitas**, 10.5
 - Definisi, 3.34
- Momen**
 - Fondasi telapak, 17.4
 - Negatif—Redistribusi, 10.4, 20.10
 - Negatif—Tulangan—Penyaluran, 14.12
 - Perencanaan, 10.3
 - Perencanaan pelat, 15.6
 - Positif—Tulangan—Penyaluran, 14.11
- Notasi**, Lampiran A
- Panjang bentang**, 10.7
- Panjang penanaman—Definisi**, 3.35
- Panjang penyaluran—Definisi**, 3.36
- Panjang penyaluran batang tulangan dengan kait standar—Definisi**, 23.1
- Pasca tarik—Definisi**, 3.37

- Luar, 20.22
- Pedestal**
 - Beton polos struktural, 24.8
 - Definisi, 3.26
- Pelat**
 - Dua arah—Bukaan, 15.4
 - Dua arah—Definisi, 15.2
 - Dua arah—Cara perencanaan, 15.5
 - Dua arah—Cara perencanaan langsung, 15.6
 - Dua arah—Cara rangka ekuivalen, 15.7
 - Dua arah—Penulangan, 15.3
 - Dua arah—Perencanaan, 15.3
 - Ketentuan geser, 13.12
 - Penyaluran momen ke kolom, 13.11
 - Satu arah—Distribusi tulangan lentur, 12.6
 - Satu arah—Lendutan—Tebal minimum, 11.5
- Pelat lipat—Definisi, 21.1**
- Pembebanan, 10.2**
- Pembengkakan, 9.3**
- Penanaman—Penyaluran tulangan, 14.13**
- Pendukung lateral—Jarak antara untuk komponen struktur lentur, 12.4**
- Pendukung pelat—Komponen struktur dengan beban aksial, 12.14**
- Penebalan panel setempat (*drop panel*)—Tulangan pelat dua arah, 15.3**
- Penerimaan beton, 7.6**
- Pengambilan contoh uji, 7.6**
- Pengantaran beton, 7.9**
- Pengaruh kelangsingan**
 - Evaluasi, 12.11, 12.12, 12.13
 - Komponen struktur tekan, 12.10
- Pengaruh lingkungan**
 - Ketentuan selimut, 9.7
 - Persyaratan khusus, 6.1, 6.2, 6.3
- Pengaruh lingkungan yang mengandung sulfat, 6.3**
- Pengecoran**
 - Kecepatan—Cetakan (*formwork*), 8.1
 - Persiapan peralatan dan tempat pengecoran, 7.7
- Pengecoran beton, 7.10**
- Pengecoran cuaca panas, 7.12**
- Pengikat silang—Definisi, 23.1**
- Pengujian, bahan, 5.1**
- Pengujian untuk penerimaan beton, 7.6**
- Penopangan—Cetakan—Pembongkaran, 8.2**
- Penopangan kembali**
 - Cetakan—Pembongkaran, 8.2
- Penurunan—Kuat perlu, 11.2**
- Penutup lantai, terpisah, 10.12**
- Penyaluran**
 - Angkur mekanis, 14.6
 - Batang ulir yang berada dalam kondisi tekan, 14.3
 - Bundel tulangan, 14.4
 - Jaring kawat polos yang berada dalam kondisi tarik, 14.8
 - Jaring kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik, 14.7
 - Kait, 14.5
 - Sambungan lewatan, 14.14
 - Sambungan lewatan pada tulangan kolom, 14.17
 - Sambungan lewatan untuk tulangan, 14.15
 - Strand* prategang, 14.9
 - Tulangan, 14.1
 - Tulangan—Metode desain alternatif, 25.4
 - Tulangan badan, 14.13
 - Tulangan fondasi telapak, 17.6
 - Tulangan lentur, 14.10
 - Tulangan momen negatif, 14.12
 - Tulangan momen positif, 14.11
 - Tulangan ulir yang berada dalam kondisi tarik, 14.2
- Penyaluran momen—Kolom, 13.11**
- Penyambung (*Coupler*)—Pasca tarik, 20.21**
- Penyatuan atau penyambungan dengan menggunakan las—Tulangan—Penempatan, 9.5**
- Penyimpanan—Bahan, 5.7**
- Penyimpanan bahan-bahan, 5.7**
- Peralatan pencampur dan pengecor, 7.7**
- Peralatan pengecoran, 7.7**
- Perancangan proporsi campuran, 7.2, 7.3, 7.4**
- Perangkat angkur—Definisi, 3.38**
 - Strand* majemuk—Definisi, 3.40
 - Strand* tunggal—Definisi, 3.39
- Perawatan benda uji di lapangan—Uji, 7.6.4**
- Perawatan beton, 7.11**
 - Dipercepat, 7.11.3
- Perawatan uap, 7.11**
- Perbesaran momen**
 - Lentur bi-aksial, 12.11
 - Rangka portal bergoyang, 12.11
- Perbesaran momen, 12.11**
 - Rangka portal bergoyang, 12.13
 - Rangka portal tak bergoyang, 12.12
- Perbesaran momen—Pengaruh kelangsingan—Komponen struktur tekan, 12.11**
- Perencanaan gempa**
 - Definisi, 23.1
 - Dinding struktural, dan balok perangkai, 23.6
 - Hubungan balok-kolom pada SRPMK, 23.5
 - Ketentuan kuat geser, 23.4, 23.5, 23.6
 - Ketentuan umum, 23.2
 - Komponen struktur lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), 23.3
 - Komponen struktur rangka, 23.4, 23.9, 23.10
 - Komponen struktur SRPMK, 23.4
- Perhitungan, 4.1.2**
- Perpindahan rencana—Definisi, 23.1**
- Pipa**
 - Baja—Tulangan, 5.5
 - Ditanam, 8.3
- Pozzolan, 5.6**
- Pratarik—Definisi, 3.41**
- Prategang efektif—Definisi, 3.42**
- Program komputer, 4.1.2**
- Puntir/torsi**
 - Metode desain alternatif, 25.7
 - Perencanaan, 13.6

- Radius girasi—Komponen struktur tekan—Pengaruh kelangsingan**, 12.11
- Rangka—Beton prategang**, 20.10
- Rangka batang struktural—Definisi**, 23.1
- Rangka pemikul momen—Definisi**, 23.1
- Biasa—Definisi, 23.1
 - Khusus—Definisi, 23.1
 - Menengah—Definisi, 23.1
- Rangka portal bergoyang—Perbesaran momen**, 12.13
- Rangka portal tak bergoyang—Perbesaran momen**, 12.12
- Rangkak—Kuat perlu**, 11.2
- Rasio air-semen**, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 7.2, 7.3
- Reduksi kuat**, 7.5
- Regangan—Tulangan**, 12.2
- Ruang lingkup tata cara**, 1
- Saluran, ditanam**, 8.3
- Saluran atau pipa aluminium**, 8.3.2
- Saluran dan pipa yang ditanam**, 8.3
- Sambungan**
- Tulangan, 9.9
- Sambungan—Beton polos struktural**, 24.3
- Sambungan lewatan**, 14.14
- Jaring kawat polos, 14.19
 - Jaring kawat ulir, 14.18
 - Kolom, 14.17
 - Lewatan, 14.14, 14.15, 14.16
 - Metode desain alternatif, 25.4
 - Tumpuan ujung, 14.16
- Sambungan lewatan—Penyaluran tulangan**, 14.14, 14.15, 14.16
- Sambungan lewatan las—Tarik—Tulangan**, 14.14, 14.16, 14.17
- Sambungan lewatan mekanis—Penyaluran tulangan**, 14.14
- Selimut**, 9.7
- Selongsong**
- Batasan spasi, 9.6.7
 - Pasca tarik, 20.17
- Semen**, 5.2
- Semen ekspansif**, 5.2
- Sengkang**
- Definisi, 3.43
 - Ketentuan tulangan geser, 13.5
 - Penyaluran, 14.13
- Sengkang pengikat**, 9.10
- Definisi, 3.44
 - Geser horizontal—Komponen struktur lentur komposit, 19.6
 - Inti baja terselubung dalam beton, 12.16
- Sengkang pengikat—Definisi**, 3.44
- Sengkang tertutup—Definisi**, 23.1
- Siar pelaksanaan**, 8.4
- Silinder—Pengujian**, 7.6
- Sistem pelat—Beton prategang**, 20.12
- Sistem pemikul gaya lateral—Definisi**, 23.1
- Spasi—Tulangan—Batasan**, 9.6
- Spiral**, 9.10
- Standar yang dirujuk dalam tata cara ini**, 2
- Strand prategang—Penyaluran**, 14.9
- Strat—Definisi**, 23.1
- Struktur menerus—Beton prategang**, 20.10
- Susut—Kuat perlu**, 11.2
- Tabung—Tulangan**, 5.5
- Tebal, minimum—Lendutan—Balok non-prategang atau pelat satu arah**, 11.5
- Tegangan**
- Beban kerja/layan—Ijin—Metode desain alternatif, 25.3
 - Definisi, 3.45
 - Ijin—Komponen struktur lentur prategang, 20.4
 - Ijin—Tendon prategang, 20.5
 - Tulangan, 12.2
- Tegangan beban kerja/layan—Ijin—Metode desain alternatif**, 25.3
- Tekanan cairan, lateral**, 11.2
- Tekanan tanah**, 11.2
- Tendon—Prategang**, 5.5
- Daerah pengankuran, 20.13
 - Definisi, 3.47
 - Perlindungan, 20.19
- Tendon dengan lekatan—Definisi**, 3.47
- Tendon prategang**, 5.5
- Batasan spasi, 9.6
 - Kondisi permukaan, 9.4
- Tinggi efektif penampang (d)—Definisi**, 3.48
- Toleransi—Penempatan tulangan**, 9.5
- Transfer—Definisi**, 3.49
- Tulangan**
- Angkur mekanis—Penyaluran, 14.6
 - Anyaman, 5.5
 - Badan—Penyaluran, 14.13
 - Baja struktural, 5.5
 - Batasan—Komponen struktur lentur prategang, 20.8
 - Batasan spasi, 9.6
 - Bundel tulangan—Batasan spasi, 9.6
 - Bundel tulangan—Penyaluran, 14.4
 - Cangkang, 21.4
 - Definisi, 3.50
 - Detail khusus untuk kolom, 9.8
 - Fondasi telapak—Penyaluran, 17.6
 - Geser—Ketentuan, 13.5
 - Geser—Metode desain alternatif, 25.7
 - Geser—Minimum, 13.5
 - Integritas struktural, 9.13, 18.5
 - Jaring kawat polos—Sambungan lewatan, 14.19
 - Jaring kawat polos dalam kondisi tarik, 14.8
 - Jaring kawat ulir—Penyaluran, 14.7
 - Kait—Penyaluran, 14.5
 - Kolom—Sambungan lewatan, 14.17
 - Kondisi permukaan, 9.4
 - Kuat rencana, 11.4
 - Lateral pada komponen struktur tekan, 9.10
 - Lateral untuk komponen struktur lentur, 9.11
 - Lentur—Distribusi pada balok dan pelat satu arah, 12.6
 - Lentur—Penyaluran, 14.10

- Minimum—Komponen struktur lentur, 12.5
 - Momen negatif—Penyaluran, 14.12
 - Momen positif—Penyaluran, 14.11
 - Non-prategang minimum—Beton prategang, 20.9
 - Pelat, 15.3
 - Pelat dua arah, 15.3
 - Pembatasan untuk komponen struktur tekan, 12.9
 - Pembengkokan, 9.3
 - Penempatan, 9.5
 - Penempatan—Penyatuan atau penyambungan dengan menggunakan las, 9.5
 - Penyaluran, 14.1
 - Penyaluran dan sambungan lewatan—Metode desain alternatif, 25.4
 - Perlindungan terhadap karat untuk tendon prategang tanpa lekatan, 20.16
 - Pipa baja, 5.5
 - Polos, 5.5
 - Polos—Definisi, 3.51
 - Sambungan, 9.9
 - Sambungan lewatan, 14.14
 - Strand* prategang—Penyaluran, 14.9
 - Suhu, 9.12
 - Susut, 9.12
 - Tabung, 5.5
 - Tendon prategang—Perlindungan, 20.19
 - Transversal, 10.10
 - Uji lentur, 5.5
 - Ulir, 5.5
 - Ulir—Definisi, 3.52
 - Ulir—Penyaluran dalam kondisi tarik, 14.2
 - Ulir—Penyaluran dalam kondisi tekan, 14.3
 - Ulir—Tarik—Sambungan lewatan, 14.15
 - Ulir—Tekan—Sambungan lewatan, 14.16
 - Tulangan badan—Penyaluran, 14.13**
 - Tulangan lateral**
 - Komponen struktur lentur, 9.11
 - Komponen struktur tekan, 9.10
 - Tulangan lentur**
 - Penyaluran, 14.10
 - Prinsip perencanaan, 12.3
 - Tulangan minimum—Komponen struktur lentur, 12.5**
 - Tulangan non-prategang—Minimum—Beton prategang, 18.9**
 - Tulangan polos—Definisi, 3.51**
 - Tulangan spiral**
 - Definisi, 3.53
 - Inti baja struktural, 12.16
 - Tulangan suhu, 9.12**
 - Tulangan susut, 9.12**
 - Tulangan ulir—Definisi, 3.52**
- Uji beban, 22.3**
- Kriteria pembebanan, 22.4
- Voute—Pengaruh pada kekakuan, 10.6**
- Zona angkur—Definisi, 3.54**
- Perencanaan untuk tendon *strand* majemuk, 20.15
 - Perencanaan untuk tendon *strand* tunggal atau batang tunggal diameter 16 mm, 20.14
 - Tendon pasca tarik, 20.13, 20.14, 20.15
 - Tendon prategang, 20.13

**DOKUMEN INI DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG
HAK CIPTA**

Jika copy tambahan diperlukan, secara keseluruhan atau sebagian,
hubungi Penulis atau Penerbit:

Kampus ITS
Keputih-Sukolilo
Surabaya 60111
Indonesia



Telp. 031 5999490, e-mail : itspress@its.ac.id