

MODUL – 5

LENTUR PADA BALOK T dan L (Tulangan Tunggal)

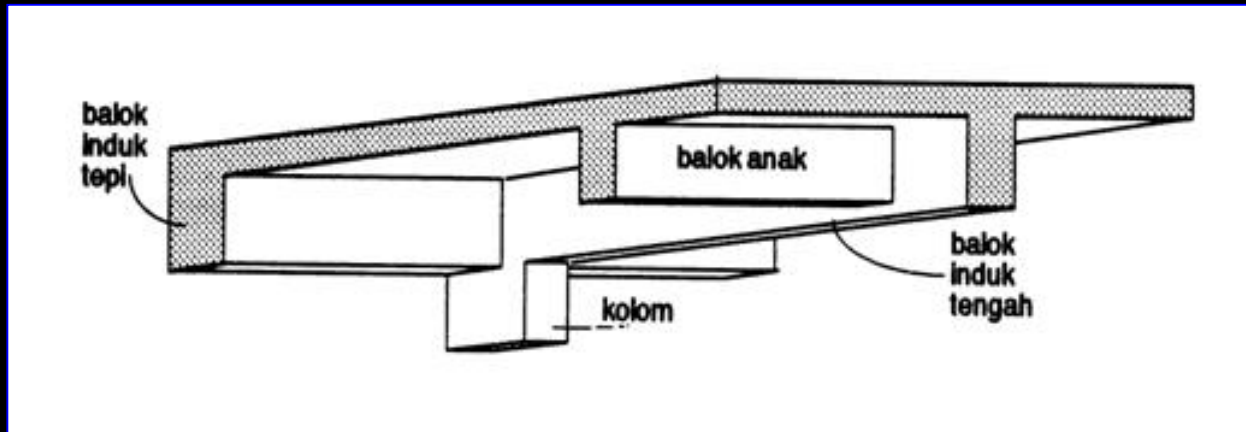
Oleh

Ir. Darmansyah Tjitradi, ST., MT., IPM.

TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS:

- Mampu memahami momen nominal dan ultimit pada balok T dan L
- Mampu menganalisis & mendesain penulangan balok T dan L bertulangan tunggal akibat momen lentur

ANALISIS BALOK T DAN BALOK L



Pada penampang balok T dan L yang flensnya tertekan dapat direncanakan/dianalisis dengan cara seperti balok persegi. Flens menyediakan luas bidang tekan yang besar, oleh sebab itu tdk perlu meninjau baja tekan yg diperlukan.

Namun jika diperlukan, perencanaan dapat menggunakan prinsip balok persegi dengan tulangan rangkap.

BALOK T DAN BALOK L



Struktur Beton Bertulang-1



Modul - 5

BALOK L



BALOK T



BALOK T



BALOK T dan L



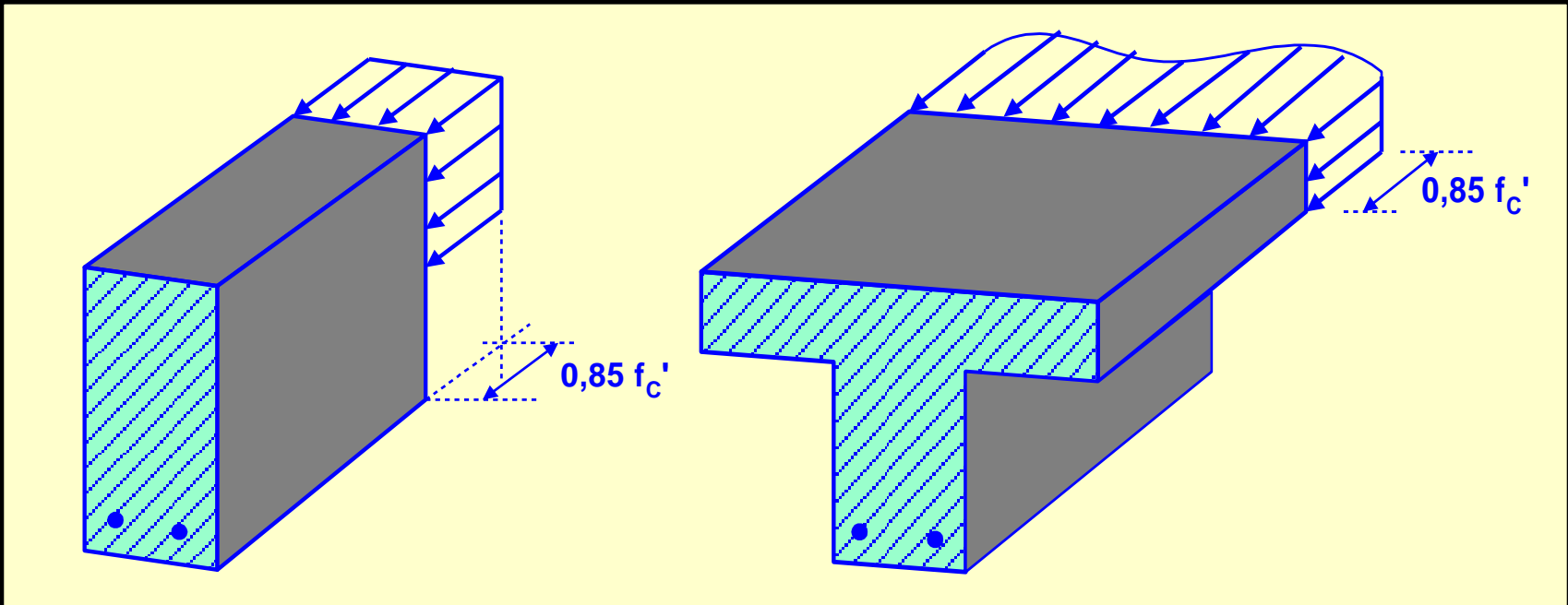
BALOK T Tunggal



Lebar Efektif Balok T & Balok L

Pada balok segiempat, tegangan leleh didaerah tekan merata dalam arah melintang.

Pada balok T dengan flens lebar dapat timbul tegangan tidak merata pada arah melintang karena terdapat deformasi geser pada arah tersebut (shear lag).

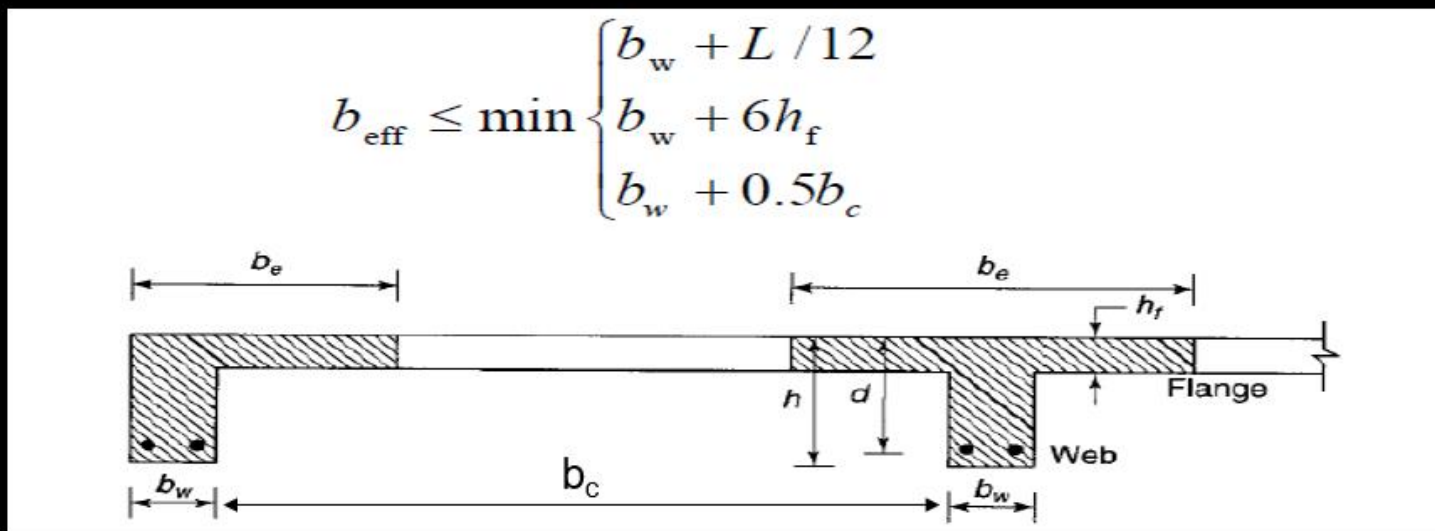
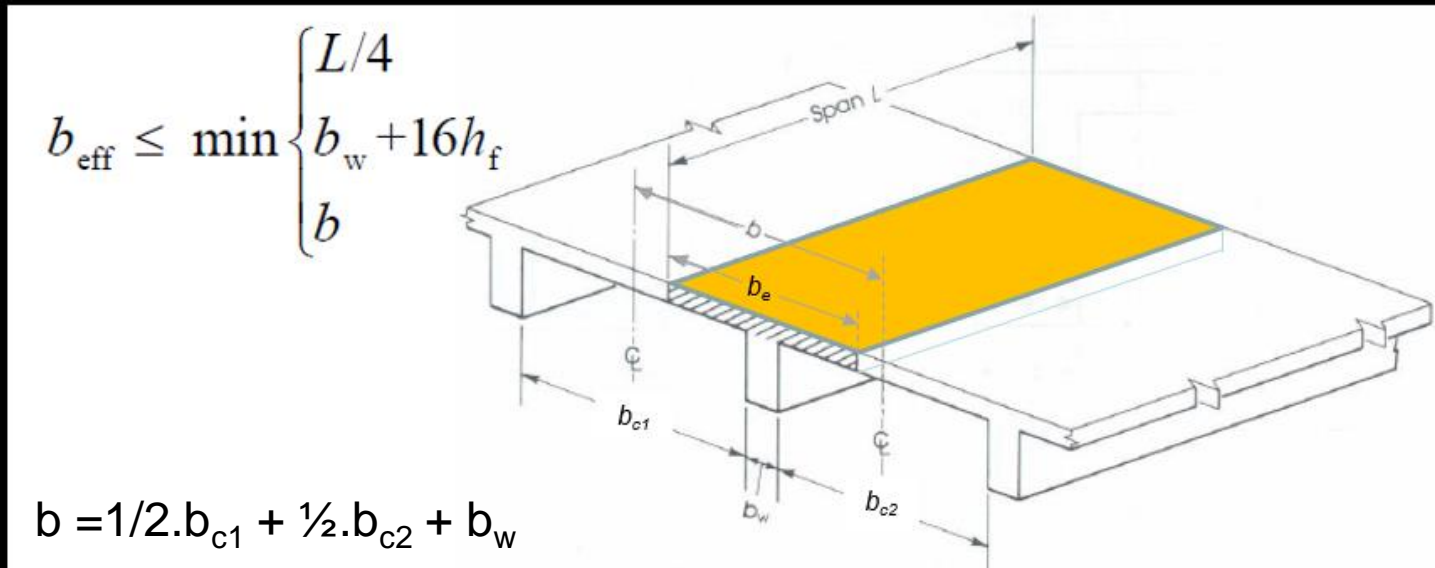


Lebar Efektif Balok T & Balok L Menurut SNI 03-2847-2002

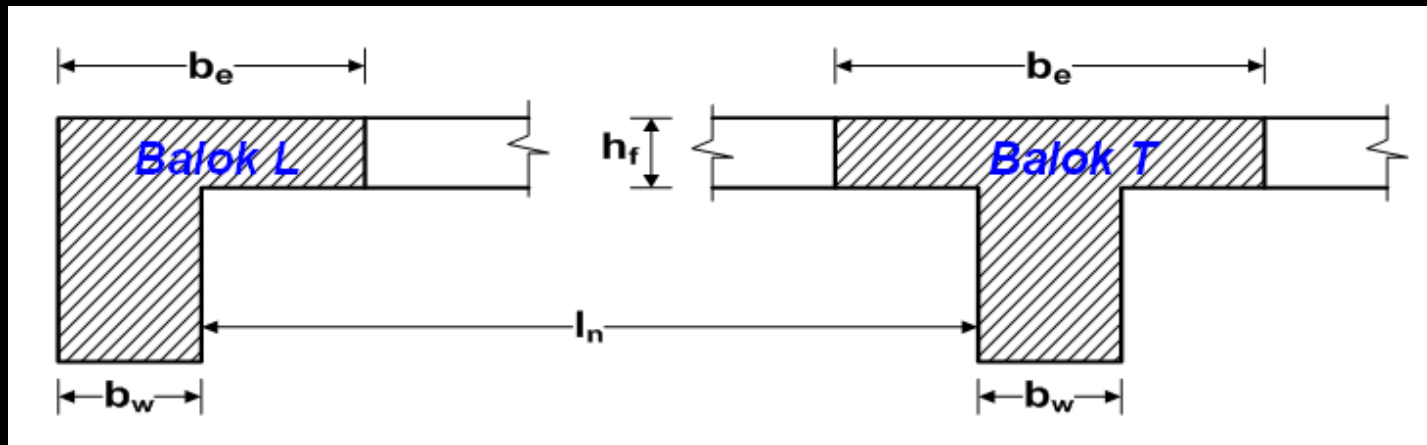
10.10 Konstruksi balok-T

- 1) Pada konstruksi balok-T, bagian sayap dan badan balok harus dibuat menyatu (monolit) atau harus dilekatkan secara efektif sehingga menjadi satu kesatuan.
- 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:
 - (1) delapan kali tebal pelat, dan
 - (2) setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.
- 3) Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap dari sisi badan tidak boleh lebih dari:
 - (1) seperduabelas dari bentang balok,
 - (2) enam kali tebal pelat, dan
 - (3) setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.
- 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.

Lebar Efektif Balok T & Balok L Menurut SNI 03-2847-2002



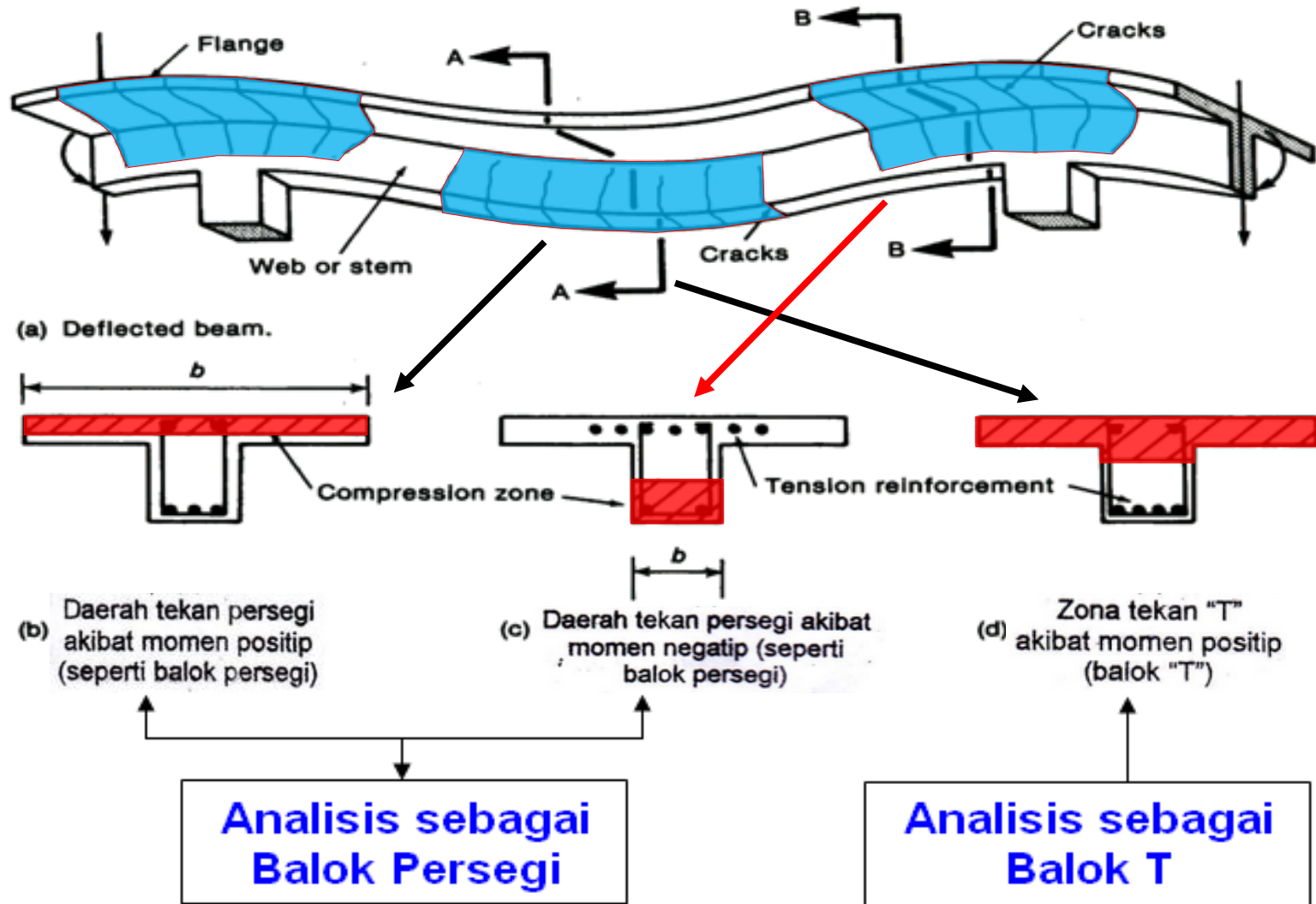
Lebar Efektif Balok T & Balok L Menurut SNI 03-2847-2002

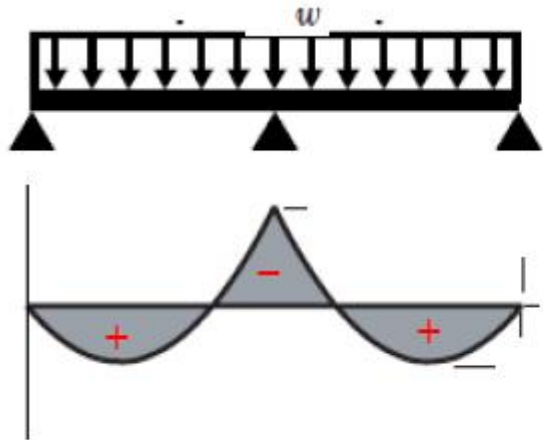


Lebar bagian slab yang dianggap bekerja sama dengan balok, harus memenuhi persyaratan berikut:

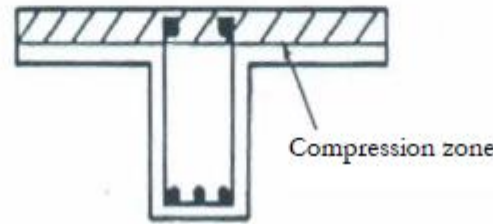
Balok T :	$b_e \leq 16 \cdot h_f + b_w$ $b_e \leq l_n + b_w$ $b_e \leq 1/4 \cdot L, \quad L = \text{bentang balok}$
Balok L :	$b_e \leq 6 \cdot h_f + b_w$ $b_e \leq 0,5 \cdot l_n + b_w$ $b_e \leq 1/12 \cdot L + b_w$
Balok T Tunggal :	$h_f \geq 0,5 \cdot b_w$ dan $b_e \leq 4 \cdot b_w$

Konsep Analisis Balok T & Balok L

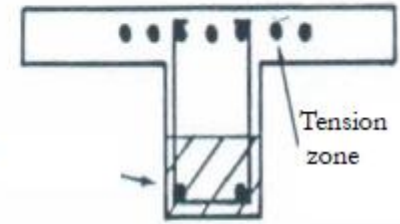




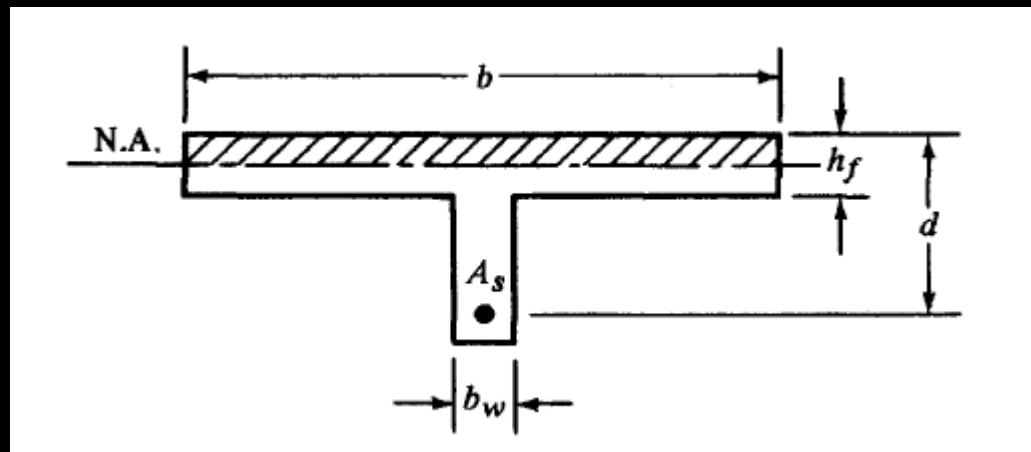
Moment Diagram



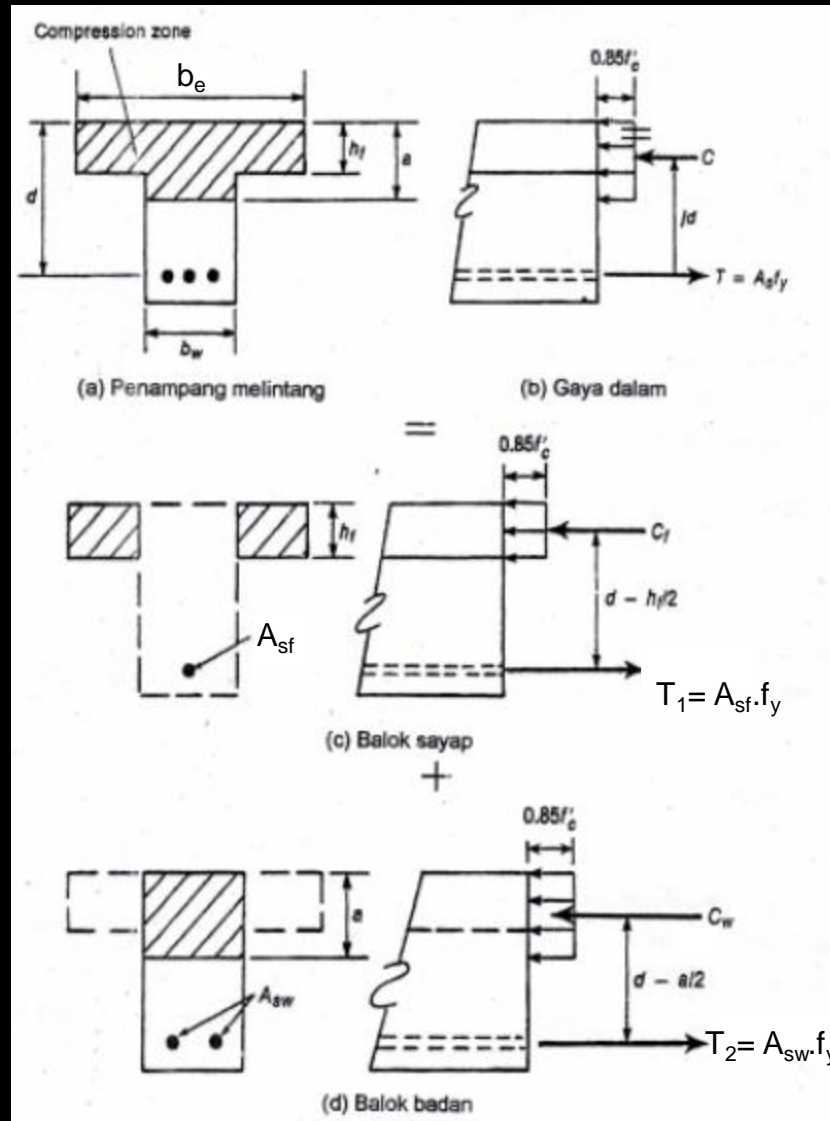
Section at midspan
Positive moment



Section at support
Negative moment



Konsep Analisis Balok T & Balok L



Konsep Analisis Balok T & Balok L

Ada dua kasus analisis:

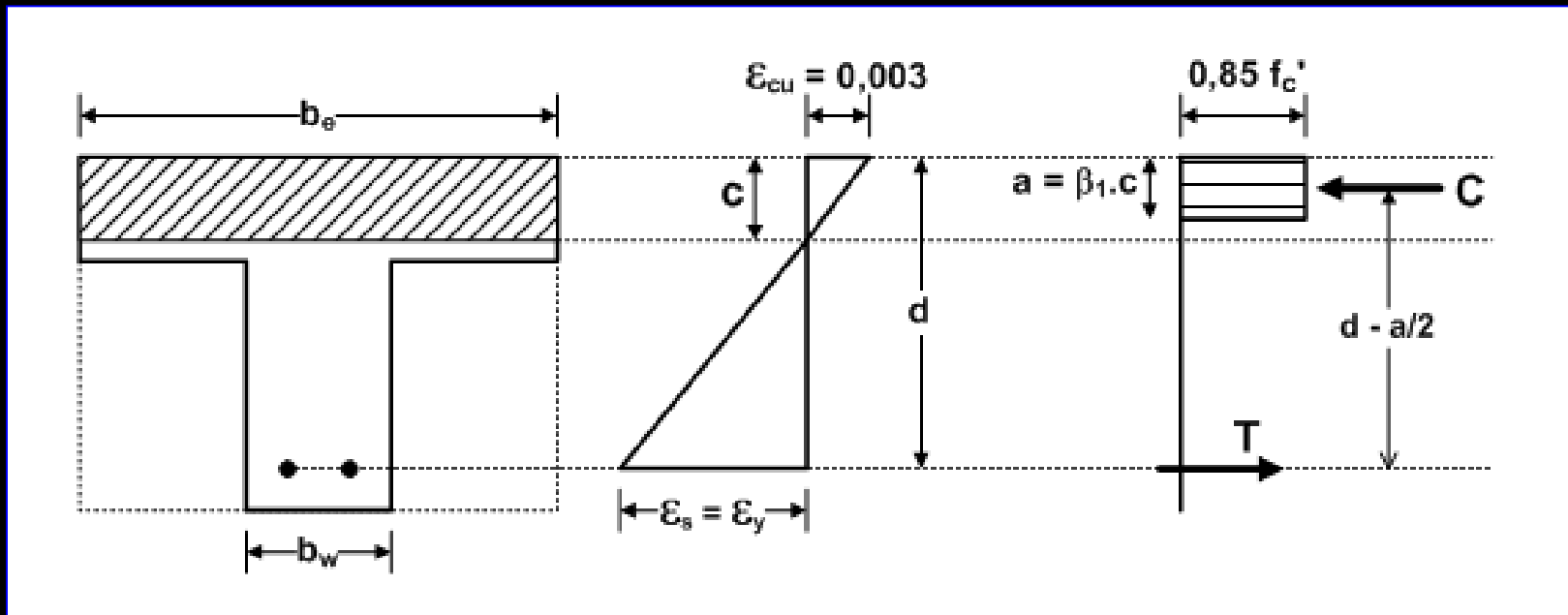
- 1. Bila sumbu netral lebih kecil atau sama dengan tebal slab (h_f), balok dapat dianalisis sebagai **BALOK PERSEGI** dengan lebar balok sama dengan flens efektif (b_e).**
- 2. Bila sumbu netral lebih besar dari tebal slab (h_f), analisis harus dilakukan dengan memperhatikan daerah tekan, balok dianalisis sebagai **BALOK T**.**

Konsep Analisis Balok T & Balok L

Kasus (1) :

Syarat : $a \leq h_f$ dan $c \leq \beta_1 \cdot h_f$ atau $A_s \leq A_{sf}$

Karena dalam kasus ini $a < h_f$, penampang dianggap sebagai balok persegi (**BERPENAMPANG SEGIEMPAT**) dengan lebar b_e .



Konsep Analisis Balok T & Balok L

Keseimbangan gaya internal, $C = T$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \Rightarrow a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} ; \text{ dimana } \rho = \frac{A_s}{b_e \cdot d}$$

Maka Momen Nominal penampang :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\text{atau } A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot (b_e - b_w)}{f_y}, \text{ dan } A_{sw} = A_s - A_{sf}$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_w = A_{sw} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_n = M_f + M_w$$

Keruntuhan tarik terjadi bila :

$$a < a_b ; \rho < \rho_b \text{ dengan } \rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

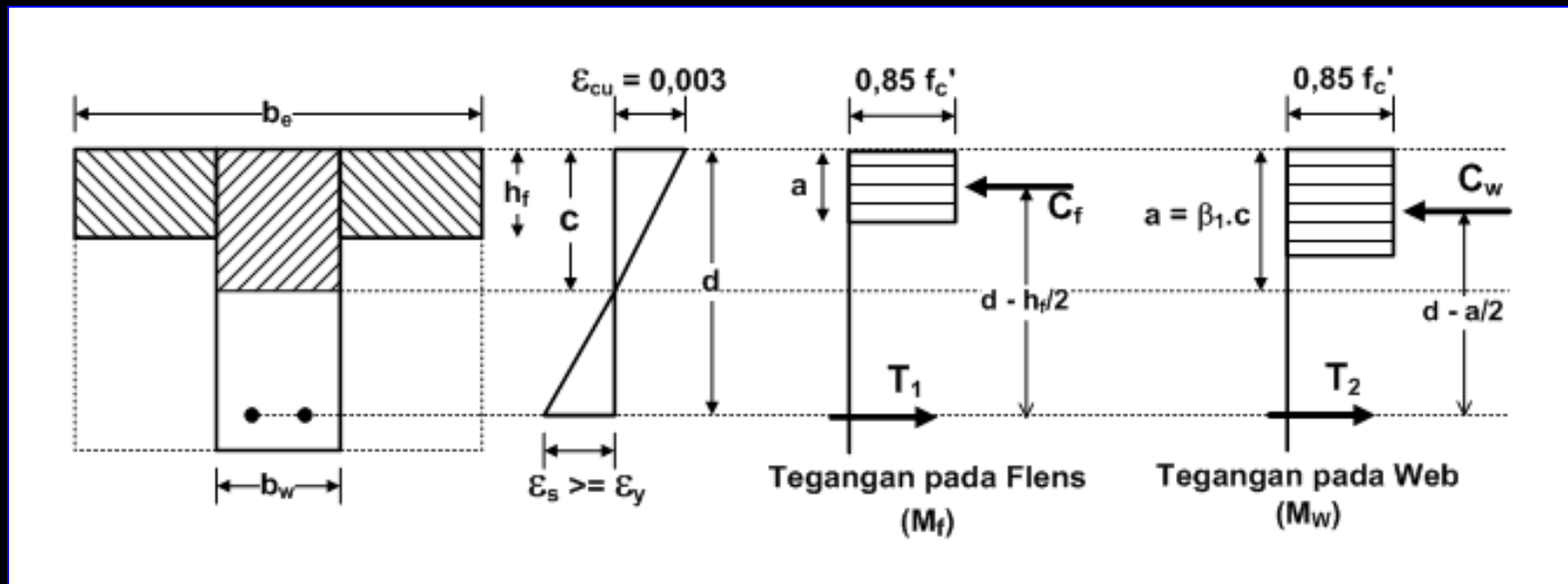
Konsep Analisis Balok T & Balok L

Kasus (2) :

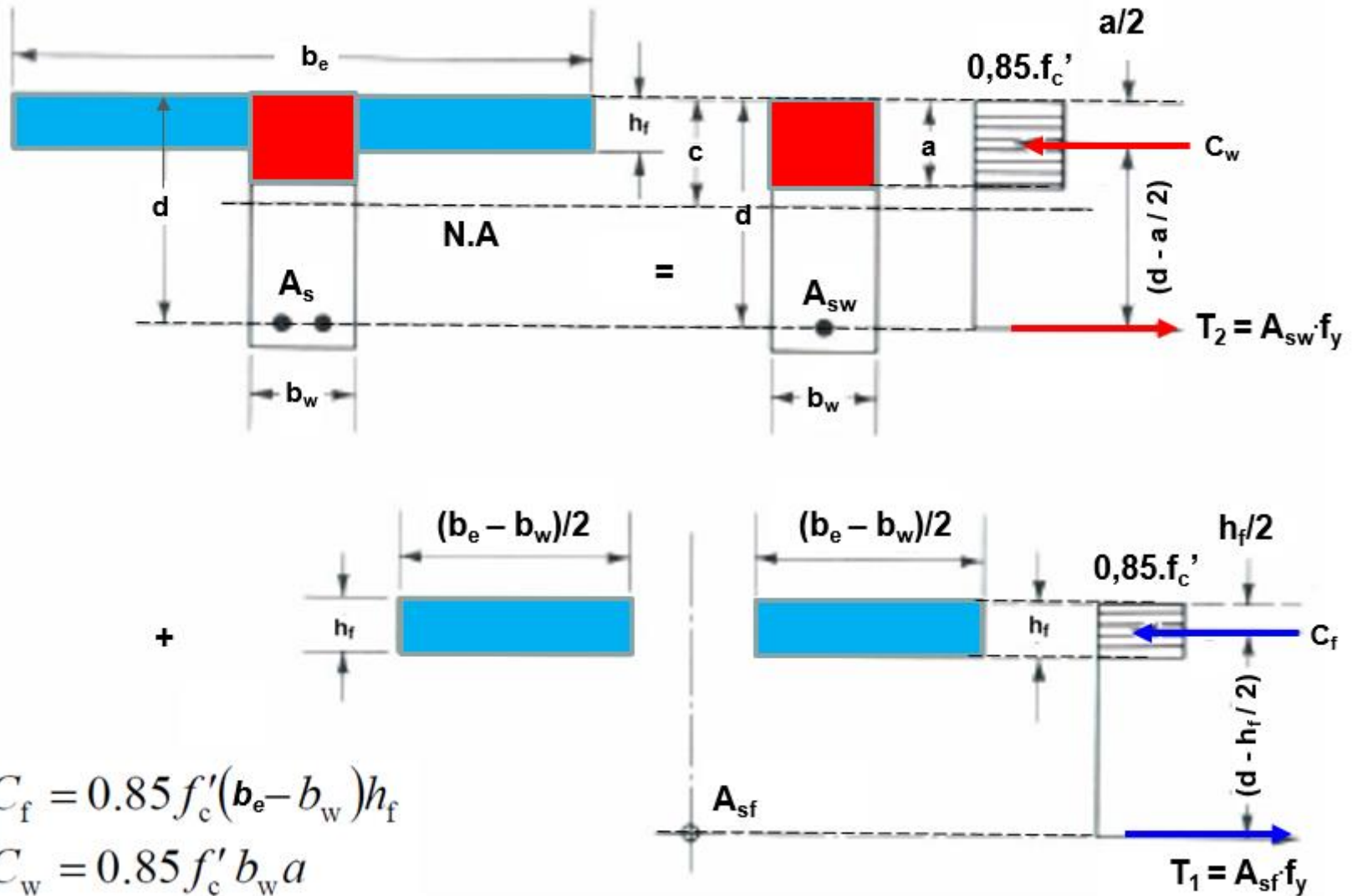
Syarat : $a > h_f$ dan $c > \beta_1 \cdot h_f$ atau $A_s > A_{sf}$

Karena dalam kasus ini $a > h_f$, maka penampang dianalisis sebagai BALOK T, kemudian dianalisis dengan memberikan tulangan dibadan (web), sebesar :

$$A_{sw} = A_s - A_{sf}$$



Konsep Analisis Balok T & Balok L



Bagian Flens:

$$T_1 = A_{sf} \cdot f_y$$

Gaya tekan beton pada bagian flens:

$$C_f = 0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)$$

dengan A_{sf} adalah luas tulangan yang pada kondisi tegangan leleh f_y akan mengimbangi gaya tekan pada bagian flens gantung yg. bertegangan $0,85 \cdot f_c'$

Keseimbangan gaya internal, $C_f = T_1$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w) = A_{sf} \cdot f_y \quad ; \quad A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y}$$

Maka Momen Nominal pada flens :

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

Bagian Web:

Luas tulangan sisanya, $A_{sw} = A_s - A_{sf}$, pada kondisi tegangan leleh f_y akan diimbangi oleh bagian balok segiempat.

$$T_2 = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y$$

Gaya tekan beton pada bagian web:

$$C_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a$$

Keseimbangan gaya internal, $C_w = T_2$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y \quad ; \quad a = \frac{(A_s - A_{sf}) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w}$$

Maka Momen Nominal pada web :

$$M_w = A_{sw} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Momen Lentur Nominal penampang :

$$M_n = M_f + M_w$$

$$M_n = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + A_{sw} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Momen Lentur Rencana Ultimit :

$$M_r = \phi M_n, \text{ dimana : } \phi = 0,80 \text{ untuk lentur}$$

KONDISI SEIMBANG BALOK T

Keseimbangan Horizontal :

$$T = T_1 + T_2 = C_f + C_w$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot c + 0,85 \cdot f_c' \cdot (b - b_w) \cdot h_f$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot c + A_{sf} \cdot f_y \Rightarrow x \frac{1}{f_y \cdot b_w \cdot d \cdot b_e}$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{c}{d} \right) + \rho_f}{b_e}$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} \right) + \rho_f}{b_e}$$

Jika didefinisi kan :

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{A_s}{b_e \cdot d} ; \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \text{ dan } \rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d}$$

Rasio tulangan seimbang :

$$\frac{c}{d} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \text{ maka: } c = \left[\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \right] \cdot d$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{0,003 \cdot E_s}{0,003 \cdot E_s + f_y} \right) + \rho_f}{b_e}$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) + \rho_f}{b_e}$$

$$\text{dim ana: } \bar{\rho}_b = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{\bar{\rho}_b + \rho_f}{b_e}$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f)$$

Rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$

DESAIN BALOK T UNTUK MOMEN NEGATIF

Balok T menerima momen negatif, maka flens akan mengalami tarik sehingga retak lentur akan terjadi pada balok dan pelat.

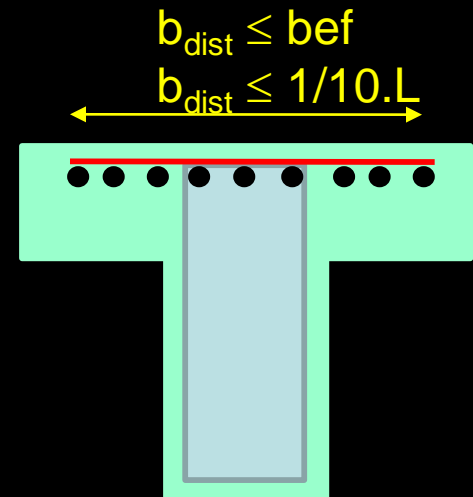
Peraturan SNI-02 pasal 12.6.6:

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.

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:

(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.

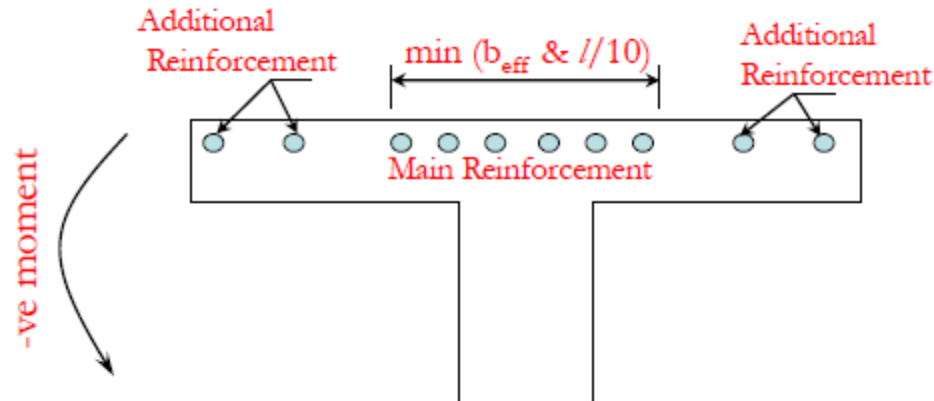
(2) Tulangan transversal harus dipasang dengan spasi tidak melebihi lima kali tebal pelat dan juga tidak melebihi 500 mm.



DESAIN BALOK T UNTUK MOMEN NEGATIF

Flange Reinforcement

When flanges of T-beams are in tension, part of the flexural reinforcement shall be distributed over effective flange width, or a width equal to one-tenth of the span, whichever is smaller



If $b_{eff} > l/10$, some longitudinal reinforcement shall be provided in outer portions of flange.

TULANGAN TARIK MINIMUM UNTUK MOMEN NEGATIF

Jika tulangan tarik sangat kecil ada kemungkinan momen desain penahannya (ϕMn) akan lebih kecil dari momen retaknya (M_{cr}), akibatnya balok akan runtuh tanpa ada peringatan begitu retak terjadi.

Pada Balok T ketika flens menerima tarik maka jumlah tulangan tarik yang diperlukan untuk membuat momen penahan ultimitnya sama dengan momen retaknya kira-kira dua kali jumlah tulangan tarik yang diperlukan pada penampang persegi atau penampang T yang flensnya menerima tekan.

Peraturan SNI-02 pasal 12.5.2 dn 12.5.3:

2) Pada balok-T statis tertentu dengan bagian sayap tertarik sebagaimana dapat dijumpai pada balok kantilever, A_{smin} tidak boleh kurang dari nilai terkecil di antara:

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{2f_y} b_w d \quad (22)$$

dan

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_f d \quad (23)$$

dengan b_f adalah lebar bagian sayap penampang.

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.

Batas Penulangan untuk Balok Berflens

- Batas tulangan minimum (Pasal 12.5.1)
 - Plat sayap tertekan

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 f_y} .bw.d \geq \frac{1,4}{f_y} .bw.d$$

- Batas tulangan minimum (Pasal 12.5.2)
 - Plat sayap tertarik
 - A_{smin} tidak boleh kurang dari nilai terkecil diantara:

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{2 f_y} .bw .d$$

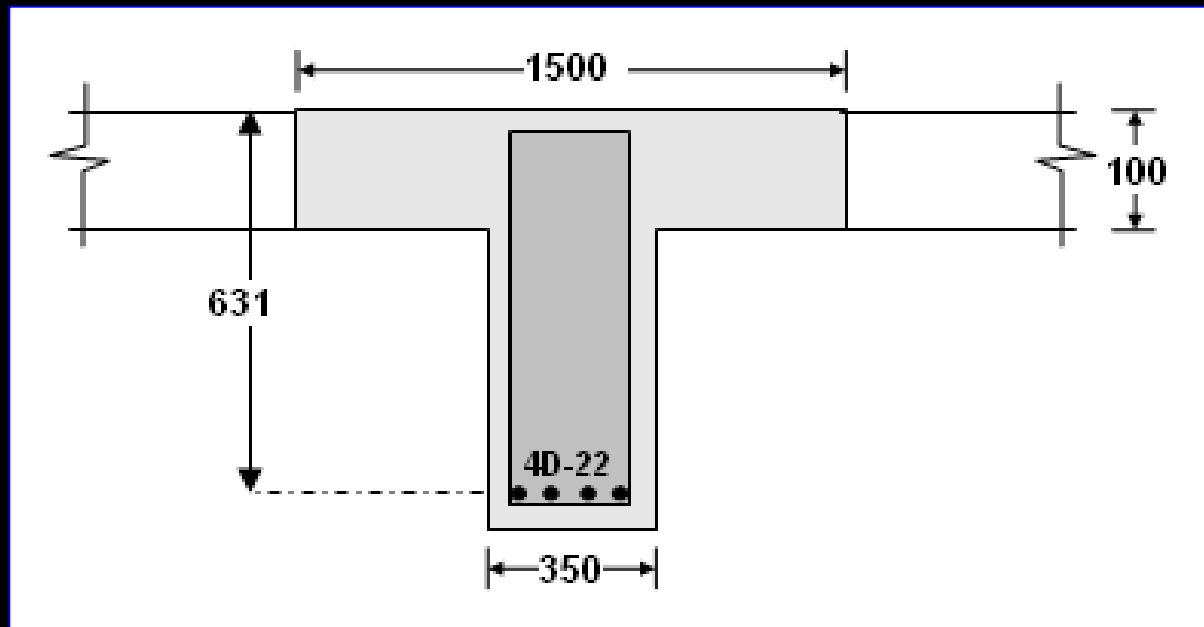
dan

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 f_y} .bf .d$$

b_f adalah lebar bagian sayap penampang

Contoh soal 1:

Suatu balok T memiliki ukuran lebar flens 1500 mm, tebal 100 mm, lebar balok 350 mm, tinggi balok 700 mm, diameter sengkang 8 mm, dan tulangan tarik 4-D22. Bila digunakan beton mutu $f_c' = 20$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa, hitunglah kapasitas balok T tsb.



Data :

$$b_w = 350 \text{ mm}, b_e = 1500 \text{ mm}, h_f = 100 \text{ mm}, h = 700 \text{ mm}$$

$$f_c' = 20 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}, A_s = 1520,531 \text{ mm}^2, \phi_s = 8 \text{ mm}, \phi_u = 22 \text{ mm}$$

1. Hitung tinggi efektif balok T :

$$d = h - d_s - \phi_s - 0,5 \cdot \phi_u = 700 - 50 - 8 - 0,5 \cdot 22 = 631 \text{ mm}$$

2. Hitung tinggi blok stress :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{1520,531 \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 1500} = 23,851 \text{ mm}$$

Karena $a \leq h_f$, maka penampang di ANALISIS SEBAGAI BALOK PERSEGI dengan lebar balok diambil b_e .

3. Momen Nominal Balok T :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1520,531 \cdot 400 \cdot \left(631 - \frac{23,851}{2} \right) \cdot (10^{-6}) = 376,529 \text{ kN.m}$$

Alternatif Penyelesaian :

Data :

$$b_w = 350 \text{ mm}, b_e = 1500 \text{ mm}, h_f = 100 \text{ mm}, h = 700 \text{ mm}$$

$$f_c' = 20 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}, A_s = 1520,531 \text{ mm}^2, \phi_s = 8 \text{ mm}, \phi_u = 22 \text{ mm}$$

1. Hitung tinggi efektif balok T:

$$d = h - d_s - \phi_s - 0,5 \cdot \phi_u = 700 - 50 - 8 - 0,5 \cdot 22 = 631 \text{ mm}$$

2. Hitung tinggi blok stress :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{1520,531 \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 1500} = 23,851 \text{ mm}$$

Karena $a \leq h_f$, maka penampang di ANALISIS SEBAGAI BALOK PERSEGI dengan lebar balok diambil b_e .

3. Hitung nilai M_f :

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 23,851 \cdot (1500 - 350)}{400} = 1165,718 \text{ mm}^2$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1165,718 \cdot 400 \cdot \left(631 - \frac{23,851}{2}\right) \cdot (10^{-6}) = 288,667 \text{ kN.m}$$

4. Hitung nilai M_w :

$$A_{sw} = A_s - A_{sf} = 1520,531 - 1165,718 = 354,813 \text{ mm}^2$$

$$M_w = A_{sw} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 354,813 \cdot 400 \cdot \left(631 - \frac{23,851}{2}\right) \cdot (10^{-6}) = 87,862 \text{ kN.m}$$

5. Momen Nominal Total M_n :

$$M_n = M_f + M_w$$

$$M_n = 288,667 + 87,862 = 376,529 \text{ kN.m}$$

6. Periksa Rasio Tulangan maksimum , $\rho_{maks} \leq 0,75 \cdot \rho_b$

$$\bar{\rho}_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) = \left(\frac{0,85 \cdot 20 \cdot 0,85}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0,02167 \text{ dan}$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y \cdot b_w \cdot d} = \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 100 \cdot (1500 - 350)}{400 \cdot 350 \cdot 631} = 0,02213$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f) = \frac{350}{1500} (0,02167 + 0,02213) = 0,01022$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot (\rho_b) = 0,75 \cdot (0,01022) = 0,007665$$

Contoh soal 2:

Tentukan nilai momen nominal (M_n) balok T seperti pada gambar. Digunakan beton mutu $f'_c = 17,5$ MPa dan mutu baja $f_y = 400$ MPa dengan tulangan (A_s) adalah 12D-25 = 5890 mm².

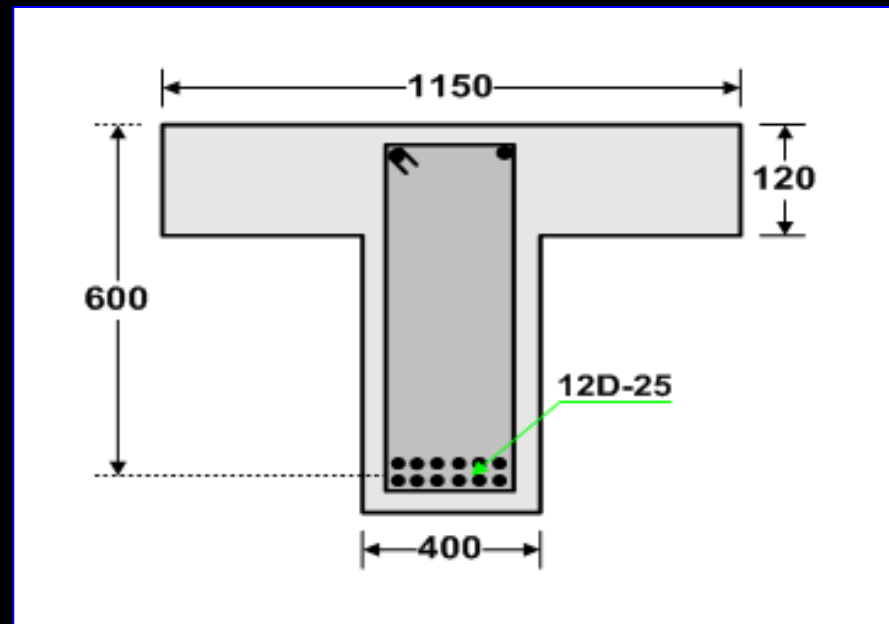
$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$b_e = 1150 \text{ mm}$$

$$d = 600 \text{ mm}$$

$$f'_c = 17,50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$



Penyelesaian:

Anggap persyaratan lebar efektif dipenuhi,
hitung tinggi blok stress :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{5890 \cdot 400}{0,85 \cdot 17,5 \cdot 1150} = \frac{2356000}{17106} = 138 \text{ mm}$$

Harga a melampaui tebal flens $h_f = 120 \text{ mm}$,
maka balok perlu dianalisis sebagai penampang T.

$$C_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 17,5 \cdot 400 \cdot a = 5950 \cdot a$$

$$\begin{aligned} C_f &= 0,85 \cdot f_c' \cdot (b_e - b_w) \cdot h_f = 0,85 \cdot 17,5 \cdot (1150 - 400) \cdot 120 \\ &= 1338750 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga : $T = C_w + C_f$

$$2356000 = 5950 \cdot a + 338750$$

$$a = \frac{1017250}{5950} = 171 \text{ mm} \quad \text{dan}$$

$$C_w = 5950 \cdot a = 5950 \cdot 171 = 1017450 \text{ N}$$

Momen nominal balok T

$$M_n = C_w \cdot (d - a/2) + C_f \cdot (d - h_f/2)$$

$$M_n = [1017450 \cdot (0,60 - 0,171/2) + 1338750 \cdot (0,60 - 0,12/2)] \cdot 10^{-3}$$
$$= 1246 \text{ kNm}$$

Momen Rencana Ultimit penampang :

$$M_r = \phi \cdot M_n = 0,80 \cdot 1246 = 997 \text{ kNm}$$

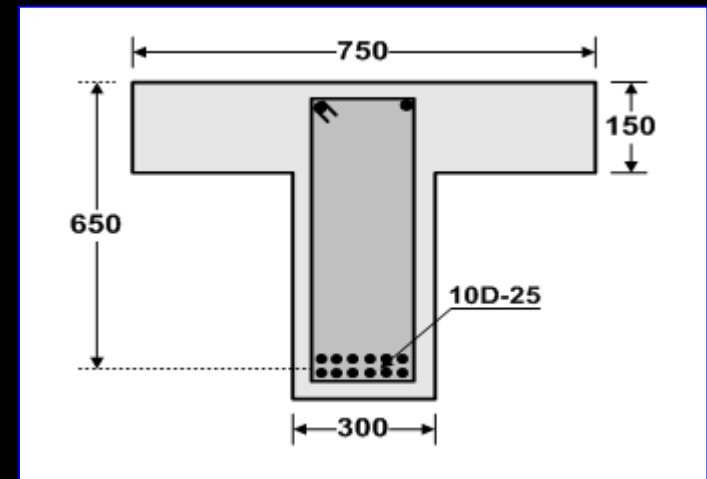
Contoh soal 3:

Suatu balok T tunggal ukuran flens 750 mm, tebal 150 mm dicor monolit dengan badan balok. Tulangan tarik terdiri dari 10D-25 yang ditempatkan dua lapis. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 650 mm. Bila digunakan beton mutu $f_c' = 20$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa, hitunglah momen kapasitas balok.

$$b_w = 300 \text{ mm}, b_e = 750 \text{ mm}$$

$$h_f = 150 \text{ mm}, d = 650 \text{ mm}$$

$$f_c' = 20 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}$$



Penyelesaian:

Luas tulangan tarik :

$$b_w = 300 \text{ mm}, \quad b_e = 750 \text{ mm},$$

$$h_f = 150 \text{ mm}, \quad d = 650 \text{ mm}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa}, \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Luas tulangan tarik :

$$10D-25 \Rightarrow A_s = 10 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 25^2) = 4900 \text{ mm}^2$$

Kontrol dimensi balok T tunggal :

$$h_f \geq 0,5 \cdot b_w = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ mm}$$

$$b_e \leq 4 \cdot b_w = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ mm}$$

Ternyata dimensi balok T memenuhi syarat

Periksa lokasi sumbu netral dengan asumsi sebagai balok segiempat dengan lebar $b_e = 750$ mm.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{4900 \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 750} = 154 \text{ mm}$$

Ternyata nilai $a > h_f$, \Rightarrow dianalisis sebagai Balok T

Bagian Flens : $T_1 = A_{sf} \cdot f_y$

Gaya tekan beton pada bagian flens :

$$C_f = 0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)$$

dengan A_{sf} adalah luas tulangan pada kondisi tegangan leleh f_y akan mengimbangi gaya tekan pada bagian flens gantung, tegangan $0,85 \cdot f_c$

Keseimbangan gaya internal, $C_f = T_1$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w) = A_{sf} \cdot f_y$$

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 150 \cdot (750 - 300)}{400}$$
$$= 2868 \text{ mm}^2$$

Maka Momen Nominal pada flens :

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 2868 \cdot 400 \cdot \left(650 - \frac{150}{2} \right)$$
$$= 659640 \text{ Nm}$$

Bagian Web :

Luas tulangan sisanya, $A_{sw} = A_s - A_{sf}$, pada kondisi tegangan leleh f_y akan diimbangi oleh bagian balok segiempat, $T_2 = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y$

Gaya tekan beton pada bagian web : $C_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a$

Keseimbangan gaya internal, $C_w = T_2$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A_{sf}) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w} = \frac{(4900 - 2868) \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 300} = 160 \text{ mm}$$

Maka Momen Nominal pada web

$$\begin{aligned} M_w &= (A_s - A_{sf}) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= (4900 - 2868) \cdot 400 \cdot \left(650 - \frac{160}{2}\right) \\ &= 463296 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Total Momen Lentur Nominal penampang :

$$M_n = M_f + M_w$$

$$M_n = 659640 + 463296 = 1122936 \text{ Nm}$$

Momen rencana ultimit penampang :

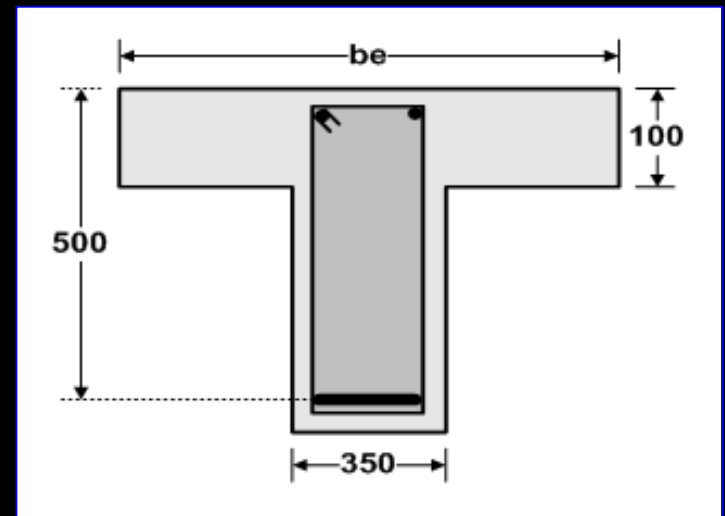
$$M_r = \phi \cdot M_n = 0,80 \cdot 1122936 = 898438 \text{ Nm}$$

Contoh soal 4:

Hitunglah kekuatan momen nominal dan momen ultimit balok seperti pada gambar dibawah ini. Jarak sumbu ke sumbu balok 2,50 m dan jarak bentang 6,0 m, serta jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 500 mm. Bila digunakan beton mutu $f_c' = 20$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa serta $A_s = 4560$ mm².

$$b_w = 350 \text{ mm}, h_f = 100 \text{ mm}, \\ d = 500 \text{ mm}$$

$$f_c' = 20 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}, \\ A_s = 4560 \text{ mm}^2$$



Penyelesaian:

Lebar efektif Balok T

$$b_e \leq 16 \cdot h_f + b_w \leq 16 \cdot 100 + 350 \leq 1950 \text{ mm}$$

$$b_e \leq l_n + b_w \leq (2500 - 350) + 350 \leq 2500 \text{ mm}$$

$$b_e \leq \frac{1}{4} \cdot L \rightarrow b_e \leq \frac{1}{4} \cdot 6000 \rightarrow b_e \leq 1500 \text{ mm}$$

Diambil yang terkecil, yaitu : $b_e = 1500 \text{ mm}$

Periksa Rasio Tulangan maksimum , $\rho_{\text{maks}} \leq 0,75 \cdot \rho_b$

$$\bar{\rho}_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,02167 \text{ dan}$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y \cdot b_w \cdot d} = 0,02793$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f) = \frac{350}{1500} (0,021675 + 0,02793) = 0,011573$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \cdot (\rho_b) = 0,75 \cdot (0,011573) = \mathbf{0,00868}$$

Periksa Rasio Tulangan minimum : $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{4560}{350 \cdot 500} = 0,026057 \geq \rho_{\min} \dots\dots\dots Ok!$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_e \cdot d} = \frac{4560}{1500 \cdot 500} = 0,00608 \leq \rho_{maks} \dots\dots\dots Ok!$$

Periksa lokasi sumbu netral :

Asumsi sbg balok segiempat dgn. lebar $b_e = 1500$ mm

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{4560 \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 1500} = 72mm$$

Ternyata $a < h_f$, balok dianalisis sebagai Balok Persegi

Maka Momen Nominal penampang :

$$Mn = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 4560 \cdot 400 \cdot \left(500 - \frac{72}{2}\right) \cdot (10^{-3}) = 846336 Nm$$

Momen Rencana Ultimit / penampang :

$$Mr = \phi \cdot M_n = 0,80 \cdot 846336 = 677068 Nm$$

DESAIN PENULANGAN LENTUR PENAMPANG BALOK T

Diketahui : M_u, b, d, f_c', f_y

Ditanya : $A_s = ?$

Prosedur desain Balok T :

1. Hitung momen nominal M_n

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

2. Hitung nilai M_f dan bandingkan dengan nilai M_n .

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} ; M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

3. Jika $M_n \leq M_f$, berarti penampang dianalisis sebagai
BALOK PERSEGI (BERPENAMPANG SEGIEMPAT)
dgn lebar b_e .

4. Jika $M_n > M_f$, ini berarti penampang dianalisis sebagai BALOK T, dan momen pada web dapat ditentukan sebesar :

$$M_w = M_n - M_f.$$

5. Menentukan nilai k yang diperlukan

$$M_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2 \cdot k \left(1 - \frac{k}{2}\right) \quad | \times 2$$

$$\frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2} = 2k - k^2 \quad ; \quad k^2 - 2k = -\frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}$$

$$(k - 1)^2 = 1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2} \quad ;$$

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}}$$

6. Menentukan nilai A_{sw} yang diperlukan :

$$M_w = A_{sw} \cdot f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right) ; A_{sw} = \frac{M_w}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right)}$$

7. Menentukan nilai A_{sf} yang diperlukan :

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y}$$

8. Luas total tulangan tarik :

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

9. Pilih tulangan dengan syarat : $A_{st} \geq A_s$

Contoh soal 5:

Suatu balok T memiliki ukuran lebar flens 1500 mm, tebal 100 mm, lebar balok 350 mm, tinggi balok 700 mm, akan dipakai diameter tulangan sengkang 8 mm dan diameter tulangan utama 22 mm. Balok T direncanakan memikul momen ultimit 300 kN.m. Bila digunakan beton mutu $f_c' = 20$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa, hitunglah luas tulangan balok T tsb.

Penyelesaian:

$$b_w = 350 \text{ mm}, b_e = 1500 \text{ mm}, h_f = 100 \text{ mm}, h = 700 \text{ mm}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}, M_u = 300 \text{ kN.m}, \phi_s = 8 \text{ mm}, \phi_u = 22 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s - \phi_s - 0,5 \cdot \phi_u = 700 - 50 - 8 - 0,5 \cdot 22 = 631 \text{ mm}$$

1. Hitung Momen Nominal M_n : ($\phi = 0,80 \Rightarrow$ lentur)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{300}{0,80} = 375 \text{ kN.m}$$

2. Hitung nilai M_f dan bandingkan dengan nilai M_n .

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 100 \cdot (1500 - 350)}{400} = 4887,50 \text{ mm}^2$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 4887,50 \cdot 400 \cdot \left(631 - \frac{100}{2} \right) \cdot (10^{-3})$$
$$= 1135,855 \text{ kN.m} \geq M_n$$

3. Karena $M_n \leq M_f$, maka penampang di ANALISIS SEBAGAI BALOK PERSEGI dengan lebar balok diambil b_e .

4. Menentukan nilai k yang diperlukan :

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e \cdot d^2}}$$

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 375 \cdot (10^6)}{0,85 \cdot 20 \cdot 1500 \cdot 631^2}} = 0,038$$

5. Menentukan nilai A_s yang diperlukan :

$$A_s = \frac{M_n}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right)} = \frac{375 \cdot (10^6)}{350 \cdot 631 \cdot \left(1 - \frac{0,038}{2}\right)} = 1514,237 \text{ mm}^2$$

6. Rasio Tulangan Minimum :

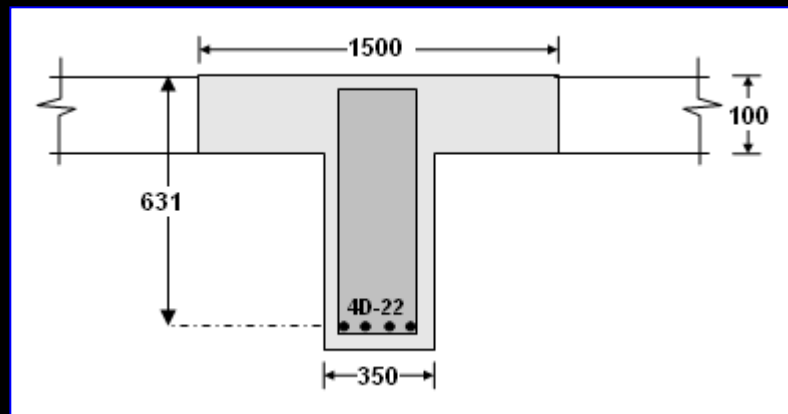
$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

7. Luas Tulangan Minimum :

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,0035 \cdot 350 \cdot 631 = 772,975 \text{ mm}^2 \leq A_s = 1514,237 \text{ mm}^2$$

8. Diambil tulangan 4-D22 $A_{st} = 1520,531 \text{ mm}^2 \geq A_s = 1514,237 \text{ mm}^2$

9. Sketsa Tulangan Terpasang:



Contoh soal 6:

Suatu balok T, lebar flens 800 mm, tebal 160 mm dan lebar balok 400 mm dicor monolit dengan badan balok. Balok tersebut memikul momen akibat beban mati sebesar 200 kN.m dan beban hidup sebesar 300 kN.m. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 600 mm. Mutu beton $f'_c = 25$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa. Hitunglah luas tulangan balok T tsb.

Penyelesaian:

$b_w = 400$ mm, $b_e = 800$ mm, $h_f = 160$ mm, $d = 600$ mm,
 $f'_c = 25$ MPa, $f_y = 400$ MPa, $M_{DL} = 200$ kN.m dan $M_{LL} = 300$ kN.m

1. Hitung Momen berfaktor M_u :

$$M_u = 1,2 \cdot M_{DL} + 1,6 \cdot M_{LL} ; M_u = 1,2 \cdot 200 + 1,6 \cdot 300 = 720 \text{ kN.m}$$

2. Hitung Momen Nominal M_n : ($\phi = 0,80 \Rightarrow$ lentur)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{720}{0,80} = 900 \text{ kN.m}$$

3. Hitung nilai M_f dan bandingkan dengan nilai M_n .

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 160 \cdot (800 - 400)}{400} = 3400 \text{ mm}^2$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right) = 3400 \cdot 400 \cdot \left(600 - \frac{160}{2}\right) \cdot (10^{-6}) = 707,200 \text{ kN.m} < M_n = 900 \text{ kN.m}$$

4. Karena $M_n > M_f$, penampang dianalisis sebagai BALOK T, dan momen pada web dapat ditentukan sebesar $M_w = M_n - M_f$; $M_w = M_n - M_f = 900 - 707,200 = 192,800 \text{ kN.m}$

5. Menentukan nilai k yang diperlukan

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 192,800 \cdot (10^6)}{0,85 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 600^2}} = 0,0651$$

6. Menentukan nilai A_{sw} yang diperlukan :

$$A_{sw} = \frac{M_w}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right)} = \frac{192,800 \cdot (10^6)}{400 \cdot 600 \left(1 - \frac{0,0651}{2}\right)} = 803,3616 \text{ mm}^2$$

7. Menentukan nilai A_{sf} yang diperlukan :

$$A_{sf} = 3400 \text{ mm}^2$$

8. Luas total tulangan tarik :

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

$$A_s = 3400 + 803,3616 = 4203,3616 \text{ mm}^2$$

9. Pilih tulangan dengan syarat : $A_{st} \geq A_s$

Diambil tulangan 10D-25

$$A_{st} = 10 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \right) = 4906,25 \text{ mm}^2$$

10. Periksa Pembatasan Luas Tulangan Maksimum :

$$\bar{\rho}_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \left(\frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{3400}{400 \cdot 600} = 0,0142$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f) = \frac{400}{800} (0,0271 + 0,0142) = 0,02065$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,02065 = 0,01549$$

$$A_{sb} = \bar{\rho}_b \cdot b_w \cdot d = 0,0271 \cdot 400 \cdot 600 = 6504 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = A_{smaks (web)} + A_{smaks (flens)}$$

$$A_{smaks} = 0,75 \cdot A_{sb} + 0,75 \cdot A_{sf} = 0,75 \cdot (6504 + 3400) = 7428 \text{ mm}^2 > A_{st} = 4906,25 \text{ mm}^2$$

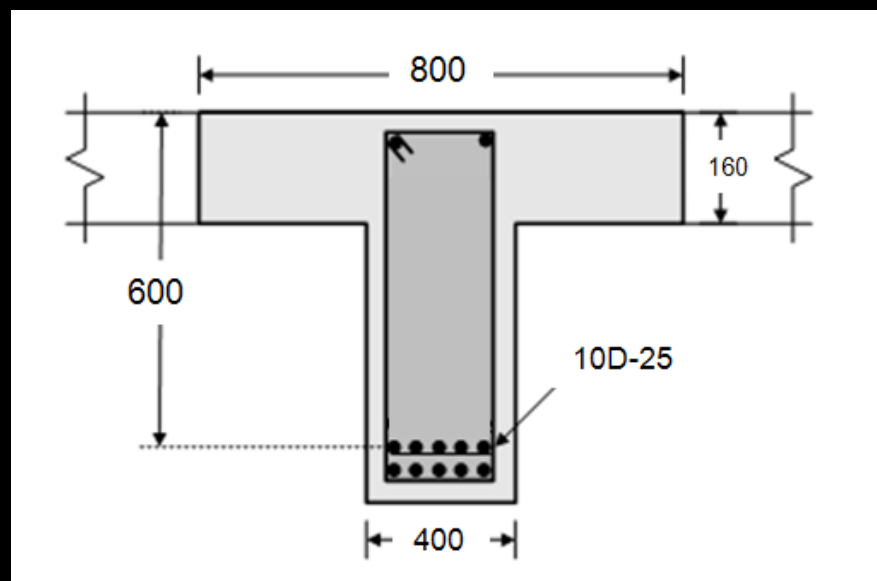
11. Periksa Pembatasan Luas Tulangan minimum

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1.4 / 400 = 0,0035$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b_e \cdot d = 0,0035 \cdot 800 \cdot 600 = 1680 \text{ mm}^2$$

12. Karena $A_{s\min} \leq A_{st} \leq A_{smaks}$ maka perencanaan Ok!
karena telah memenuhi syarat daktilitas

13. Sketsa tulangan balok :



Contoh soal 7:

Suatu balok T, lebar flens 762 mm, tebal 180 mm dan lebar balok 350 mm dicor monolit dengan badan balok. Balok tersebut memikul momen akibat beban mati sebesar 50 tm dan beban hidup sebesar 70 tm. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 930 mm. Mutu beton $f'_c = 21$ MPa dan baja $f_y = 350$ MPa, hitunglah luas tulangan balok T tsb.

Penyelesaian:

$$b_w = 350 \text{ mm}, b_e = 762 \text{ mm}, h_f = 180 \text{ mm}, d = 930 \text{ mm},$$

$$f'_c = 21 \text{ MPa}, f_y = 350 \text{ MPa}, M_{DL} = 50 \text{ Tm dan } M_{LL} = 70 \text{ Tm}$$

1. Hitung Momen berfaktor M_u :

$$M_u = 1,2 \cdot M_{DL} + 1,6 \cdot M_{LL} ; M_u = 1,2 \cdot 50 + 1,6 \cdot 70 = 172 \text{ Tm}$$

2. Hitung Momen Nominal M_n : ($\phi = 0,80 \Rightarrow$ lentur)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{172}{0,80} = 215 \text{ Tm}$$

3. Hitung nilai M_f dan bandingkan dengan nilai M_n .

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = 3782,16 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_f &= A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 3736,26 \cdot 350 \cdot \left(930 - \frac{180}{2} \right) \cdot (10^{-4}) \\ &= 111,196 \text{ Tm} < M_n \end{aligned}$$

4. Karena $M_n > M_f$, penampang dianalisis sebagai BALOK T, dan momen pada web dapat ditentukan sebesar $M_w = M_n - M_f$; $M_w = M_n - M_f = 215 - 111,196$
 $= 103,804 \text{ Tm}$

5. Menentukan nilai k yang diperlukan

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}}$$
$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 103,804 \cdot (10^7)}{0,85 \cdot 21 \cdot 350 \cdot 930^2}} = 0,215$$

6. Menentukan nilai A_{sw} yang diperlukan :

$$A_{sw} = \frac{M_w}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right)} = \frac{103,804 \cdot (10^7)}{350 \cdot 930 \cdot \left(1 - \frac{0,215}{2}\right)} = 3573,18 \text{ mm}^2$$

7. Menentukan nilai A_{sf} yang diperlukan :

$$A_{sf} = 3782,16 \text{ mm}^2$$

8. Luas total tulangan tarik :

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

$$A_s = 3782,16 + 3573,18 = 7146,36 \text{ mm}^2$$

9. Pilih tulangan dengan syarat : $A_{st} \geq A_s$

Diambil tulangan 15D - 25

$$A_{st} = 15 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \right) = 7359,38 \text{ mm}^2$$

10. Periksa Pembatasan Luas Tulangan Maksimum :

$$\bar{\rho}_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \left(\frac{0,85 \cdot 21 \cdot 0,85}{350} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 350} \right) \\ = 0,027$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{3782,16}{350 \cdot 930} = 0,012$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f) = \frac{350}{762} (0,027 + 0,012) = 0,018$$

$$A_{sb} = \bar{\rho}_b \cdot b_w \cdot d = 0,027 \cdot 350 \cdot 930 = 8788,50 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = A_{smaks} \text{ (web)} + A_{smaks} \text{ (flens)}$$

$$A_{smaks} = 0,75 \cdot A_{sb} + 0,75 \cdot A_{sf} = 0,75 \cdot (8788,50 + 3782,16) \\ = 9428 \text{ mm}^2$$

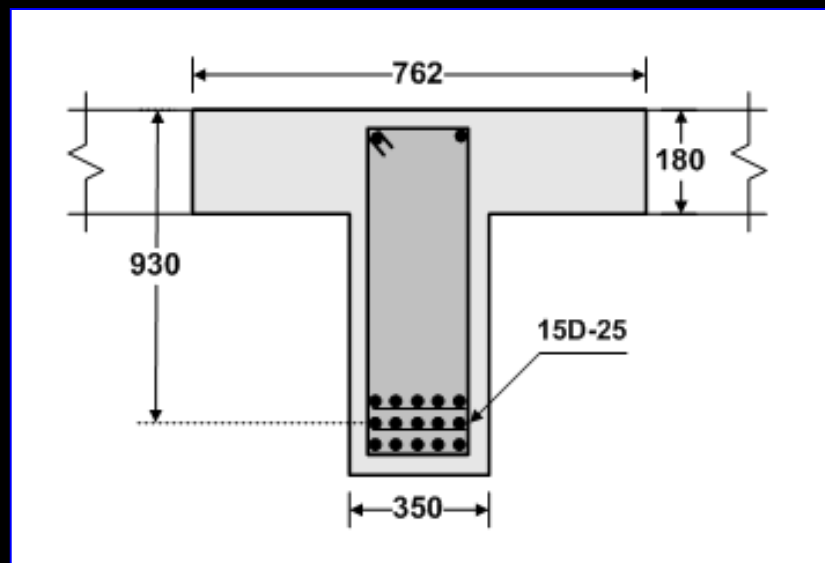
11. Periksa Pembatasan Luas Tulangan minimum

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1.4 / 350 = 0,004$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b_e \cdot d = 0,004 \cdot 762 \cdot 930 = 2834,64 \text{ mm}^2$$

12. Karena $A_{s\min} \leq A_{st} \leq A_{smaks}$ maka perencanaan Ok!
karena telah memenuhi syarat daktilitas

13. Sketsa tulangan balok :



Umpan Balik Modul 5

Soal 1:

Tentukan nilai momen nominal (M_n) balok T seperti pada gambar. Digunakan beton mutu $f'_c = 20$ MPa dan mutu baja $f_y = 240$ MPa dengan tulangan (A_s) adalah $12D-25 = 5890$ mm².

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

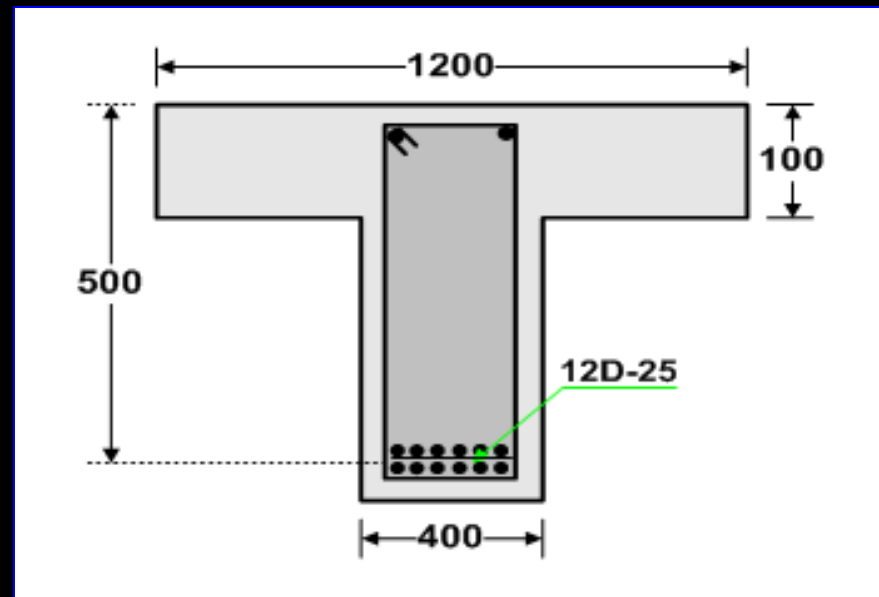
$$hf = 100 \text{ mm}$$

$$b_e = 1200 \text{ mm}$$

$$d = 500 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$



Umpan Balik Modul 5

Soal 2:

Suatu balok T, lebar flens 800 mm, tebal 160 mm dan lebar balok 400 mm dicor monolit dengan badan balok. Balok tersebut memikul momen akibat beban mati sebesar 60 tm dan beban hidup sebesar 80 tm. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 950 mm. Mutu beton $f'_c = 25$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa. Hitunglah luas tulangan balok T tsb.