



Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Hidrologi

Lab. Bio-Environmental Management and Control Engineering

Agricultural Engineering Department - Jenderal Soedirman University

Mata Kuliah : Hidrologi





Pokok Bahasan

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

1 Definisi dan Konsep Model Hidrologi

2 Klasifikasi Model Hidrologi

3 Model-Model Hidrologi

4 Langkah-Langkah Permodelan



Siklus Hidrologi

Model Hidrologi

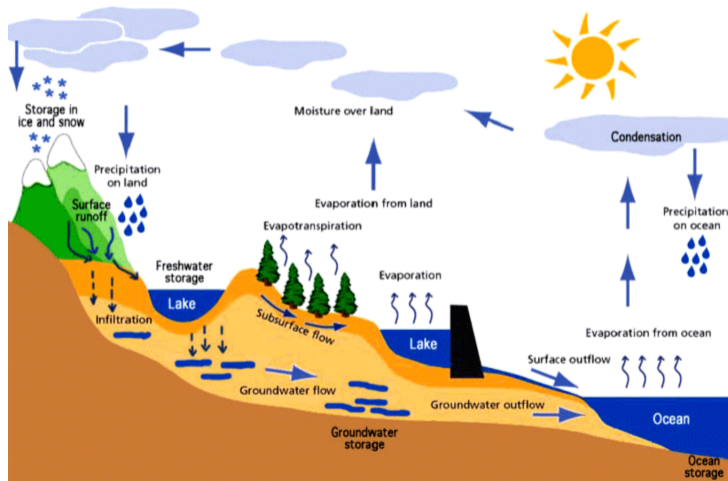
Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan





Siklus Hidrologi sebagai Sistem

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

- Fenomena hidrologi sangatlah kompleks, sulit secara penuh/menyeluruh.
- Fenomena ini dapat disederankan dengan 'konsep sistem'.
- Sistem adalah gabungan komponen-komponen yang saling terhubung, membentuk satu keutuhan. Masing-masing komponen menjalankan fungsi
- Sistem hidrologi memiliki komponen-komponen berupa presipitasi, evaporasi, limpasan, dan fase-fase lain dari siklus hidrologi, baik yang ada di atmosfer, di permukaan tanah, maupun dalam tanah.
- Sistem hidrologi diterjemahkan dalam kesatuan persamaan-persamaan matematis untuk perhitungan yang disebut model hidrologi



Konsep Sistem Hidrologi

Model Hidrologi

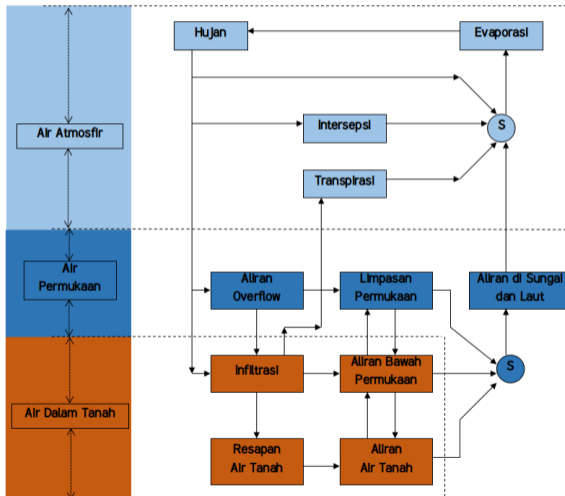
Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan





Apa yang dimaksud dengan Model ?

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model adalah : representasi dari kenyataan ("*the real system*") dalam bentuk yang lebih sederhana

Model dapat berupa :

- Piktorial (ilustrasi, diagram, flowchart)
- Konseptual atau Verbal
Model Verbal atau konseptual dicirikan dengan variabel, proses/mekanisme dan hubungan antar variabel yang dinyatakan dengan bahasa/kata-kata, bukan dengan persamaan matematika. Misal : Kurt Lewin (1951) "Perilaku adalah fungsi dari manusia dan keadaan"
- Fisikal
- Matematika



Model Matematika

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Matematika

Fenomena alam dinyatakan dalam variabel-variabel dan hubungan antar variabel digambarkan dalam persamaan matematika. Misal : fenomena *runoff* (aliran permukaan) atau simpanan air dijelaskan sebagai fungsi dari intensitas hujan

- Model hidrologi adalah model matematika, baik yang sederhana maupun yang kompleks. Baik empiris maupun konseptual, baik deterministik atau stokastik, baik global maupun terdistribusi
- Kegunaan model matematika : untuk memecahkan permasalahan dalam sistem yang sebenarnya, dengan cara mensimulasikan fenomena sistem (melalui perhitungan-perhitungan matematis) dan mendapatkan output sistem.



Karakteristik Model Matematika

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

- 1 Model merupakan representasi yang *TIDAK LENGKAP* dari sistem utuh
- 2 Model dibangun dengan asumsi-asumsi
- 3 Akurasi model (dalam menggambarkan sistem) dan Kesederhanaan model (*simplicity*) saling berlawanan : semakin sederhana sebuah model, akurasi akan semakin berkurang
- 4 Tidak ada satu model yang bisa mewakili semua keadaan
- 5 Permodelan tidak selalu mengenai komputer dan teknologi informasi, namun berkembangnya kecanggihan komputer saat ini sangat membantu berkembangnya dunia permodelan



Model Deterministik vs Model Stokastik

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Deterministik

- Tidak mempertimbangkan keacakan
- Input yang sama akan menghasilkan output yang sama
- Fenomena hidrologi yang dimodelkan memiliki variabilitas luaran yang kecil
- Contoh : Model perhitungan evapotranspirasi harian (ET)

Model Stokastik

- Menggambarkan fenomena hidrologi dengan keacakan tinggi
- Contoh : Model peramalan hujan (hujan adalah variabel acak)



Model Sederhana vs Model Kompleks

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep
Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Sederhana

- Menggambarkan fenomena sederhana dan hanya melibatkan sedikit variabel
- Contoh : Model perkiraan debit puncak (Q_p) : $Q_p = C I A$
 - C : koefisien peruntukan lahan, I : intensitas hujan, A : luas lahan
 - Nilai C untuk lahan kota : 0.7 - 0.95; untuk taman : 0.1 - 0.25

Model Kompleks

- Menggambarkan fenomena hidrologi kompleks dan melibatkan banyak variabel
- Berbagai proses hidrologi diintegrasikan dalam model



Model Empiris vs Model Konseptual

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep
Model Hidrologi

Klasifikasi
Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Empiris

- Hanya mempertimbangkan data input dan output, tidak melihat proses
- Contoh : Model regresi hujan (input) \rightarrow runoff (output) : $Q = a \cdot P^b$
 - Q : runoff, P : hujan, a, b : koefisien-koefisien regresi. Model ini tidak menjelaskan bagaimana proses runoff timbul dari hujan

Model Konseptual (Mekanistik)

- Membuat asumsi DAS berdasarkan konsep tertentu. Dibangun atas dasar pengetahuan proses fisika (bisa juga kimia-biologi)
- Contoh : Model neraca air : $\frac{dS}{dt} = I(t) - O(t)$. Proses yang dijelaskan : perubahan simpanan air dalam DAS ($\frac{dS}{dt}$) terjadi akibat adanya input air ke DAS ($I(t)$) dan output air keluar DAS ($O(t)$)



Model Global (Lumped) vs Model Terdistribusi

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Global (Lumped)

- Mengasumsikan DAS sebagai satu entitas atau satu unit

Model Terdistribusi

- Mengasumsikan DAS sebagai bentangan yang dibagi menjadi wilayah-wilayah kecil berupa grid
- Dalam perhitungannya biasa terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG)



Klasifikasi dan Karakteristik Model Hidrologi (Versi Lain)

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Pada klasifikasi ini, model empiris dan model konseptual sama dengan slide sebelumnya, namun model “physically based” yang dimaksud adalah Model Terdistribusi (spasial).

Table 1. Characteristics of three models.

Empirical model	Conceptual model	Physically based model
Data based or metric or black box model	Parametric or grey box model	Mechanistic or white box model
Involve mathematical equations, derive value from available time series	Based on modeling of reservoirs and Include semi empirical equations with a physical basis.	Based on spatial distribution, Evaluation of parameters describing physical characteristics
Little consideration of features and processes of system	Parameters are derived from field data and calibration.	Require data about initial state of model and morphology of catchment
High predictive power, low explanatory depth	Simple and can be easily implemented in computer code.	Complex model. Require human expertise and computation capability.
Cannot be generated to other catchments	Require large hydrological and meteorological data	Suffer from scale related problems
ANN, unit hydrograph	HBV model, TOPMODEL	SHE or MIKESHE model, SWAT
Valid within the boundary of given domain	Calibration involves curve fitting make difficult physical interpretation	Valid for wide range of situations.



Model Hidrologi Pertemuan Sebelumnya

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

- Model *Rainfall-Runoff* dalam DAS atau Sub-DAS : Hidrograf satuan
- Model *Storage Function* atau simpanan air dalam DAS
- Model Neraca Air (*Water Balance*) $\Rightarrow \Delta S = P - (R + G + E + T)$



Tank Model (Model Tangki Bersusun)

Analogi DAS dengan Tangki Bersusun (Model Tangki)

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

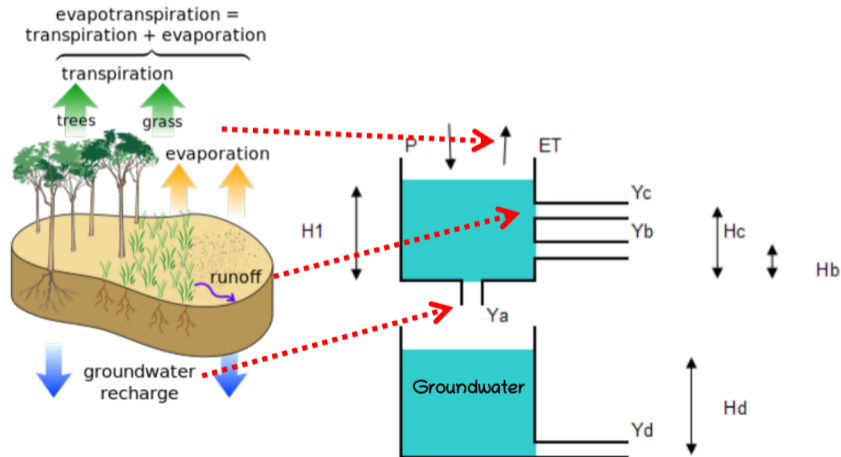
Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Model Tangki merupakan jenis model DETERMINISTIK, LUMPED, KONSEPTUAL,





Tank Model-Persamaan Penyusun

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

- Tangki 1 adalah daerah bawah permukaan hingga air tanah dangkal
 - Perubahan simpanan air (H_1) pada tangki 1 dipengaruhi input (hujan $P(t)$) dan output (evapotranspirasi ($ET(t)$), perkolasi ($Y_a(t)$), *surface runoff* ($Y_b(t)$), dan *sub-surface runoff* ($Y_c(t)$))
 - $\frac{dH_1}{dt} = P(t) - ET(t) - Y_a(t) - Y_b(t) - Y_c(t)$
- Tangki 2 adalah daerah air tanah dalam
 - Perubahan simpanan air (H_2) pada tangki 2, dipengaruhi input (perkolasi, ($Y_a(t)$)) dan output (*groundwater flow*, $Y_d(t)$)
 - $\frac{dH_2}{dt} = Y_a(t) - Y_d(t)$, $H_2 = H_d$
- $Y_a = a \cdot H_1$
- $Y_b = b \cdot (H_1 - H_b)$, jika $Y_b < 0 \rightarrow Y_b = 0$
- $Y_c = c \cdot (H_1 - H_c)$, jika $Y_c < 0 \rightarrow Y_c = 0$
- $Y_d = d \cdot H_2$



Model MAPDAS I

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

- MAPDAS : Model Aliran Permukaan Daerah Aliran Sungai
- Inventor Model MAPDAS : Budi Kartiwa dan Setyono Hari Adi
- Merupakan integrasi antara sub-model *Curve Number* (CN, Soil Conservation Service, 1972), dan sub-model H2U (Duchesne and Cudennec, 1972)
- Sub-Model CN untuk mensimulasi *excess rainfall* (hujan net)
 - $Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a+S)} = \frac{(P-0.2 S)}{P+0.8 S} - S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$; Q : debit aliran permukaan atau hujan neto (mm), P : curah hujan (mm), I_a : kehilangan inisial (mm), S : retensi potensial maksimum (mm), CN : Curve Number
- Sub-model H2U untuk transformasi hujan net menjadi aliran permukaan (*runoff*)
 - $\rho_v(t) = \frac{\bar{V}_v}{l_o} \cdot e^{-\frac{\bar{V}_v}{l_o} t}$; $\rho_v(t)$: pdf lereng sebagai fungsi waktu t , \bar{V}_v : kecepatan aliran rata-rata pada lereng, l_o : panjang rata-rata jalur hidraulik pada lereng, t : interval waktu



Model MAPDAS II

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

- $\rho_{RH}(t) = \left(\frac{n \sqrt{V_{RH}}}{2L} \right)^{\frac{n}{2}} \frac{1}{\Gamma \frac{n}{2}} t^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{n \sqrt{V_{RH}}}{2L} t}$; $\rho_{RH}(t)$: pdf jaringan sungai sebagai fungsi waktu t , n : order maksimum DAS, V_{RH} : kecepatan aliran rata-rata pada jaringan sungai, L : panjang rata-rata jalur hidraulik pada jaringan sungai, : fungsi gamma, t : interval waktu
- $\rho_{DAS}(t) = \rho_v(t) \otimes \rho_{RH}(t)$; $\rho_{DAS}(t)$: pdf DAS sebagai fungsi waktu t , $\rho_v(t)$: pdf lereng sungai sebagai fungsi waktu t , $\rho_{RH}(t)$: pdf jaringan sungai sebagai fungsi waktu t .
- $Q(t) = S [PN(t) \otimes \rho(t)]$; $Q(t)$: debit aliran permukaan pada waktu t , S : luas DAS, $PN(t)$: intensitas hujan lebih pada waktu t , $\rho(t)$: pdf waktu tempuh butir hujan pada waktu t dihitung dari pdf panjang alur hidraulik berdasarkan penetapan kecepatan aliran, \otimes : simbol konvolusi



Model MAPDAS III

Model Hidrologi

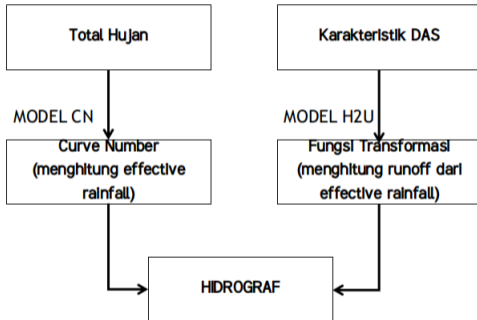
Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

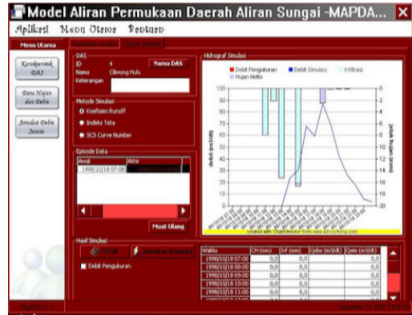
Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan



Konsep Model



Software Model



Langkah-Langkah Pemodelan

Langkah yang umum dilakukan *Scientist* dan *Engineer* dalam membuat model

Model
Hidrologi

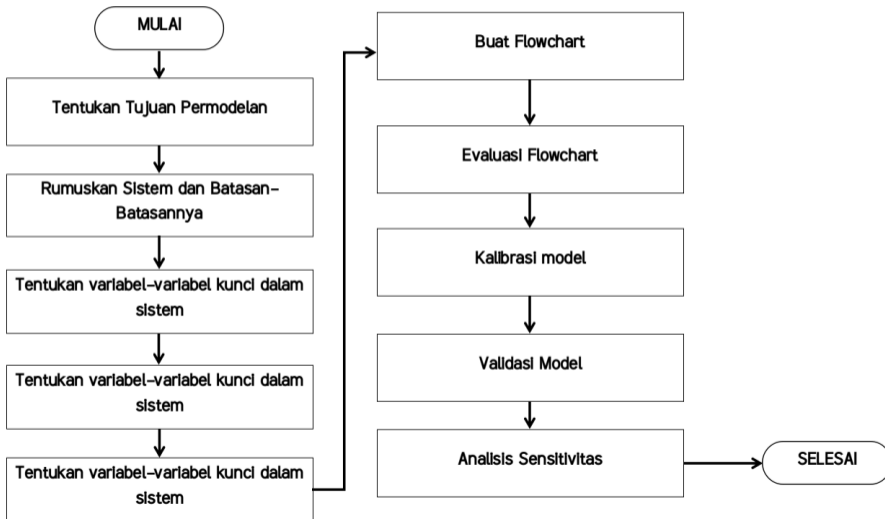
Ardiansyah et
al.,
Lab. TPPBL

Definisi dan
Konsep
Model
Hidrologi

Klasifikasi
Model
Hidrologi

Model-Model
Hidrologi

Langkah-
Langkah
Pemodelan





Langkah-Langkah Pemodelan

Kalibrasi, Validasi, dan Analisis Sensitivitas

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Pemodelan

Kalibrasi Model

Proses berulang untuk membandingkan input-output model dan kecocokannya dengan input-output fenomena nyata. Pada proses ini model bisa direvisi berulang-ulang hingga tervalidasi

Validasi Model

Kegiatan membandingkan model dan perilaku model (beserta berbagai asumsinya) terhadap fenomena nyata dan perilaku fenomena nyata

Analisis Sensitivitas

Pengujian variabel sensitivitas variable output terhadap variabel input. Variabel input mana yang jika berubah sedikit akan berdampak besar terhadap perubahan output



Model-Model Lainnya

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

Table 3 List of Popular hydrological Models

	MODEL NAME	AUTHOR(YEAR)	REMARKS
1	Stanford watershed Model(SWM)/ Hydrologic Simulation Package-Forton IV (HSPF)	Crawford and Linsley(1966). Bicknell et.al(1993)	Continuous dynamic event or steady-state, simulator of hydrologic and hydraulic water processes
2.	Catchment Model (CM)	Dawdy n O'Donnell (1965)	Lumped, event based runoff model.
3	Tennessee Valley Authority(TVA) Model	Tenn Valley Authority (1972)	Lumped, event based runoff model
4	U.S Dept of Agriculture Hydrograph Laboratory (USDAHL) Model	Holten and Lopez (1971) Holten et.al (1974)	Event based, process oriented, lumped hydrograph model
5	U.S geological Survey (USGS)	Dowdy et.al (1970,1978)	Process oriented, continuous /event based model
6	Utah State university (USU) Model	Andrews et.al(1978)	Process oriented, event /continuous stream flow based model
7	Purdue Model	Huggins and Monke (1970)	Process oriented, physically based, event runoff model.
8	Antidecent Precipitation Index (API) Model	Sittner et.al(1978)	Lumped, Riverflow forecast model
9.	Hydrologic engineering center- hydrologic Modeling System (HES-HMS)	Feldman(1981), HEC (1981,2000)	Physically-based, semi distributed, event based, runoff model.
10.	Stream flow synthesis and Reservoir regulation (SSARR) Model	Rockwood(1982) U.S Army corps of Engineers (1987) Speers (1995)	Lumped, Continuous stream flow simulation model.
11	National Weather service – river forecast system (NWS-RFS)	Burnash et.al(1973, Burnash (1975)	Lumped, continuous river forecast system.
12	University of British Columbia (UBC) Model	Quick and Pipes (1977) Quick (1995)	Process-oriented, lumped parameter, continuous simulation model
13	Tank Model	Sugwara et.al (1974), Sugwara (1995)	Process oriented, semi-distributed or lumped continuous simulation model.

14	Runoff Routing Model (RORB)	Laurenson (1964) Laurenson and Mein (1993,1995)	Lumped, Event based runoff simulation model
15	Agriculture Runoff Model	Donigian et.al (1977)	Process-oriented , Lumped runoff simulation model.
16	Strom water Management Model (SWMM)	Metcalf and eddy et. Al (1971) Huber and Dickinson (1988) Huber (1995)	Continuous, Dynamic, Event or steady state simulator of hydrologic and hydraulic and water quality processes.
17	Areal Non-point source Watershed Environment response Simulation (ANSWERS)	Beasley et.al (1977) Bouraoui et.al (2002)	Event Based or Continuous, lumped parameter runoff and sediment yield simulation model.
18	National Hydrology Research Institute (NHRI) Model	Vandenberg (1989)	Physically based, lumped parameter, continuous hydrologic simulation model.
19	Technical report -20 (TR-20) Model	Soil Conservation Service (1965)	Event based process-oriented, lumped hydrograph Model.
20	U.S Geological Survey (USGS) Model	Dawdy et.al (1970)	Lumped parameter, event based runoff simulation model
21	Physically based runoff Production Model (TOPMODEL)	Beven and Kirkby (1976, 1979), Beven (1995)	Physically based, distributed, continuous hydrologic simulation model .
22	Generalized River Modeling Package-System Hydroloque European (MIKE SHE)	Rfsgaard and Storm (1995)	Physically based, distributed, continuous hydrologic and hydraulic simulation model.
23	ARNO (Arno River Model)	Todini (1988a,b,1996)	Semidistributed, continuous rainfall runoff simulation model.
24	Waterloo Flood System (WATERFLOOD)	Kouwen et al (1993) Kouwen (2000)	Process oriented, semi distributed continuous flow simulation model
25	Topographic Kinematic Approximation and Integration (TOPIKAP) Model	TODINI (1995)	Distributed , physically based, continuous rainfall --runoff simulation model.
26	Soil -vegetation – Atmosphere-transfer (SVAT)Model	Ma. Et al(1999) Ma & Cheng (1998)	Macroscale, lumped parameter, streamflow simulation model.



Model-Model Lainnya

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Definisi dan Konsep Model Hidrologi

Klasifikasi Model Hidrologi

Model-Model Hidrologi

Langkah-Langkah Permodelan

27	Systeme Hydrologique Euroepan Transport (SHETRAN)	Ewen et.al(2000)	Physically based, distributed water quantity and quality simulation model
28	Daily Conceptual Rainfall-Runoff Model (HYDROLOG) Monash Model	Potter and Mc Mahon (1976) , Chiew and Mc Mahon (1994)	Lumped, Conceptual, Continuous simulation model.
29	Soil water Assessment Tool (SWAT)	Arnold et.al (1998)	Distributed, conceptual, continuous simulation model.
30	Distributed Hydrological Model (HYDROTEL)	Fortin et.al (2001 a, b)	Physically based , distributed, continuous hydrologic simulation model



Referensi

Model Hidrologi

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Appendix

- Indarto : Hidrologi : Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi
- Lily Montarcih Limantara : Hidrologi Praktis
- Sheetal Sharma : Effect of Urbanization on Water Resources-Fact and Figures