

## **DAFTAR PUSTAKA**

Analisis Hidrologi, Sri Harto, PT. Gramedia (1993)

Applied Hydrology, Vente Chow, et al (1988)

Hand book of Hidrologi, D. Maidment.

Hydrologi (1990), Rafael L. Bras

Handbook of Applied Hydrology (1964), Vente Chow

Hydrologi for Engineer, Linsley et al (Hidrologi Untuk Insinyur). Erlangga

Stastical Method in Hydrology (1977), Charles T, Haan

Hidrologi: Ilmu yang mempelajari tentang seluk beluk air di bumi, tentang kejadiannya, peredaran dan distribusinya, sifat alam dan sifat kimianya, serta reaksi terhadap lingkungannya dan hubungannya dengan kehidupan manusia.

Pengertian praktis, hidrologi: ilmu untuk mendapatkan informasi tentang sifat dan besarnya air pada daerah tinjauan tertentu

→ interaksi air → lingkungan

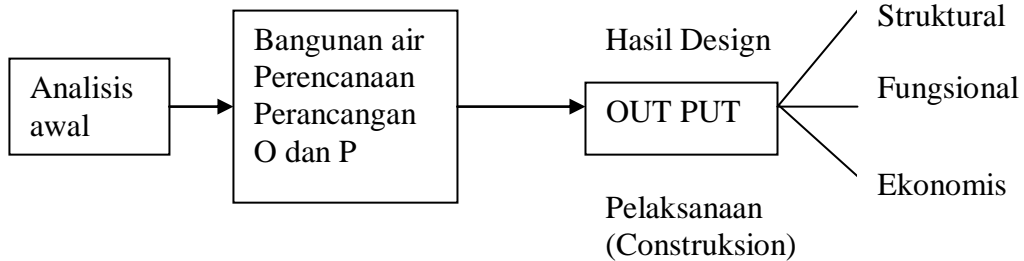
Hidrologi dapat digunakan dalam beberapa disiplin ilmu khususnya di bidang teknik sipil, diantaranya:

1. Teknik Sipil Struktur (contohnya: Drainase dan Sanitasi)
2. Teknik Sipil Transfortasi (contoh: Drainase pada jalan raya, pelabuhan udara, perkotaan juga pekerjaan hidraulika)
3. Teknik Sipil Hidro (contoh: Teknik Sungai, Teknik Irigasi, Teknik Bendungan, Teknik Pantai, Teknik Drainase, Teknik Sanitasi, Pengendalian banjir dan lain-lain)

## PENDAHULUAN

- Pengertian umum: Bagian analisis awal perancangan bangunan air

- Implementasi



- Perencanaan (Planning)

Pre feasibility study  
Feasibility study

- 
- Sifat DAS
  - Ketersediaan Air
  - Informasi Banjir dll

- Perancangan (Design)

Design Guide  
Kriteria design

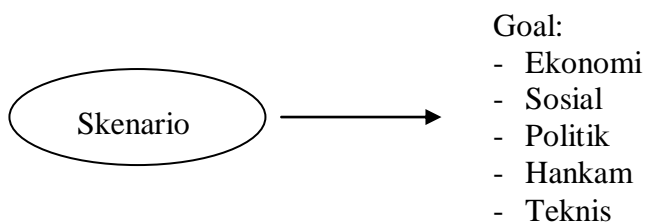
- 
- Patokan rancangan
  - Besaran rancangan

Operasi dan Pemeliharaan (Maintenance)

Operating rule  
Model Optimasi  
Pedoman O dan P

→ Q, H, MA dll

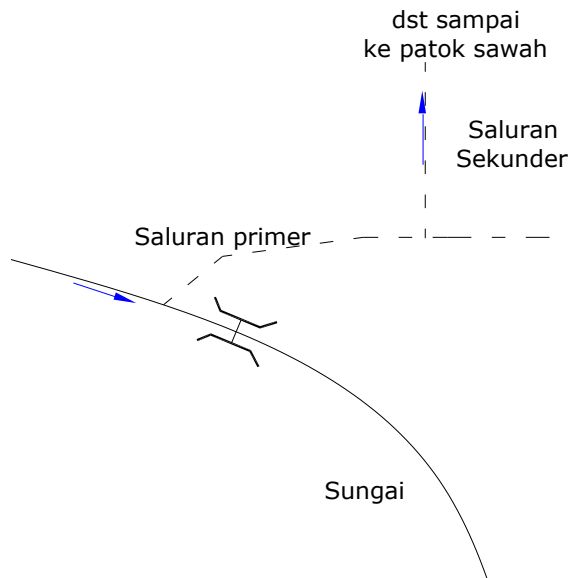
Keterkaitan faktor lain



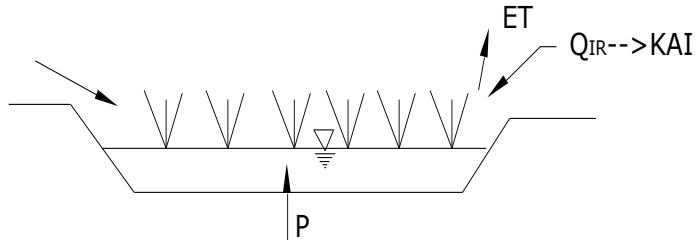
Secara "teknis" umumnya relatif mudah:

- Tersedia petunjuk/ guide
- Standar/ patokan rancangan → umumnya telah tersedia
- Kuantitatif jelas

## IRIGASI



Persoalan: - Q pengambilan berapa? Sesuai yang diperlukan



- Kebutuhan air tanaman (KAT)?

$$KAT = f(ET, U, JT, G)$$

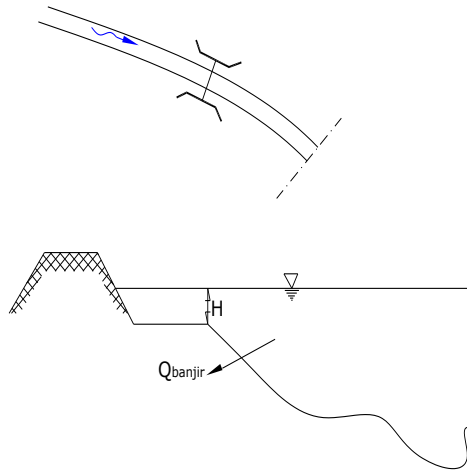
- KAI = KAT - air tersedia

→ dari hujan

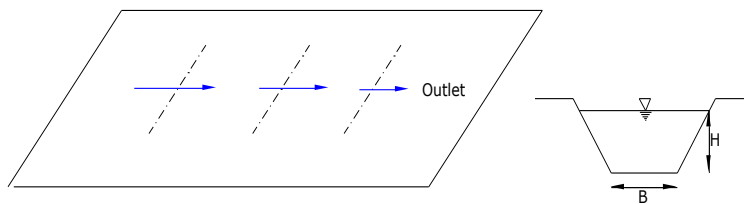
Maka perlu analisis:

1. data Evapotranspirasi
2. data hujan
3. imbalanced air di lahan (water balance)

## Rancangan Tanggul



## Fasilitas drainase pada kawasan/komplek permukiman



### Dimensi saluran drainase:

- besar-boros-aman
- kecil-ekonomis-resiko besar

### Patokan rancangan:

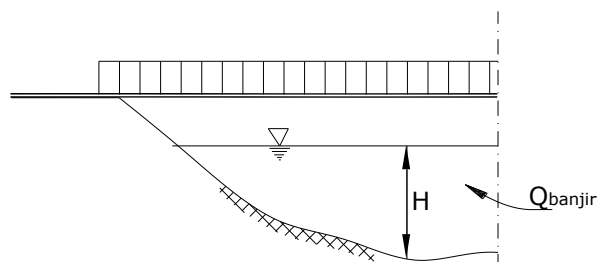
- debit limpasan
- dihitung dari data hujan

perlu jasa analisis hujan dan limpasan

perlu ditetapkan besarnya hujan rancangan dan debit limpasan rancangan

## - Perencanaan Jembatan

Elevasi dasar jembatan harus aman terhadap muka air banjir (MAB)



Persoalan: - berapa elevasi muka air banjir (H)?

- berapa debit banjir (Q)?

- Banjir yang mana sebagai dasar perencanaan?

Solusi: - jika tersedia data debit banjir cukup panjang -> pendekatan statistik

- jika tidak tersedia -> pendekatan dari data hujan dan data DAS

Besaran-besaran sebagai patokan rancangan harus ditetapkan dengan ”**analisis hidrologi**”.

Problema umum dalam analisis hidrologi:

- keraguan nilai besaran rancangan yang berbeda

- penetapan nilai rancangan terpakai yang mana?

Contoh kasus :  $Q_{\text{rancangan}}$  untuk banjir

INPUT	MODEL	OUTPUT
- Karakteristik DAS	- UH - SUH - Nakayashu	- $Q_{10} = 50 \text{ m}^3/\text{det}$
- Hujan	- US SCS	- $Q_{10} = 40 \text{ m}^3/\text{det}$
- Debit	- Tank model	- $Q_{10} = 35 \text{ m}^3/\text{det}$
	- Frekuensi analitis	- $Q_{10} = 60 \text{ m}^3/\text{det}$

$Q_{10} = ?$

→ Eng. Judgement:

- jenis, sifat, Kar, DAS

- Ketepatan pemilihan model

- Resiko: over estimate, under estimate

Sebab umum kesulitan menetapkan model yang sesuai:

- informasi terbatas/ tidak ada

- cara/ metode belum tersedia

- pemahaman masalah kurang

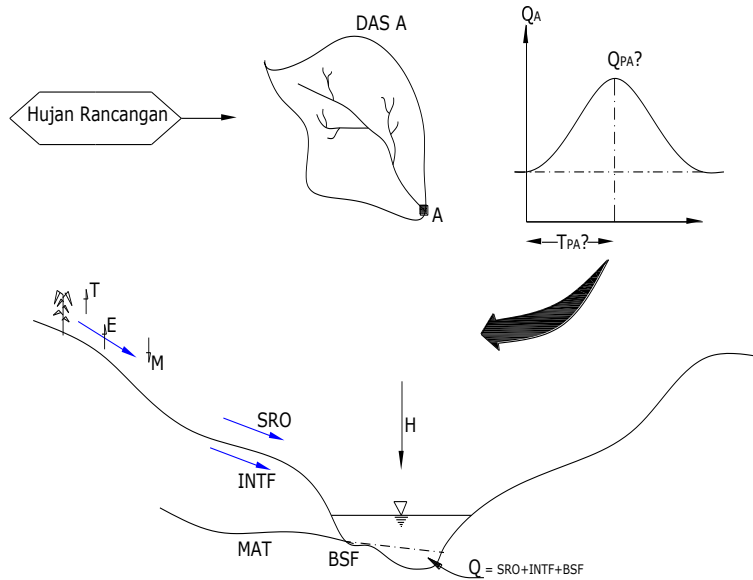
kelemahan umum hidrolgi di Indonesia:

- kualitas data rendah

- sulit memperoleh data

- masterplan daerah yang tidak selalu diketahui sebelumnya, akibatnya dapat timbul konflik pada saat pengembangan di masa datang.

## Daur Hidrologi Gambar



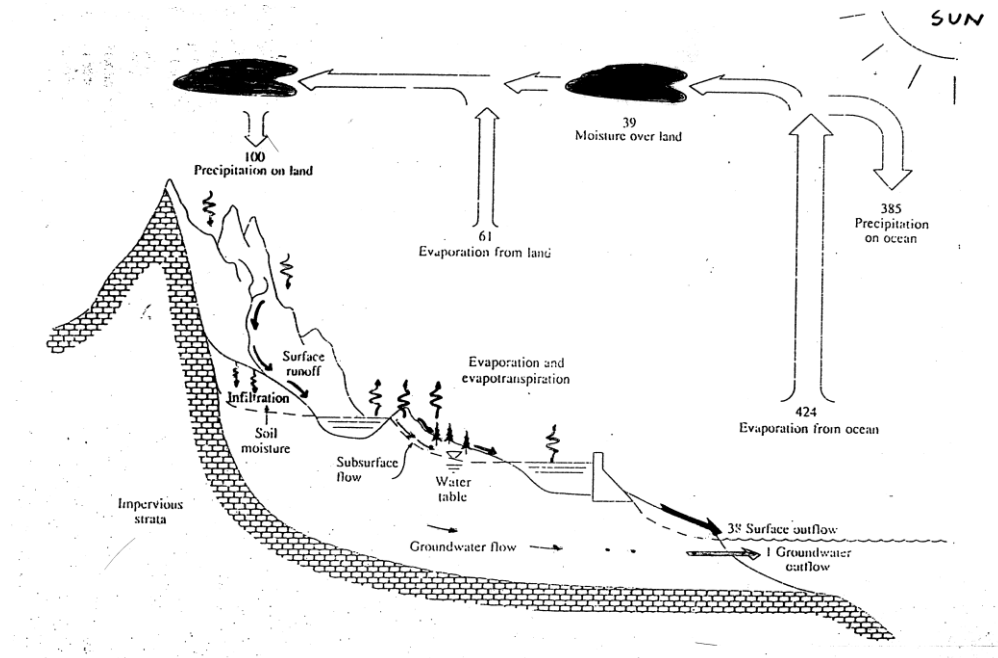
Akuifer:

- $SRO + INTF \rightarrow$  Surface Hydrology
- $BSF$  (air tanah)  $\rightarrow$  hydrogeology

Persoalan:

1. berapa bagian dari hujan yang menjadi  $SRO$ ,  $INTF$ ,  $BSF$ ?
2. laju/ rate dari masing-masing elemen aliran tersebut?

## Gambar Evatransporasi



### Pengukuran hujan

#### Alat pengukur hujan (Raingauge)

1. penakar hujan biasa (manual raingauge)
2. penakar hujan otomatis (automatic raingauge)/ AUHO

#### Manual raingauge:

- corong Ø8" + gelas ukur
- dibaca setiap 24 jam pada jam tertentu (hujan kumulatif untuk periode 24 jam)

#### Automatic raingauge:

- rain recorder
- mencatat terus menerus (intensitas hujan dalam mm tiap jam)

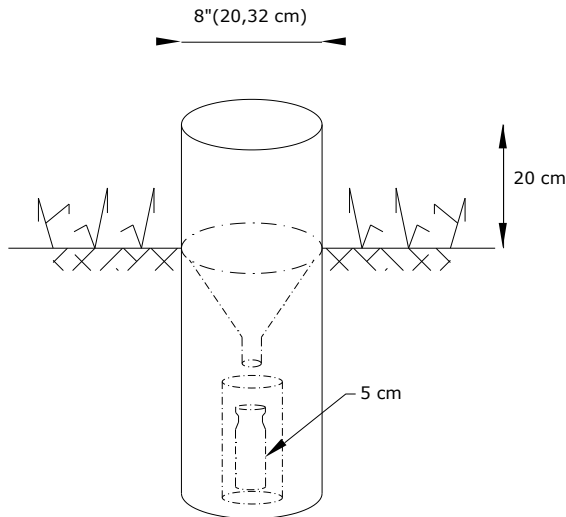
Data hujan hasil pengukuran tersebut merupakan hujan di stasiun hujan yang ditinjau (hujan titik).

#### Tipe rain recorder (AUHO):

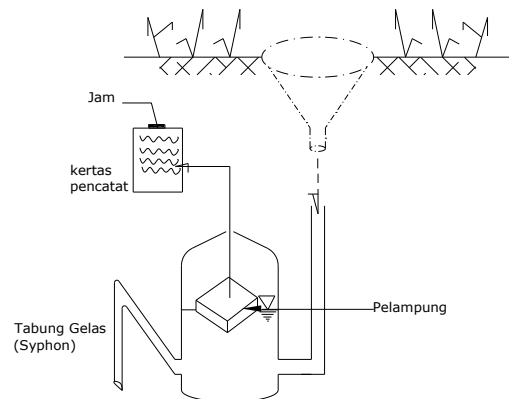
1. Tipping bucket
2. Shypon
3. weighing bucket



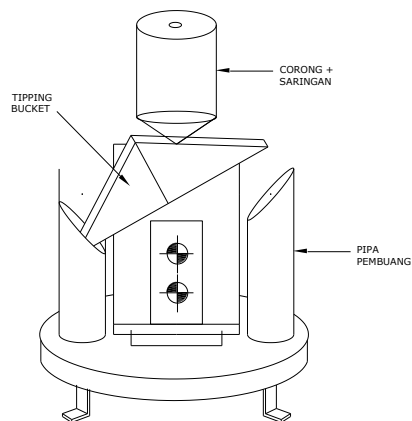
**GAMBAR**  
**Bejana ukur standard raingauge**



**AUHO Shypon**



**AUHO dengan Tipping bucket**



Garis datar → periode tanpa hujan

Garis miring → periode hujan

Makin besar kemiringan → intensitas hujan makin besar.

Pemasangan alat pengukur hujan harus memenuhi syarat → stasiun pengukuran tersebut harus merupakan satu jaringan (Network) untuk mengumpulkan data hujan secara optimum.

Dua faktor terpenting:

1. kerapatan jaringan (network-density) yaitu besaran luasan DAS yang diwakili oleh satu stasiun.

2. pola penempatan stasiun hujan dalam DAS  
WMO menetapkan kerapatan jaringan hujan minimum.

Type of region	Area in KM <sup>2</sup> per stasion	
	Normal condition	Difficult Coud
1.Flat region of temperate, mediterranean, tropical zones	600 – 900	900 - 3000
2.Mountainous regions of temperate, Mediterranean and tropical zones.	100 – 250	250 - 1000
3. Arid and polar zones	1500 – 10000	

### **DATA CURAH HUJAN**

### **PETA DAS**

## ANALISIS HUJAN

Data hujan digunakan dalam analisis hidrologi adalah hujan rata-rata DAS (Catchment rainfall) yang dihitung dari data hujan di beberapa stasiun, dengan cara:

### 1. Aritmatik (rata-rata aljabar)

- kurang teliti
- Cocok untuk DAS dengan variasi hujan tahunan kecil (DAS homogen)

- Rumus:  $\bar{P} = \frac{1}{n}(P_1 + P_2 + \dots + P_n)$

### 2. Polygon Thiessen

- Paling sering digunakan
- Pengaruh luas daerah hujan dengan faktor bobot setasiun (weighing factor)- faktor koreksi

- Rumus :  $\bar{P} = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot P_i$

$\rho_i$  = faktor bobot stasiun i

n = banyaknya stasiun hujan

$P_i$  = kedalaman hujan di stasiun i

### 3. Isohyet

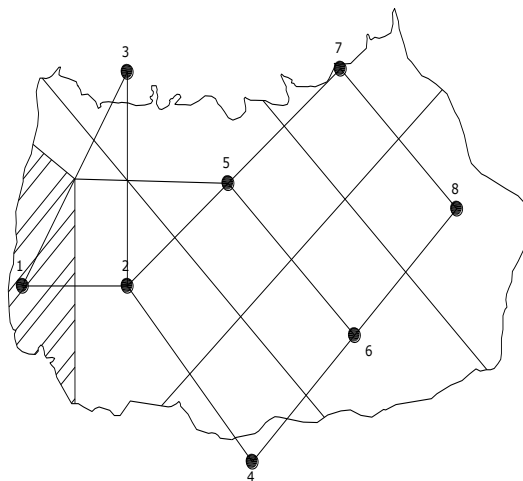
- Memperhitungkan faktor tofografi
- Luas daearah hujan dibatasi garis isohyet

- Rumus :  $\bar{P} = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot P_i$

$P_i$  = tinggi hujan rerata antara 2 garis isohyet

$\rho_i$  = faktor bobot  $P_i$

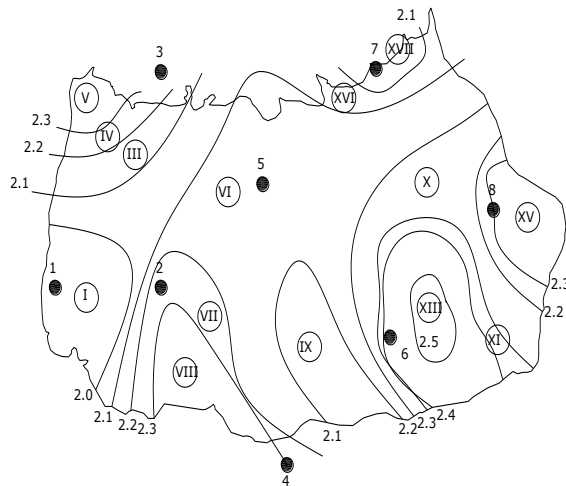
Poligon Thiessen



Stasiun	Kedalaman hujan Pi (Inch)	Thiessen weight, $\rho_i$	Pi. $\rho_i$
1	1.9	0.105	0.1995
2	2.3	0.1611	0.3705
3	2.1	0.0540	0.1134
4	2.3	0.0705	0.1622
5	2.2	0.1607	0.3535
6	2.4	0.1567	0.3761
7	2.1	0.1560	0.3276
8	2.2	0.1360	0.2992
Jumlah		1.00	2.20

## ISOHYET

### Gambar



Area	Pi	$\rho_i$	Pi. $\rho_i$
I	2.05	0.0663	0.1359
II	2.05	0.0426	0.0873
III	2.15	0.0166	0.0357
IV	2.25	0.0098	0.0221
V	2.35	0.0027	0.0063
VI	2.15	0.2952	0.6347
VII	2.25	0.0444	0.0999
VIII	2.35	0.0370	0.0870
IX	2.15	0.0776	0.1668
X	2.25	0.0965	0.2171
XI	2.35	0.0468	0.1100
XII	2.45	0.0512	0.1254
XIII	2.55	0.0417	0.1063
XIV	2.25	0.0237	0.0533
XV	2.25	0.0563	0.1267

XVI	2.15	0.0778	0.1673
XVII	2.05	0.0138	0.0283
Jumlah		0.9996	2.21

### Precipitation / Presipitasi

- Hujan (Rainfall)
- Salju (Snow)
- Es (hail)
- Salju – hujan (Sleet)

### Pengisian data hilang/ kosong

#### 1. Normal Ratio Method

$$P_x = \frac{1}{n} \left[ N_x \cdot \frac{P_A}{N_A} + N_x \cdot \frac{P_B}{N_B} + \dots + N_x \cdot \frac{P_n}{N_n} \right]$$

Dimana:

$P_x$  = hujan yang diperkirakan pada stasiun X

$N_x$  = hujan normal tahunan di stasiun X

$P_A$  = hujan terukur di stasiun A

$n$  = jumlah stasiun referensi ( $\geq 3$ )

#### 2. Reciprocal Method

$$P_x = \frac{\frac{P_A}{(dx_A)^2} + \frac{P_B}{(dx_B)^2} + \frac{P_C}{(dx_C)^2}}{\frac{1}{(dx_A)^2} + \frac{1}{(dx_B)^2} + \frac{1}{(dx_C)^2}}$$

$dx_A$  = jarak antara stasiun X dengan stasiun A

### ■ Uji Konsistensi Data Hujan

Sebab umum inkonsistensi (tidak pangah) data hujan:

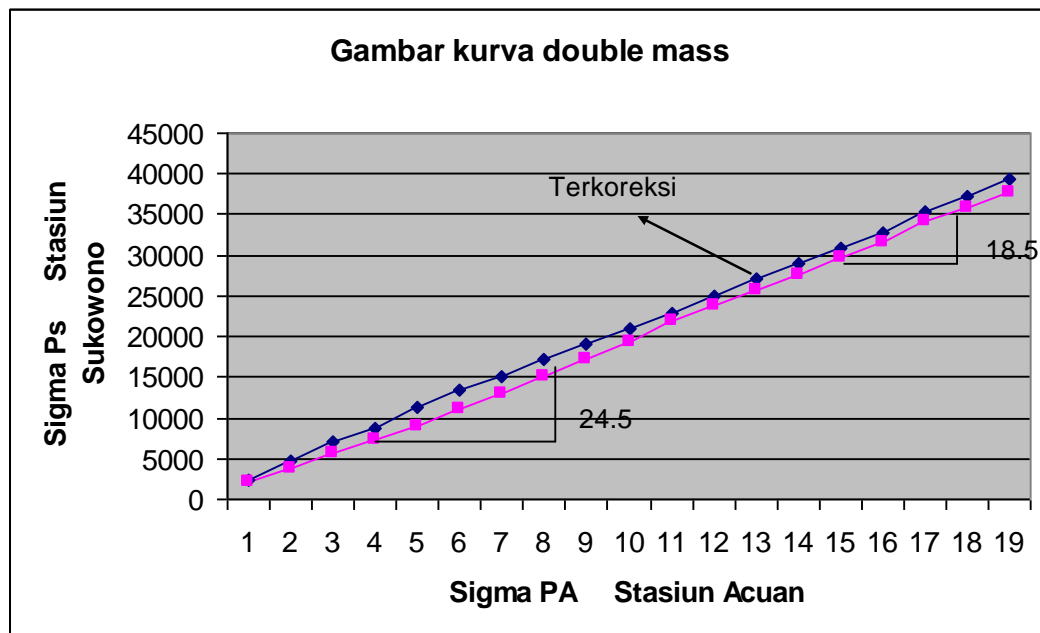
- alat diganti dengan alat berspesifikasi lain
- perubahan lingkungan stasiun mendadak
- pemindahan alat

cara uji dengan "double mass analysis" sebagai berikut:

- (i) tetapkan beberapa stasiun acuan di sekitar stasiun yang diuji
- (ii) hitung hujan rerata kumulatif stasiun acuan
- (iii) hitung hujan kumulatif stasiun yang diujikan (Stasiun X)
- (iv) plotkan pada grafik (ii dengan iii)
- (v) jika terjadi inkonsistensi, koreksi data hujan X

Contoh : Uji konsistensi data hujan Stasiun Sukowono

Tahun	Ps (mm)	$\sum Ps$ (mm)	$\overline{PA(mm)}$	$\overline{\sum PA(mm)}$
1962	2342	2342	2096	2096
1963	2297	4639	1614	3710
1964	2350	6989	2012	5722
1965	1775	8764	1673	7395
1966	2491	11255	1657	9052
1967	2219	13474	2021	11073
1968	1642	15116	1988	13061
1969	2122	17238	2122	15183
1970	1874	19112	2011	17194
1971	1966	21078	2218	19412
1972	1845	22923	2415	21827
1973	1954	24877	1987	23814
1974	2212	27089	1877	25691
1975	1817	28906	1918	27609
1976	1894	30800	1989	29598
1977	1913	32713	2000	31598
1978	2536	35249	2480	34078
1979	1924	37173	1769	35847
1980	2142	39315	1882	37729

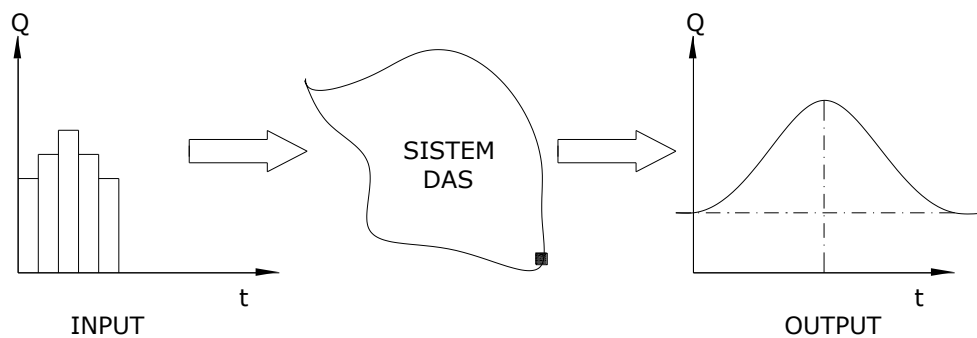


$$\text{Maka } C = \frac{24.5}{18.5} = 1.324$$

## HUJAN RANCANGAN (DESIGN RAINFALL)

- Suatu pola hujan yang digunakan dalam rancangan hidrologi.
- Biasanya 'design rainfall' digunakan sebagai masukan (input) suatu model hidrologi untuk menentukan debit rancangan dengan menggunakan model hujan aliran.

### Gambar



- Hujan rancangan dapat dihitung berdasarkan data hujan disuatu stasiun hujan atau berdasarkan karakteristik hujan di DAS yang ditinjau.
- Hujan rancangan dapat berupa:
  - hujan titik, misal pada metode rational untuk rancangan sistem drainase.  
 $Q = C \cdot I \cdot A$
  - rainfall hyeograph adalah suatu gambaran/plot kedalaman hujan (intensity) sebagai fungsi waktu, biasanya ditampilkan dalam bentuk histogram, misal pada model hujan aliran untuk design spillway suatu bendungan.

Sifat hujan yang perlu diketahui:

- (i) Hubungan antara kedalaman hujan dengan kala ulang

$$\text{Umum: } P_T = \bar{P} + K \cdot S$$

$P_T$  = hujan dengan kala ulang T tahun

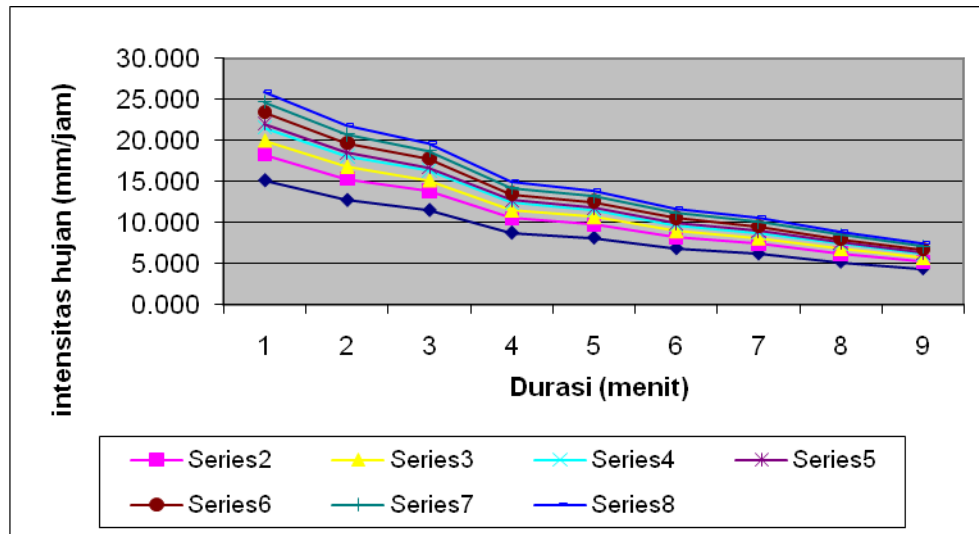
$\bar{P}$  = hujan rata-rata

K = faktor frekuensi

S = Standard deviation

- (ii) Hubungan antara kedalaman hujan, luas DAS dan durasi/ lama hujan
- (iii) Hubungan antara intensitas hujan, lama hujan dan kala ulang hujan.

Contoh:



Grafik lengkung intensitas hujan digunakan pada perancangan debit limpasan banjir, misal untuk rencana selokan drainase, gorong-gorong dan lain-lain.

## HIDROMETRI

### Pengertian

Ilmu pengetahuan yang mempelajari pengukuran air pada siklus hidrologi, atau ilmu tentang pengumpulan dan pemrosesan data dasar untuk analisis hidrologi.

Dalam pengertian praktis, hidrometri mencakup pengetahuan tentang pengukuran dan pengolahan data aliran sungai, meliputi tinggi muka air (H), debit aliran (Q) dan angkutan sedimen (Qs) dari suatu pos duga air. Pada stasiun hidrometri harus ada rating curve (liku kalibrasi, lengkung debit), yang menghubungkan debit dengan tinggi muka air (Q dan H)

H → mudah diukur secara kontinu

Q → tidak dapat diukur secara kontinu

Sehingga, konversi H → Q

Pengukuran hidrometri mencakup:

1. Penetapan lokasi stasiun hidrometri:
  - tersedia kontrol yang memadai
  - dapat didatangi setiap saat



- dibagian sungai yang lurus, arus sejajar
  - penampang sungai teratur dan stabil
  - tidak ada aliran di bantaran
  - ditempat yang alirannya sensitif
  - tidak terdapat pengaruh 'backwater'
2. pengukuran debit
  3. pengukuran tinggi muka air
  4. pembuatan lengkung debit
  5. pengukuran angkutan sedimen
  6. perhitungan dan analisis debit air, debit sedimen dan kesalahan

### **PENGUKURAN TINGGI MUKA AIR**

- manual gauges
- Automatic Water Level Recorder (AWLR)

Manual Gauges:

Tinggi muka air biasanya dicatat 2-3 kali sehari, tergantung variasi aliran, ketersediaan tenaga dan penggunaan data.

- a. papan duga (manual staff Gauges)
  - papan yang diberi skala (cm)
  - relatif murah

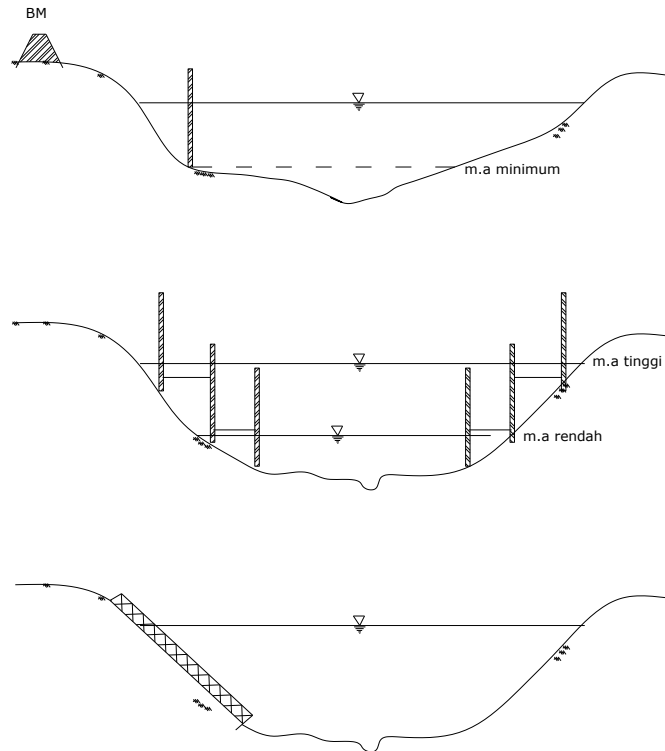
hal yang perlu diperhatikan:

- pemasangan diikat dengan BM
- dipasang pada penyangga yang kokoh
- dapat dibaca pada semua ketinggian
- usahakan tidak langsung pada arah sungai

Pemasangan:

- papan duga vertikal
- papan duga miring
- papan duga bertingkat

## Gambar



### b. Suspended Gauges

- untuk daerah yang sukar didatangi
- hanya untuk pengukuran secara periodik

kerugian manual gauges

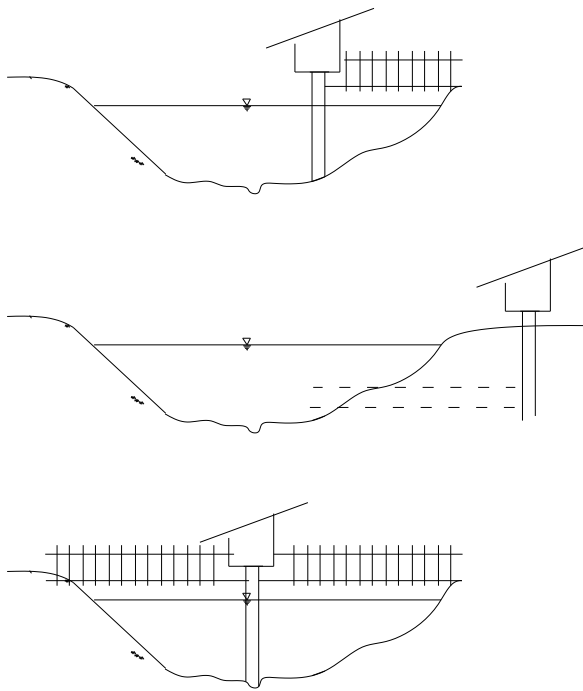
- informasi tidak lengkap
- kurang teliti, tergantung pengamat

### c. Recording Gauges (AWLR)

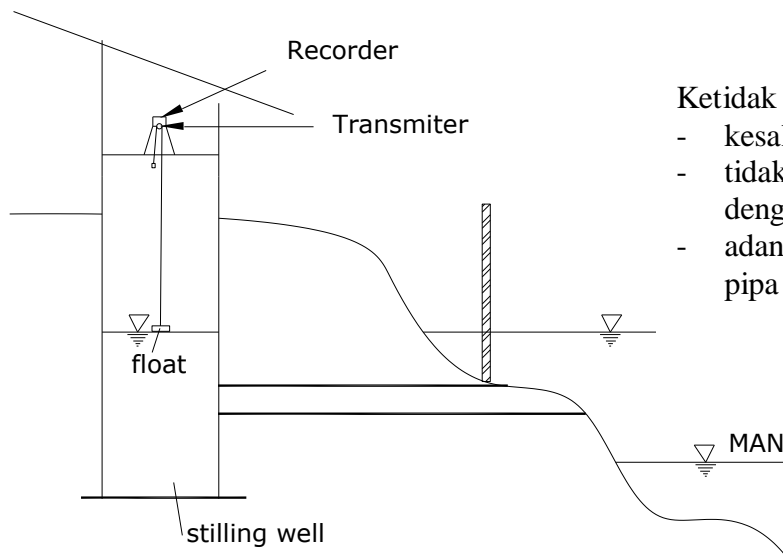
- pencatat pneumatic (pneumatic recorder)
  - relatif mudah dalam pemasangan
  - ketelitian kurang
  - prinsip didasarkan pada perubahan tekanan akibat perubahan tinggi muka air
- pencatat dengan pengapung (float recorder)
  - ketelitian cukup besar
  - paling banyak digunakan

- prinsip akibat perubahan tinggi muka air pelampung akan bergerak vertikal dan diteruskan ke pencatat (recorder)

**Gambar**



- untuk mencegah adanya gelombang, pelampung ditempatkan dalam sumur penenang (stilling well)
- perlu dipasang papan duga biasa sebagai kontrol



- Ketidak telitian data:
- kesalahan pemasangan
  - tidak bekerjanya alat dengan baik
  - adanya endapan pada pipa

Crest Gauges: mencatat tinggi muka air yang bersifat khusus mencatat tinggi muka air maksimum selama banjir.

Misal:

Griffin gauge: mencatat tinggi maksimum (papan duga biasa yang dicat dengan bahan yang dapat luntur oleh air)

Float gauge: mencatat H maks (suatu pengapung dilengkapi dengan pemberat dan roda bergigi)

Bottle gauge: mencatat H maks (dengan botol-botol yang dihubungkan pipa pada interval tertentu)

### Pengukuran Debit

- dilakukan secara periodik
- untuk membuat 'Rating Curve'

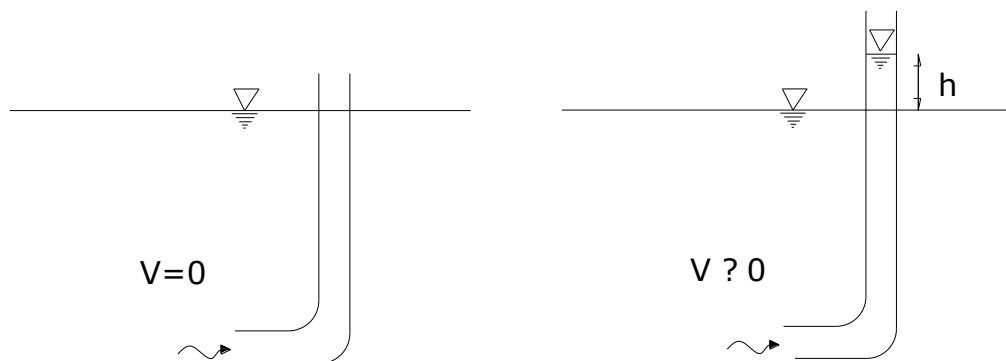
Frekuensi pengukuran tergantung:

- tujuan pengukuran
- kepekaan sungai  $dH/dt$
- tingkat ketelitian

pengukuran tidak langsung (indirect measurement)

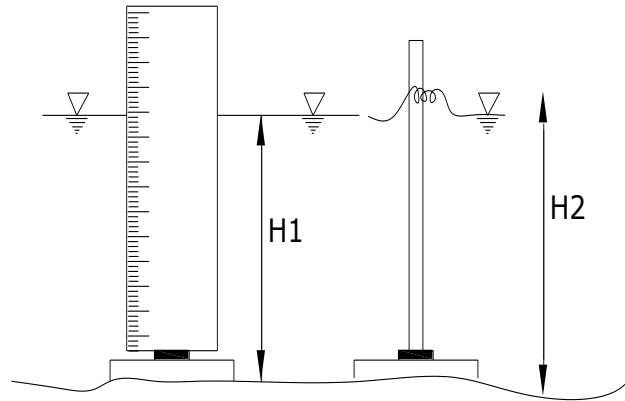
- a. Pitot Tube meter

### Gambar



b. Velocity Head Rod

**Gambar**



- hanya mengukur kecepatan permukaan
- untuk kecepatan aliran  $> 1$  m/detik

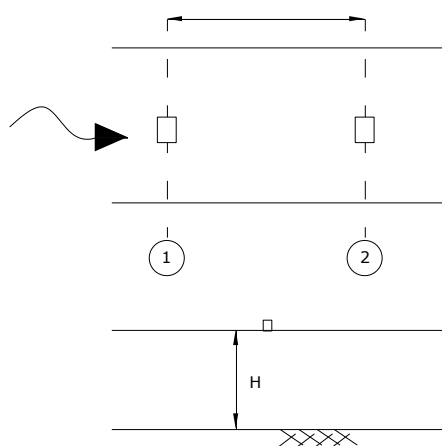
$$H_0 = H_2 - H_1$$

$$H_0 = \frac{V^2}{2g} \rightarrow V_p = \sqrt{2gH_0}$$

$$\bar{V} = K \cdot V_p \rightarrow K = 0.85 - 1$$

c. Pelampung (float)

**Gambar**



$$L = 30 - 70 \text{ m}$$

$$t_{12}?$$

$$V_p = \frac{L}{t_{12}}$$

$$\bar{V} = K \cdot V_p \rightarrow K = 0.85$$

$$H < 0,5 \text{ m} \rightarrow K = 0,6$$

$$H > 4 \text{ m} \rightarrow K = 0,9 - 0,95$$

## Area Velocity Method

Pengukuran dengan Current Meter

$$\text{Prinsip: } Q = \sum dQ = \int V_i \cdot dA_i \rightarrow dQ = V \cdot dA$$

$V_i$  diukur dengan current meter

Current meter model OSS-PC1 serial 93-2 pitch 0,05 formula kalibrasi current meter oleh hydrological services PTY, LTD Australia

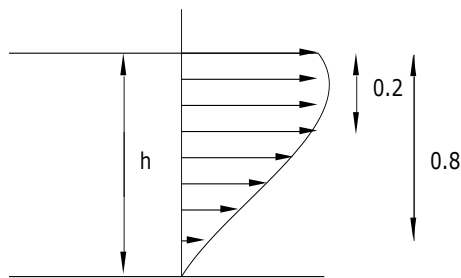
$$n < 1,65 : U = 0,061 n + 0,0128 \text{ m/s}$$

$$1,65 < n < 3,66 : U = 0,0599 n + 0,0146 \text{ m/s}$$

$$n > 3,66 : U = 0,0523 n - 0,0425 \text{ m/s}$$

$$n = \frac{\text{pulses}}{t(\text{detik})} \quad \begin{array}{l} \text{pulses} = \text{jumlah putaran} \\ t = \text{waktu} \longrightarrow 30 \text{ detik} \end{array}$$

### Gambar



Jika  $h < 30 \text{ cm}$   $\longrightarrow$  satu pengukuran pada  $0,4H$  dari muka air  
 $h > 30 \text{ cm}$   $\longrightarrow$  dua pengukuran pada  $0,2H$  dan  $0,8H$  dari muka air

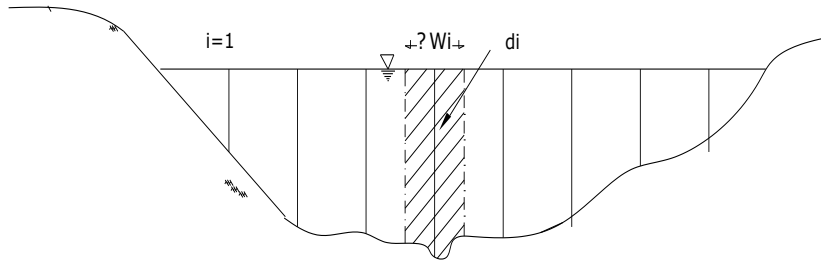
$$\bar{U} = \frac{U_{0,2} + U_{0,8}}{2} \rightarrow \text{untuk } \cdot 2 \cdot \text{ titik}$$

$$\bar{U} = \frac{U_{0,2} + U_{0,6} + U_{0,8}}{3} \rightarrow \text{untuk } \cdot 3 \cdot \text{ titik}$$

### Mild – Section Method

$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{U} \dots di \cdot \Delta Wi$$

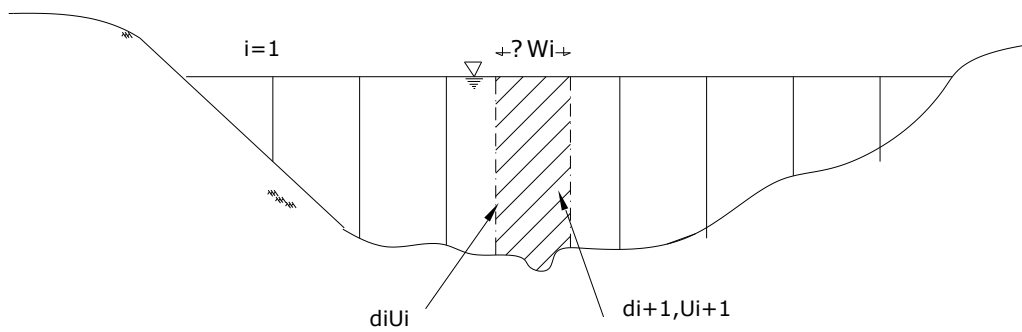
### Gambar



### Mean – section Method

$$Q = \sum_{i=1}^n \left( \frac{U_i + U_{i+1}}{2} \right) \cdot \left( \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right) \cdot \Delta Wi$$

### Gambar

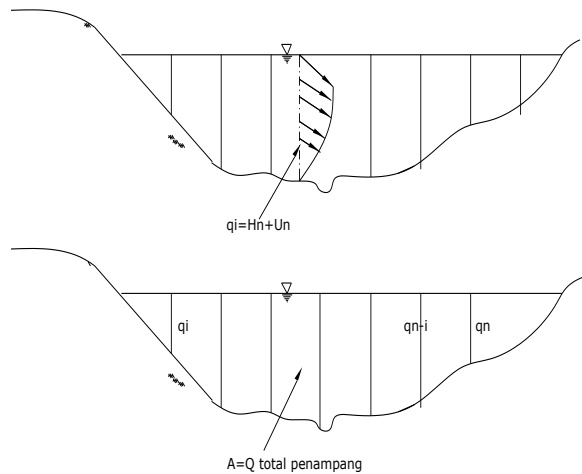


### Cara Harlacher

Dengan memperhatikan luasan pada distribusi kecepatan tiap vertical

$$q_i = \text{luas diagram} = U_n \times H_n$$

### Gambar



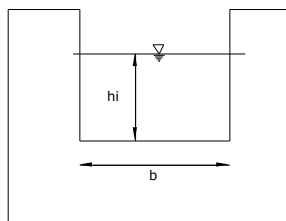
### Pengukuran Debit

#### a. Volumetric method

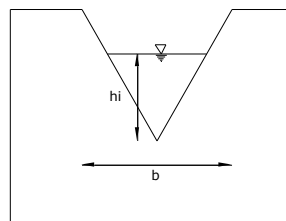
- Digunakan untuk aliran kecil
- Menggunakan bejana dengan volume diketahui, dan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengisi bejana tersebut

#### b. Dengan bangunan pengukur

### Gambar



$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{1.5}$$

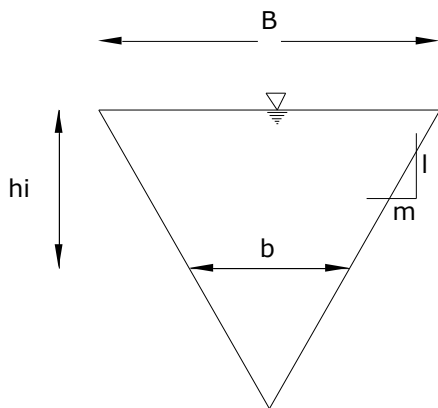


$$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot h^{2.5}$$



Sharp – crested weir with trapezoidal (Cipoletti)

**Gambar**



$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot \left[ b + \frac{4}{5} h \cdot \tan \frac{\theta}{2} \right] \cdot h_1^{1.50}$$

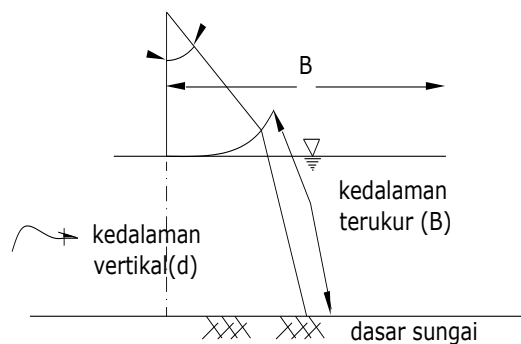
### Pelaksanaan Pengukuran

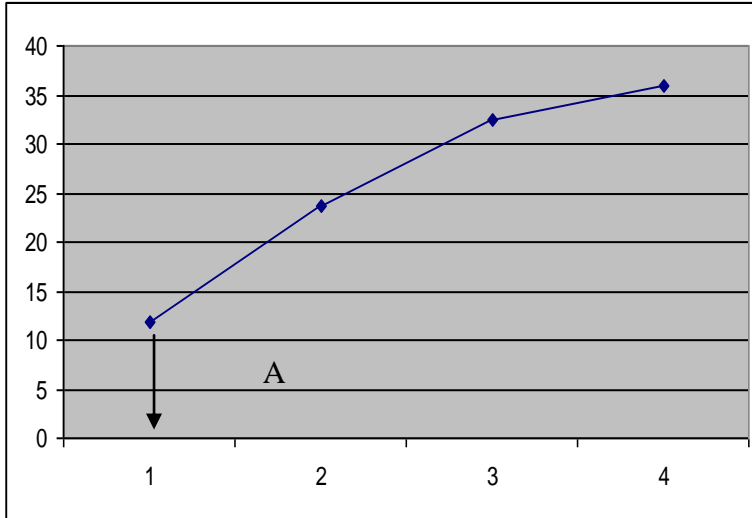
Dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung:

- Keadaan sungai
  - Keadaan aliran
1. Wading, pengukur langsung masuk sungai
  2. Biar gauging, pengukuran dengan menggunakan perahu saat pengukuran perahu dalam keadaan diam.
  3. Dari jembatan, current meter digantungkan pada kabel
  4. Cable way, merentangkan kabel melintang sungai, pengukuran dilakukan dengan memakai kabel sebagai jembatan untuk current meter

Cara Grafis

**Gambar**





$$Y = \text{Log } H$$

$$X = \text{Log } Q$$

$$Y = A + BX$$

$$B = \text{Tg } \alpha$$

$$\text{Log } H = A + B \text{Log } Q$$

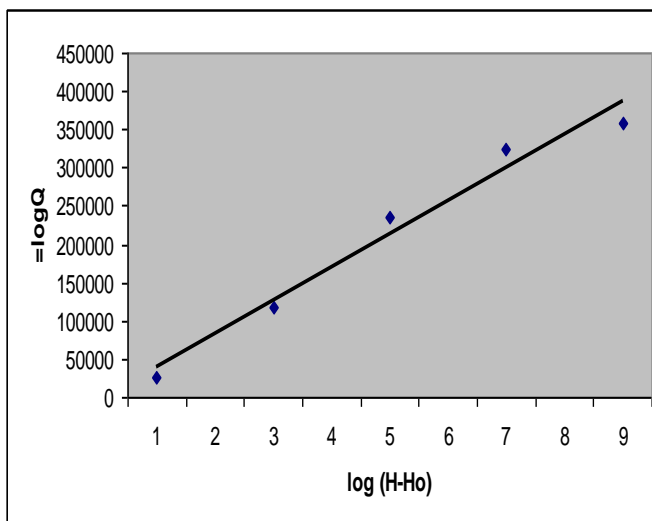
$$= \text{Log } 10^A + \text{Log } Q^B = \text{Log } (10^A \cdot Q^B)$$

$$H = 10^A \cdot Q^B$$

$$Q = \frac{1}{10} A \left( \frac{1}{10} A \right)^{1/B} \cdot (H)^{1/B}$$

Jika dengan cara Trial, misal  $H - H_0$

Gambar



$$Y = A + BX$$

$$Y \text{Log}10 = \text{Log } Q$$

$$Q = 10^Y$$

$$A = \text{Log } a \text{---} \text{Log } a = \text{Log } 10^A$$

$$a = 10^A$$

$$b = B$$

$$\begin{aligned} \text{Log}Q &= \text{Log} \cdot a + b \cdot \log(H - H_0) = \text{Log} \cdot a + \log(H - H_0)^b \\ &= \text{Log}[ax(H - H_0)^b] \\ Q &= ax(H - H_0)^b \\ Q &= 10^A (H - H_0)^B \end{aligned}$$

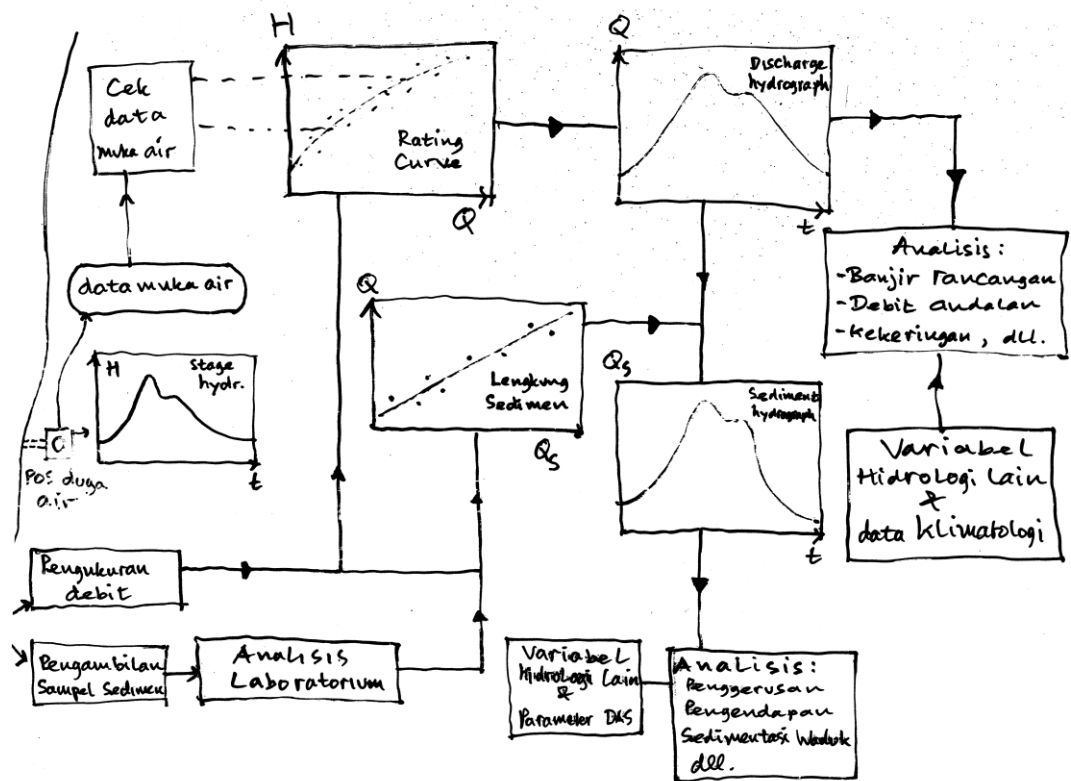
## 2. Regresi Linier: Least Square Method

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - [\sum_{i=1}^n X_i]^2}$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n X_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - \{\sum_{i=1}^n X_i\}^2}$$

**Contoh : berikut data hasil pengukuran hydrometric pada suatu sungai  
(misal  $H_0 = 0,5\text{m}$ )**

Q ( $\text{m}^2/\text{det}$ )	H (cm)	Log (H-H <sub>0</sub> ) Xi	Log Q Yi	Log Q. Log (H-H <sub>0</sub> ) XiYi	[Log (H-H <sub>0</sub> )] <sup>2</sup> Xi <sup>2</sup>
1020	1.72	0.086	3.009	0.260	0.007
4900	3.47	0.473	3.690	1.745	0.223
7700	4.26	0.575	3.886	2.235	0.331
10700	5.61	0.708	4.029	2.854	0.502
15100	6.70	0.792	4.179	3.311	0.628
19000	7.80	0.863	4.279	3.694	0.745
25000	9.21	0.940	4.398	4.134	0.884
2700	2.50	0.301	3.431	1.033	0.091
6600	4.02	0.547	3.820	2.088	0.299
9450	5.08	0.661	3.975	2.627	0.437
13100	5.98	0.739	4.117	3.042	0.546
16100	6.83	0.801	4.207	3.371	0.642
24100	8.75	0.916	4.382	4.016	0.840
27300	9.90	0.973	4.436	4.317	0.947
	$\Sigma$	9.377	55.839	38.728	7.121

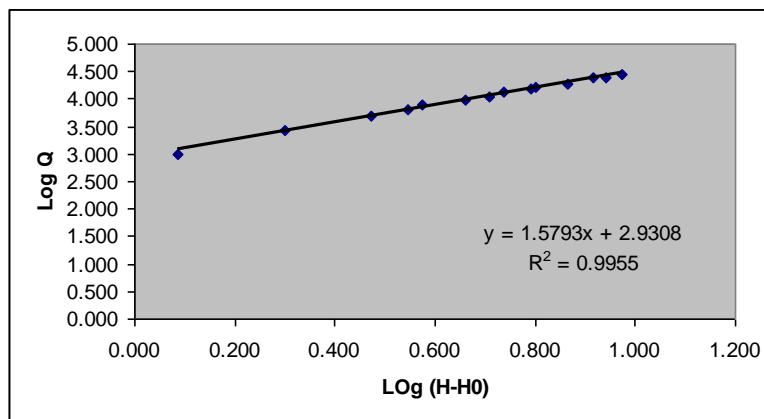


$$Q = 10^A (H - H_0)^B$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - [\sum_{i=1}^n X_i]^2} = \frac{14 \cdot 38,728 - 9,377 \cdot 55,839}{14 \cdot 7,121 - (9,377)^2} = 1,5799$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n X_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - \{\sum_{i=1}^n X_i\}^2} = \frac{55,839 \cdot 7,121 - 9,377 \cdot 38,728}{14 \cdot 7,121 - (9,377)^2} = 2,9303$$

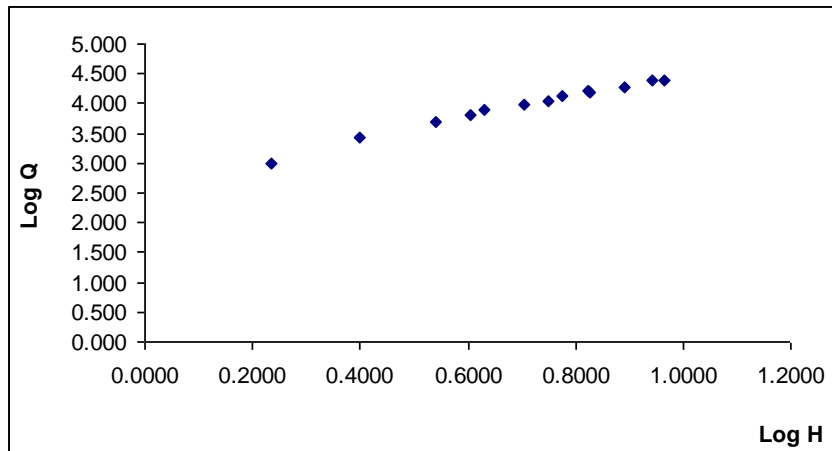
$$\therefore Q = 10^{2,9303} (H - H_0)^{1,5799} = 851,726 (H - H_0)^{1,5799}$$



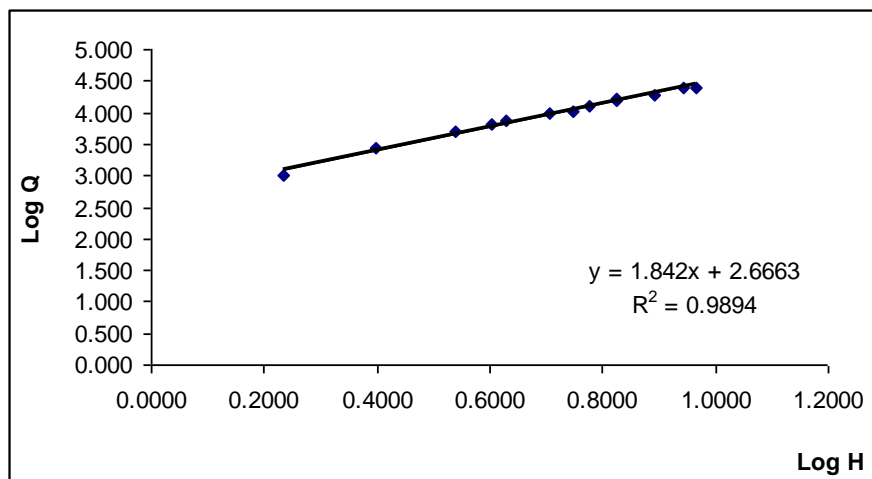
Step 1 : Konversi data kedalam nilai logaritma

H	Q	Log H	Log Q	Log H. Log Q	(Log H) <sup>2</sup>
(m)	(m <sup>3</sup> /det)	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1.720	1020	0.2355	3.009	0.7086	0.0555
3.470	4900	0.5403	3.690	1.9939	0.2920
4.260	7700	0.6294	3.886	2.4462	0.3962
5.610	10700	0.7490	4.029	3.0179	0.5609
6.700	15100	0.8261	4.179	3.4521	0.6824
7.800	19000	0.8921	4.279	3.8171	0.7958
9.210	25000	0.9643	4.398	4.2408	0.9298
2.500	2700	0.3979	3.431	1.3655	0.1584
4.020	6600	0.6042	3.820	2.3079	0.3651
5.080	9450	0.7059	3.975	2.8061	0.4982
5.980	13100	0.7767	4.117	3.1979	0.6033
6.683	16100	0.8250	4.207	3.4705	0.6806
8.750	24100	0.9420	4.382	4.1279	0.8874
9.900	27300	0.9956	4.436	4.4168	0.9913

Step 2 : Plot data pada grafik (jenis scatter)



Step 3: Insert trend line (linier, display equation and R<sup>2</sup>)



$$Q = \frac{1}{10} A \left( \frac{1}{10} A \right)^{1/B} \cdot (H)^{1/B}$$

$$A = 2,6825$$

$$B = 1,8115$$

$$Q = 0,033 H^{0,5521}$$

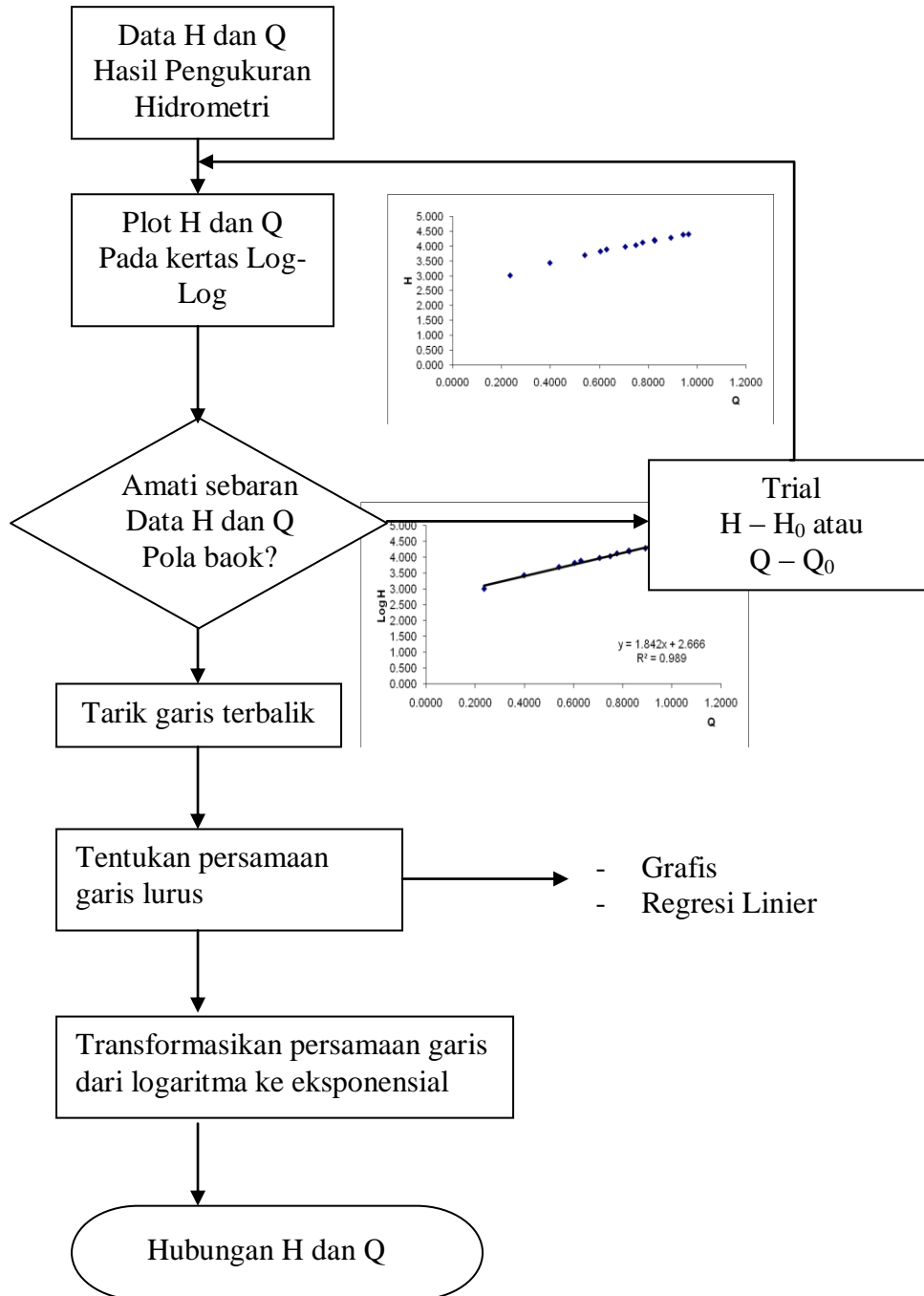
Diketahui data hasil pengukuran hidrometri dari suatu sungai sebagai berikut:

H (m)	Q (m <sup>3</sup> /det)
0.7X	8.5X
0.9Y	1Y.3X
1.2X	1X.Y2
1.YX	10.5X
0.9Y	10.4Y
1.3X	10.X7
0.YY	5.Y5
0.7X	8.X5
1.Y5	1X.2Y
1.X5	Y5.X8
2.2Y	7X.25
1.2X	1Y.34
1.Y5	33.5X
1.X7	3X.5X
0.8Y	8.2Y
1.9X	4Y.5X
0.X5	8.3Y
0.8Y	10.X5
1.5X	30.YX
1.Y2	20.XX

X dan Y adalah dua angka terakhir NIM saudara

Buatlah persamaan liku kalibrasi dari data hidrometri diatas?

## Liku kalibrasi (Rating Curve)





Data Hasil hidrometri sebagai berikut:

H (m)	Q (m <sup>3</sup> /det)	Log H	Log Q
		Xi	Yi
0.75	8.50	-0.1249	0.9294
0.95	11.35	-0.0223	1.0550
1.25	18.52	0.0969	1.2676
1.10	10.50	0.0414	1.0212
0.95	10.40	-0.0223	1.0170
1.35	10.75	0.1303	1.0314
0.65	5.50	-0.1871	0.7404
0.75	8.35	-0.1249	0.9217
1.25	10.25	0.0969	1.0107
1.55	55.00	0.1903	1.7404
2.20	75.25	0.3424	1.8765
1.25	15.34	0.0969	1.1858
1.50	33.58	0.1761	1.5261
1.75	36.55	0.2430	1.5629
0.80	8.25	-0.0969	0.9165
1.95	44.50	0.2900	1.6484
0.75	8.35	-0.1249	0.9217
0.85	10.15	-0.0706	1.0065
1.50	30.00	0.1761	1.4771
1.25	20.00	0.0969	1.3010

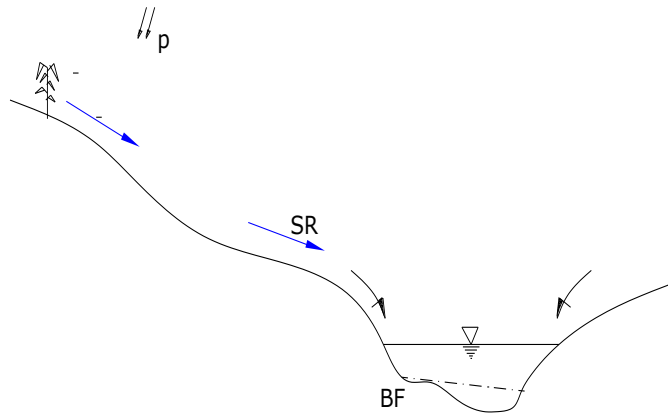
**Gambar**

**Tabel X.3 Faktor Frekuensi K untuk agihan Log-Pearson Tipe III dengan skewness positif**

**Tabel X.4 Faktor Frekuensi K untuk agihan Log-Pearson Tipe III dengan skewness positif**

# INFILTRASI

## Gambar



Infiltrasi: aliran air masuk ke dalam tanah melalui permukaan tanah

Perkolasi: aliran air dalam tanah secara vertical akibat gaya berat

Kapasitas infiltrasi : laju infiltrasi maksimum

Laju infiltrasi (infiltration rate) : kecepatan infiltrasi pada saat t (nyata)

Kapasitas lapangan (field capacity) : besarnya kandungan air maksimum yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya gravitasi

Initial abstraction : jumlah intersepsi dan tampungan cekungan (depression storage) yang harus dipenuhi terlebih dahulu sebelum terjadi 'overland - flow'

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap infiltrasi:

- Jenis tanah  $\rightarrow f_{(\text{tanah pasir})} > f_{(\text{lempung})}$
- kepadatan tanah  $\rightarrow$  makin padat  $\rightarrow f <<$
- tutup tumbuhan (vegetal cover)  $\rightarrow f >>$
- kelembaban tanah  $\rightarrow \theta > \rightarrow f <$

Kaitan infiltrasi – perkolasi

- a. formasi lapisan tanah dengan kapasitas perkolasi besar, tetapi kapasitas infiltrasi kecil
- b. formasi lapisan tanah dengan kapasitas infiltrasi besar, tetapi kapasitas perkolasi kecil

## PENGUKURAN INFILTRASI

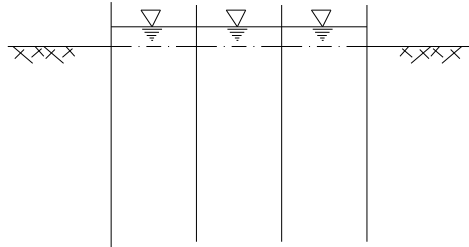
Infiltrasi  $\rightarrow$  mata rantai penting dalam siklus hidrologi

Besarnya infiltrasi ?  $\rightarrow$  perancangan

Usaha-usaha untuk memperoleh gambaran  $\rightarrow$  besarnya infiltrasi

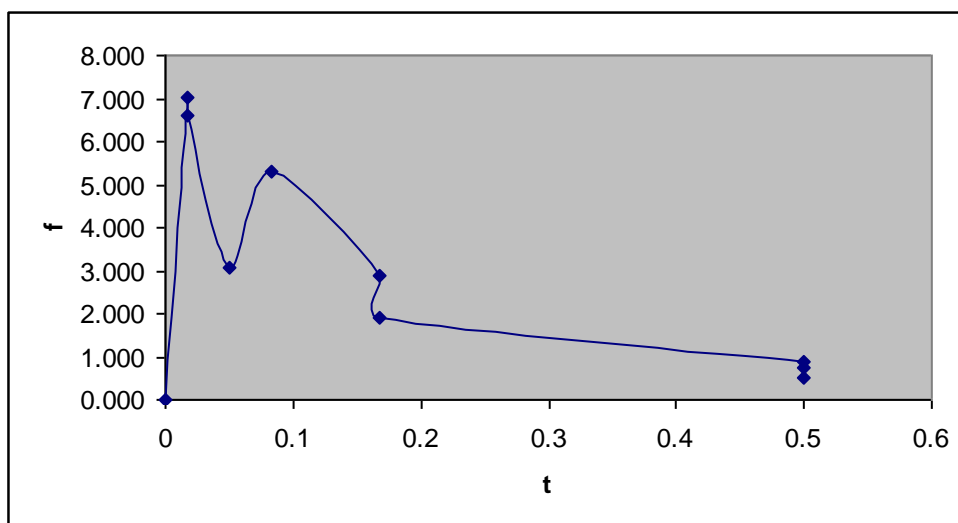
1. infiltrometer
  - flooding type (ring infiltrometer)
  - rainfall simulator
2. analisis hidrograf

Ring infiltrometer  
Gambar



Contoh hitungan pengukuran infiltrasi dengan ring infiltrometer ( $A = 800 \text{ cm}^2$ )

Waktu (menit)	$\Delta t$ (jam)	$\Sigma$ volume air ditambahkan, $\text{cm}^3$	$\Delta F$ (cm)	$\Sigma F$ (cm)	$f = F/t$ (cm/jam)
0	0	0	0.0000	0.0000	0.000
1	0.0167	94	0.1175	0.2275	7.036
2	0.0167	182	0.1100	0.3375	6.587
5	0.0500	305	0.1538	0.4913	3.076
10	0.0830	658	0.4417	0.9330	5.322
20	0.1670	1041	0.4780	1.4110	2.862
30	0.1670	1298	0.3210	1.7320	1.922
60	0.5000	1647	0.4360	2.1680	0.872
90	0.5000	1952	0.3810	2.5490	0.762
120	0.5000	2160	0.2600	2.8090	0.520



Maka kapasitas infiltrasi = 0,52 cm/jam

## Rainfall Simulator

### Gambar

1. Percobaan dilakukan dengan  $I > f_p \rightarrow$  rumus Horton berlaku
2. **Gambar**

3. Hujan buatan dihentikan, terjadi resesi air limpasan, karena masih ada ditensi dipermukaan (detention)
4. Infiltrasi masih terus terjadi  $\rightarrow$  laju kecil kurva resesi dari infiltrasi dapat didekati :

$$\frac{f_r}{g_r} = \frac{f_c}{g_c} \rightarrow f_r = \frac{f_c}{g_c} \cdot g_r$$

$g_r$  = diukur

$f_r$  = diukur

index c  $\rightarrow$  harga konstan dari g dan f pada suatu saat

index r  $\rightarrow$  resesi

5. Storage yang terjadi, yaitu perbedaan antara i,  $f_p$  dan q juga terbentuk dengan cara yang sama, sehingga volume S harus sama dengan volume resesi ( $g + f$ ).

## **Analisis Hidrograf**

Data P dan Q yang bersesuaian  
**Gambar**

$$\sum P_{netto} \times A = \text{Vol. aliran. lim. pasan}$$

$$\sum P_{total} \times A = \text{Vol. hujan}$$

$$\phi = \frac{P_{total} - P_{netto}}{T}$$

Dimana T = lama hujan yang mengakibatkan limpasan

$\phi$  = index infiltrasi

Contoh  
**Gambar**

Volume limpasan  
langsung =

$$V = \sum_{i=1}^n Q_x \Delta t$$

$$\text{Tinggi} \cdot \text{lim. pasan} = \frac{V}{A}$$

Misal  $A = 467 \text{ km}^2$

$V = 619380 \text{ m}^3$

Tinggi limpasan  $= V/A = 1,33 \text{ mm}$

- Trial 1  $\rightarrow \Phi < 2 \text{ jam}$

$$\Phi = \frac{P_{tot} - P_{nett}}{T} = \frac{(4 + 3 + 2 + 2) - 1,33}{4} = 2,4 \text{ mm/jam}$$

$\Phi > 2 \text{ mm/jam}$

- Trial 2  $\rightarrow 2 < \Phi < 3 \text{ mm/jam}$

$$\Phi = \frac{(4 + 3) - 1,33}{4} = 2,84 \text{ mm/jam} < 3 \dots \dots \dots \text{OK } (> 2)$$

### Gambar

### Analisis Hujan Rancangan

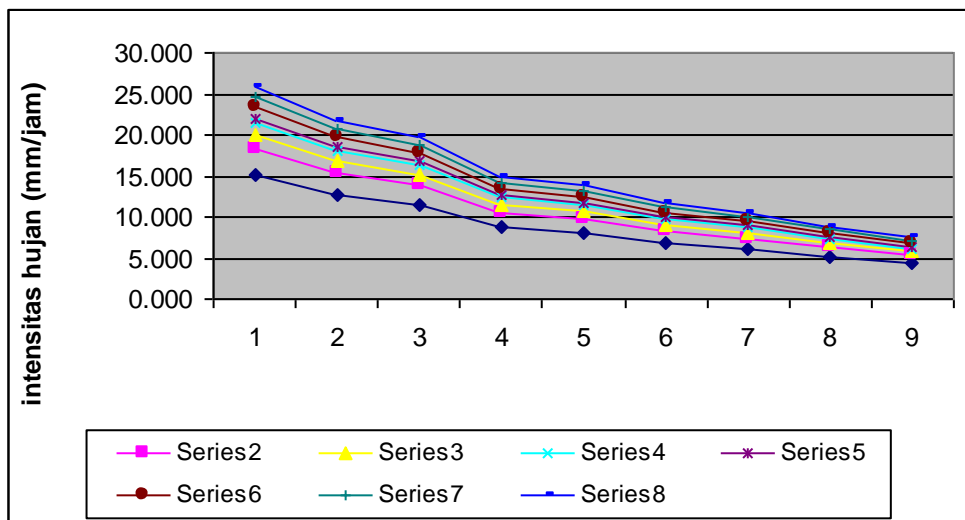
. Hujan titik

- dengan rangkaian data hujan maksimum tahunan untuk lama hujan tertentu.
- Analisis frekuensi

. Hujan DAS

- berdasarkan hasil analisis hujan titik dengan menggunakan kurva hubungan antara luas DAS dan kedalaman hujan titik

### Gambar





**Kurva Intensity – Duration – Frequency (IDF)**

- misal untuk menentukan hujan rancangan untuk drainase yang meliputi intensitas (kedalaman) , duration (lama hujan) dan frekuensi (return period).
- Intensitas hujan adalah laju hujan/ kedalaman hujan persatuan waktu
- Rata-rata intensitas hujan dapat ditulis dengan:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Dimana: P = kedalaman hujan (mm)  
 Td = lama hujan (jam)  
 i = Intensitas hujan (mm/jam)

Frekuensi dinyatakan dalam return period/ kala ulang.

**Gambar**

IDF dapat dinyatakan dalam persamaan

$$i = \frac{C \cdot T^m}{Td + f}$$

C, d, m, f = konstanta

**→ Design Hyetograph**

- dengan analisis kejadian hujan otomatis, pola tipikal hujan ditentukan.
- Bila data hujan otomatis tidak tersedia, dapat digunakan beberapa pendekatan, misal rumus mononobe

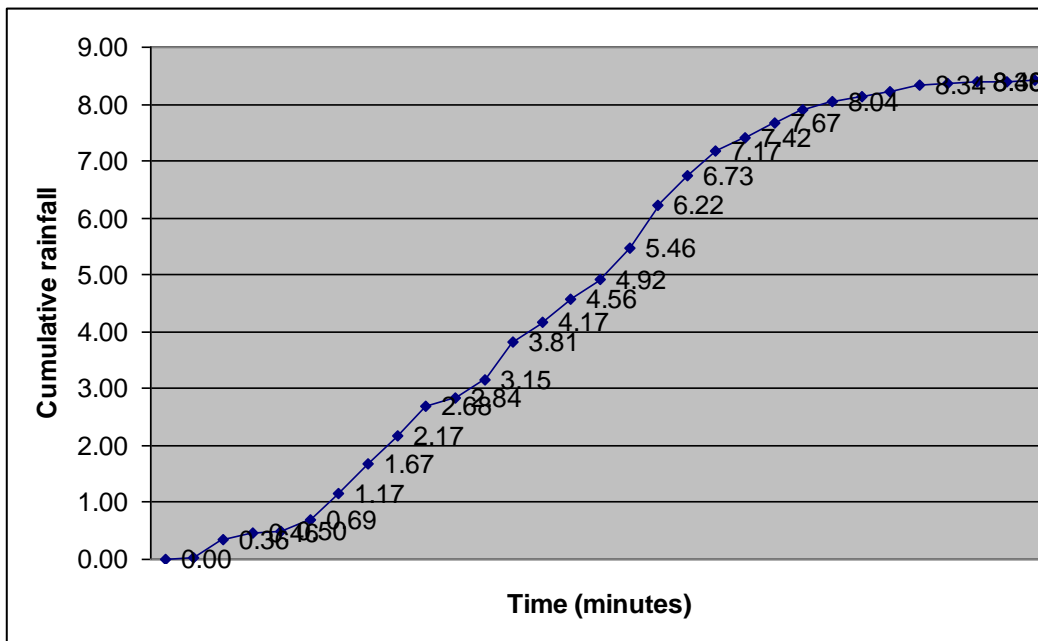
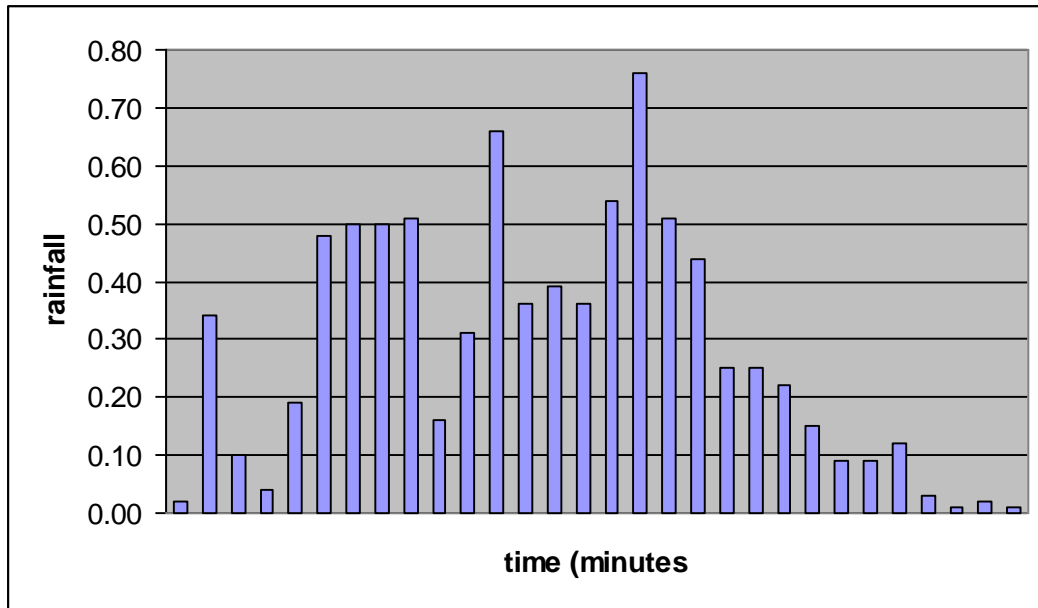
$$Rt = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left( \frac{t}{24} \right)^{\frac{3}{4}-n}$$

Atau grafik hubungan antara waktu dengan kedalaman hujan.

Contoh : perhitungan kedalaman hujan dan intensitas pada suatu titik

time (min)	Rainfall (inc)	Cumulative rainfall	Running totals		
			30 min	1 h	2 h
0		0.00			
5	0.02	0.02			
10	0.34	0.36			
15	0.10	0.46			

20	0.04	0.50			
25	0.19	0.69			
30	0.48	1.17	1.17		
35	0.50	1.67	1.67		
40	0.50	2.17	1.81		
45	0.51	2.68	2.22		
50	0.16	2.84	2.34		
55	0.31	3.15	2.46		
60	0.66	3.81	2.64	3.81	
65	0.36	4.17	2.50	4.15	
70	0.39	4.56	2.39	4.20	
75	0.36	4.92	2.24	4.46	
80	0.54	5.46	2.62	4.96	
85	0.76	6.22	3.07	5.53	
90	0.51	6.73	2.92	5.56	
95	0.44	7.17	3.00	5.50	
100	0.25	7.42	2.86	5.25	
105	0.25	7.67	2.75	4.99	
110	0.22	7.89	2.43	5.05	
115	0.15	8.04	1.82	4.89	
120	0.09	8.13	1.40	4.32	8.13
125	0.09	8.22	1.05	4.05	8.20
130	0.12	8.34	0.92	3.78	7.98
135	0.03	8.37	0.70	3.45	7.91
140	0.01	8.38	0.49	2.92	7.88
145	0.02	8.40	0.36	2.18	7.71
150	0.01	8.41	0.28	1.68	7.24
Max depth	0.76		3.07	5.56	8.20
max.intensity					
(inc/h)	9.12		6.14	5.56	4.10



Gambar; pertambahan dan kumulatif rainfall hyetograph

Tebal Hujan Maksimum Stasiun Darmaraja

Tahun	R maks mm	Durasi (menit) dan Tebal Hujan (mm)								
		5	10	15	45	60	120	180	360	720
1951	73	0.938	1.577	2.138	4.874	6.047	10.170	13.785	23.184	38.990
1952	86	1.105	1.858	2.519	5.742	7.124	11.982	16.240	27.312	45.933
1953	93	1.195	2.010	2.724	6.209	7.704	12.957	17.562	29.535	49.672
1954	111	1.426	2.399	3.251	7.411	9.195	15.465	20.961	35.252	59.286
1955	165	2.120	3.565	4.833	11.016	13.669	22.988	31.158	52.401	88.128
1956	93	1.195	2.010	2.724	6.209	7.704	12.957	17.562	29.535	49.672
1957	125	1.606	2.701	3.661	8.345	10.355	17.415	23.604	39.698	66.764
1958	79	1.015	1.707	2.314	5.274	6.544	11.006	14.918	25.089	42.195
1959	115	1.478	2.485	3.368	7.678	9.527	16.022	21.716	36.522	61.423
1960	83	1.066	1.794	2.431	5.541	6.876	11.564	15.673	26.359	44.331
1961	120	1.542	2.593	3.515	8.012	9.941	16.719	22.660	38.110	64.093
1962	125	1.606	2.701	3.661	8.345	10.355	17.415	23.604	39.698	66.764
1963	100	1.285	2.161	2.929	6.676	8.284	13.932	18.884	31.758	53.411
1964	97	1.246	2.096	2.841	6.476	8.036	13.514	18.317	30.806	51.809
1965	114	1.465	2.463	3.339	7.611	9.444	15.883	21.527	36.204	60.888
1966	74	0.951	1.599	2.167	4.941	6.130	10.310	13.974	23.501	39.524
1967	100	1.285	2.161	2.929	6.676	8.284	13.932	18.884	31.758	53.411
1968	94	1.208	2.031	2.753	6.276	7.787	13.096	17.751	29.853	50.206
1969	85	1.092	1.837	2.490	5.675	7.041	11.842	16.051	26.995	45.399
1970	85	1.092	1.837	2.490	5.675	7.041	11.842	16.051	26.995	45.399
1971	125	1.606	2.701	3.661	8.345	10.355	17.415	23.604	39.698	66.764
1972	97	1.246	2.096	2.841	6.476	8.036	13.514	18.317	30.806	51.809
1973	97	1.246	2.096	2.841	6.476	8.036	13.514	18.317	30.806	51.809
1974	100	1.285	2.161	2.929	6.676	8.284	13.932	18.884	31.758	53.411
1985	108	1.388	2.334	3.163	7.210	8.947	15.047	20.394	34.299	57.684
1986	78	1.002	1.685	2.285	5.208	6.462	10.867	14.729	24.771	41.660
1987	136	1.747	2.939	3.983	9.080	11.266	18.948	25.682	43.191	72.639
1988	48	0.617	1.037	1.406	3.205	3.976	6.687	9.064	15.244	25.637
1989	84	1.079	1.815	2.460	5.608	6.959	11.703	15.862	26.677	44.865
1990	100	1.285	2.161	2.929	6.676	8.284	13.932	18.884	31.758	53.411
1991	120	1.542	2.593	3.515	8.012	9.941	16.719	22.660	38.110	64.093
1992	99	1.272	2.139	2.900	6.610	8.201	13.793	18.695	31.441	52.877
Rerata	100.3	1.3	2.2	2.9	6.7	8.3	14.0	18.9	31.8	53.6
Stdev	22.133	0.284	0.478	0.648	1.478	1.834	3.084	4.180	7.029	11.822
Cs	0.514									

Rumus  
Mononobe

$$R_t = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left( \frac{t}{24} \right)^{\frac{3}{4}-n}$$

Tabel  
 Faktor Penyimpanan Kr Yang digunakan untuk Distribusi Log-Pearson Tipe III

q logx koef. penyimpanan	Kala ulang [T <sub>r</sub> ]							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Kemungkinan Terjadinya Banjir (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-1	0.017	0.836	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837	2.035
-9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

Perhitungan tebal hujan tiap durasi pada periode ulang T

$$RT = R + K \cdot Sx$$

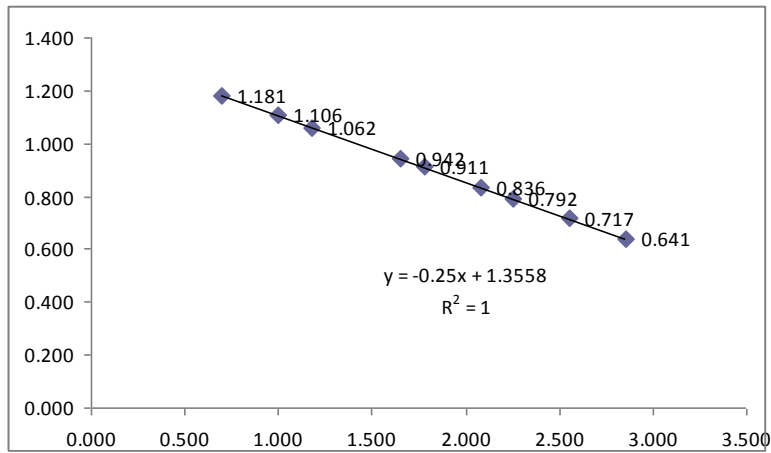
T Tahun	K	Tebal hujan (mm) pada durasi (menit)								
		5	10	15	45	60	120	180	360	720
2	0.085	1.264	2.126	2.882	6.570	8.152	13.709	18.581	31.250	52.556
5	0.806	1.518	2.552	3.460	7.886	9.785	16.457	22.305	37.513	63.089
10	1.323	1.665	2.800	3.795	8.650	10.733	18.051	24.466	41.147	69.201
20	1.777	1.794	3.017	4.089	9.321	11.566	19.451	26.364	44.338	74.568
25	1.914	1.833	3.082	4.178	9.523	11.817	19.873	26.936	45.301	76.188
50	2.319	1.948	3.276	4.440	10.122	12.559	21.122	28.629	48.148	80.975
100	2.699	2.056	3.458	4.687	10.683	13.256	22.294	30.217	50.819	85.468
200	3.06	2.159	3.630	4.921	11.217	13.918	23.407	31.726	53.357	89.735

Perhitungan intensitas hujan tiap durasi pada periode ulang T

T Tahun	Intensitas Hujan (mm) pada Durasi (jam)								
	5	10	15	45	60	120	180	360	720
2	15.172	12.758	11.528	8.759	8.152	6.855	6.194	5.208	4.380
5	18.212	15.315	13.838	10.515	9.785	8.228	7.435	6.252	5.257
10	19.977	16.798	15.179	11.534	10.733	9.025	8.155	6.858	5.767
20	21.526	18.101	16.356	12.428	11.566	9.725	8.788	7.390	6.214
25	21.993	18.494	16.711	12.698	11.817	9.937	8.979	7.550	6.349
50	23.376	19.656	17.762	13.496	12.559	10.561	9.543	8.025	6.748
100	24.672	20.747	18.747	14.245	13.256	11.147	10.072	8.470	7.122
200	25.904	21.783	19.683	14.956	13.918	11.704	10.575	8.893	7.478

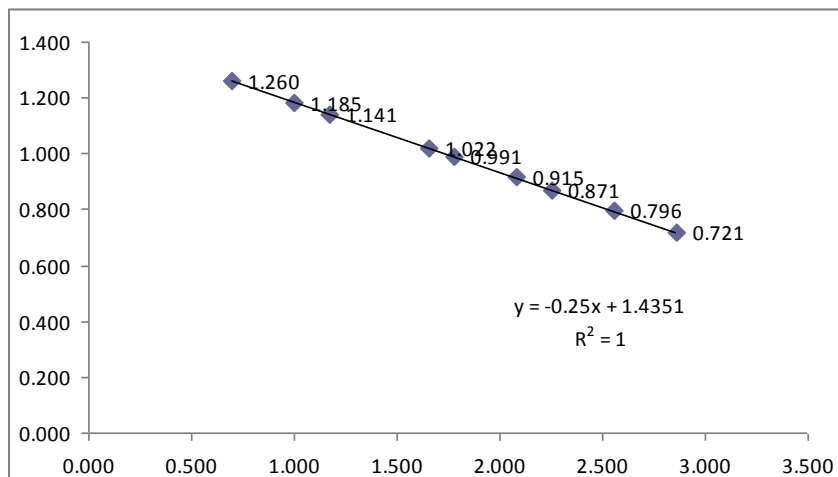
T = 2 tahun

t (menit)	T (mm/Jam)	Log t (menit)	Log T (mm/Jam)
5	15.172	0.699	1.181
10	12.758	1.000	1.106
15	11.528	1.176	1.062
45	8.759	1.653	0.942
60	8.152	1.778	0.911
120	6.855	2.079	0.836
180	6.194	2.255	0.792
360	5.208	2.556	0.717
720	4.380	2.857	0.641



T=5 Tahun

t (menit)	T (mm/Jam)	Log t (menit)	Log T (mm/Jam)
5	18.212	0.699	1.260
10	15.315	1.000	1.185
15	13.838	1.176	1.141
45	10.515	1.653	1.022
60	9.785	1.778	0.991
120	8.228	2.079	0.915
180	7.435	2.255	0.871
360	6.252	2.556	0.796
720	5.257	2.857	0.721



$$I = \frac{\text{kedalaman} \cdot \text{hujan}}{\text{waktu(jam)}} = \frac{1.264}{\frac{5}{60}} \text{dst}$$

## INTENSITAS HUJAN

### 1. Hubungan tebal hujan terhadap durasi

data yang diperlukan berupa:

- a. tebal hujan yang terakumulasi sesama selang waktu tertentu ( a given time interval) pada peluang (probability) atau periode ulang (return period) tertentu.
- b. Hubungan antara tebal hujan dan durasi hujan

Langkah awal: mengumpulkan data hujan maksimum setiap tahun (annual maximum values) yang diukur pada berbagai selang waktu hujan (different time interval), misal setiap 5,10,15,45,60,120,360,720 menit

Hubungan tebal hujan terhadap durasi adalah

$$H = k \cdot t^n$$

H = tebal hujan (mm); t = durasi (menit), k = koefisien dan n eksponen yang bernilai kurang dari (0,2 – 0,5)

Dengan baris data hujan dari sebuah pos hujan (lokal) atau beberapa pos hujan (nilai regional/ wilayah), maka dengan rumus diatas dapat diperkirakan besarnya tebal hujan untuk durasi tertentu. Tetapi setiap persamaan yang dibuat berdasarkan rumus diatas hanya berlaku terbatas untk lokasi hujan yang bersangkutan atau untuk yang kondisinya serupa.

### 2. Hubungan intensitas hujan – durasi

Hubungan intensitas hujan terhadap durasi adalah hubungan brbanding terbalik, dengan rumus

$$a. \frac{dH}{dt} = I = k \cdot n \cdot t^{(n-1)}$$

I = intensitas hujan, bila nilai k.n = a dan nilai m = n-1 akan diperoleh model intensitas hujan terhadap durasi

Diperoleh persamaan

$$I = \frac{a}{t^m} \rightarrow \text{dengan } m < 1$$

model lain:  $I = \frac{a}{t + b}$

sehingga persamaan umumnya adalah  $I = \frac{a}{(t + b)^m}$



nilai a, b, dan m dapat ditentukan dengan persamaan atau analisis regresi

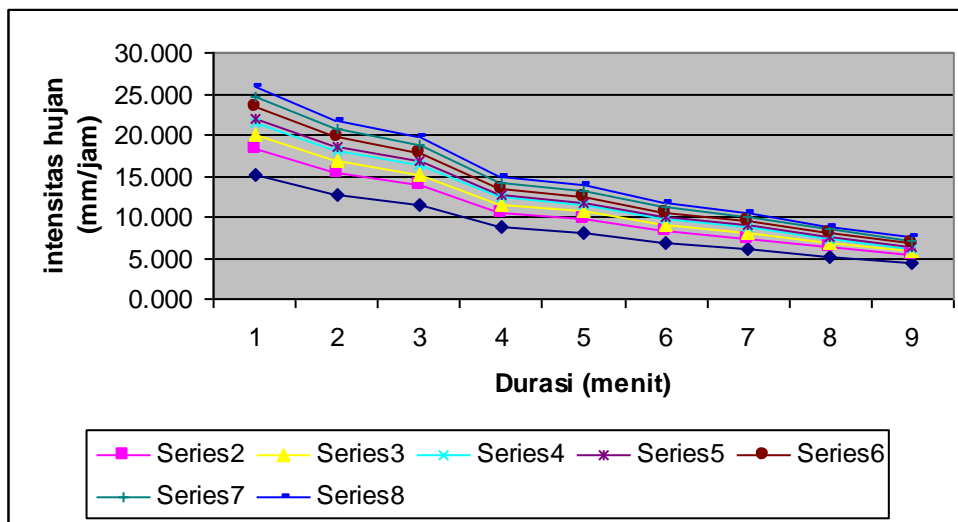
### 3. Kurva Frekuensi – Durasi – Intensitas (Kurva IDF)

Biasanya untuk analisa DAS kecil, durasi digambarkan pada absis dan intensitas sebagai ordinat. Nilai frekuensi/ periode ulang dinyatakan sebagai parameter kurva. Kurva dapat dibuat pada skala aritmetik atau logaritmik

#### **INTENSITAS HUJAN (mm) dengan Kala Ulang T Tahun**

Intensitas Hujan (mm) Dg Kala Ulang T Tahun								
Durasi	T=2	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100	T=200
5	15.172	18.212	19.977	21.526	21.993	23.376	24.672	25.904
10	12.758	15.315	16.798	18.101	18.494	19.656	20.747	21.783
15	11.528	13.838	15.179	16.356	16.711	17.762	18.747	19.683
45	8.759	10.515	11.534	12.428	12.698	13.496	14.245	14.956
60	8.152	9.785	10.733	11.566	11.817	12.559	13.256	13.918
120	6.855	8.228	9.025	9.725	9.937	10.561	11.147	11.704
180	6.194	7.435	8.155	8.788	8.979	9.543	10.072	10.575
360	5.208	6.252	6.858	7.390	7.550	8.025	8.470	8.893
720	4.380	5.257	5.767	6.214	6.349	6.748	7.122	7.478

Hubungan T- Durasi – Intensitas Hujan Stasiun Darmaraja





## ANALISIS FREKUENSI

Penetapan banjir/ hujan rancangan berdasarkan analisis statistik data debit/ hujan yang tersedia.

Syarat data:

- Seragam (homogeneous) data yang berasal dari populasi yang sama (misal DAS tak berubah).
- Representative (mewakili) untuk perkiraan kejadian yang akan datang.
- Independence (besaran data ekstrim tidak terjadi lebih dari sekali).

Penetapan seri data

- Maximum annual series maksudnya mengambil satu data maksimum setiap tahun
- Partial series (Peak Over Threshold = POT)
  - dengan menetapkan suatu batas bawah (threshold) tertentu
  - semua besaran diatas batas bawah diambil sebagai seri data

Panjang data sangat berpengaruh terhadap tingkat ketelitian hasil

**Gambar**

Pemilihan seri data hujan

- Hujan rata-rata DAS sepanjang data tersedia.
- Pendekatan
  - Dalam tahun tertentu dicari hujan maksimum untuk Stasiun I, dan dicari hujan untuk stasiun yang lain pada hari yang sama kemudian dicari hujan DAS-nya.
  - Dalam tahun yang sama dicari hujan maksimum untuk stasiun II dan dicari untuk stasiun yang lain pada hari yang sama, hitung hujan DAS-nya.
  - Ulangi untuk stasiun-stasiun yang lain, selanjutnya dipilih nilai maksimumnya (hujan maksimum tahunan).
  - Ulangi proses diatas untuk data pada tahun-tahun yang lain
- Parameter statistik

Nilai rerata,  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$

Standard deviasi,  $S = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \left(\frac{\sum X}{n}\right)^2}{n-1}}$

Koefisien variansi,  $Cv = \frac{S}{\bar{X}}$

Koefisien Skewness,  $Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot S^3} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3$

Koefisien Kurtosis,  $Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot S^4} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^4$

Jenis Agihan:

1. Agihan Normal
2. Agihan Log-normal
3. Agihan Log Pearson III (LP3)
4. Agihan Gumbel

Sifat Statistik

1. Agihan Normal,  $Cs \approx 0$
2. Agihan Log-normal,  $Cs \approx 3 Cv$ ;  $Cs \geq 0$
3. Agihan Log Pearson III (LP3),  $Cs \geq 3 Cv$
4. Agihan Gumbel,  $Cs \approx 1,4$ ;  $Ck = 5,4$

1. Agihan Normal

Probability density function:

$$P'(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

$\sigma$  = varian

$\mu$  = rata-rata

sifat khas, nilai asimetrisnya (skewness) hampir sama dengan nol dan kurtosis = 3, kemungkinan  $P(X - \sigma) = 15,87\%$ ;  $P(X) = 50\%$ ;  $P(X + \sigma) = 84,14\%$

2. Agihan Log-normal

$$\text{Pdf} = P'(X) = \frac{1}{X\sigma n\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{nX - \mu n}{\sigma n}\right)^2\right\}}$$

$\mu > 0$

$$\mu n = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2}\right); \quad \sigma_n^2 = \ln\left(\frac{\sigma^2 + \mu^2}{\mu^2}\right)$$

besar asimetrisnya:

$$\gamma = \eta v^3 + 3\eta v$$

$$\eta v = \frac{\sigma}{\mu} \cdot (e^{-\sigma n^2} - 1)^{0.5}$$

kurtosis,  $k = \eta v^8 + 6\eta v^6 + 15\eta v^4 + 16\eta v^2 + 3$

sifat khas,  $\gamma$  selalu bertanda positif  $Cs \approx 3Cv$

### 3. Agihan Log Pearson III (LP3), $Cs \geq 3 Cv$

$$P'(X) = P_0'(X) \cdot \left(1 + \frac{X}{a}\right)^C \cdot e^{-CX/a}$$

Dengan parameter:

$$C = \frac{4}{\beta_1 - 1}$$

$$a = (C\mu_3) / (2\mu_2 C)$$

$$P_0'(X) = (nC^{C+1}) / (ae^C \cdot \sigma^{(C+1)})$$

$$\beta_1 = \frac{\mu^2 3C}{\mu^2 2C}$$

$$\text{Harga rata-rata (mean)} = \text{mode} + \frac{\mu^2 3C}{\mu^2 2C}$$

$$\sigma = \sqrt{\mu 2C} \rightarrow \gamma = \frac{1}{2} \sqrt{\beta_1}$$

Prosedur:

1. Transformasikan data aslinya ke dalam nilai logaritma, dari  $X_1, X_2, \dots, X_n$  menjadi  $\text{Ln}X_1, \text{Ln}X_2, \dots, \text{Ln}X_n$
2. Hitung nilai tengahnya (mean):

$$\bar{\text{Ln}X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}X_i}{n}$$

3. Hitung penyimpangan standar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Ln}X_i - \bar{\text{Ln}X})^2}{n-1}}$$

4. Hitung asimetri (Skewness):

$$Cs = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n [\text{Ln}X_i - \bar{\text{Ln}X}]^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3}$$

5. Hitung besarnya logaritma hujan rencana atau debit dengan kala ulang yang dipilih

$$\text{Ln}Q = \bar{\text{Ln}X} + K \cdot S \rightarrow K \cdot \text{lihat} \cdot \text{tabel}$$

6. Dapatkan besarnya banjir/ hujan rencana dengan kala ulang tertentu, dengan mencari anti logaritma dari butir 5 diatas

4. Agihan Gumbel,  $C_s \approx 1,4$ ;  $C_k = 5,4$

$$\text{Pdf; } P(X) = e^{-\left\{ \left( \frac{C-X}{C-B} \right)^A \right\}}$$

Dengan parameter A dan B, dengan substitusi nilai  $Y=A.(X-B)$  dan Y disebut reduced variate, maka

$$P(Y) = e^{-y}$$

Fisker dan Tippet memperoleh nilai  $A = 1,281/\sigma$  dan  $B = \mu - 0,45\sigma$   
Selanjutnya diperoleh nilai asimetri = 1,139b dan kurtosis = 5,4002  
Untuk penggambaran pada kertas kementakan (probability paper), chow:

$$X = \mu + \alpha K \cdot \text{atau}$$

$$X = \mu + \left( \frac{\alpha}{\alpha n} \right) \cdot (y - y_n)$$

Hubungan antara faktor frekuensi K dengan kala ulang T

$$K = -\sqrt{\frac{6}{\eta}} \{0,5772 + \ln(\ln(T(X)/(T(X)-1))\}$$

ditabelkan

Chow menyederhanakan analisis frekuensi:

$$X_T = X + SK \longrightarrow \text{Besaran rancangan}$$

### Plotting

Pada kertas probabilitas, menurut weibull dan gumbel

$P = m/n+1$  dimana: m = nomor urut

n = jumlah data

Prosedur umum:

1. hitung besaran statistik data yang bersangkutan (mean X, standard deviation S, Coefficient of variation Cv, Coefficient of skewness Cs, Coeffisien kurtosis K)
2. berdasarkan besaran ststistik tersebut perkirakan agihan yang sesuai dengan data
3. data diurutkan dari kecil ke besar
4. data digambarkan diatas kertas probabilitas, kedalaman hujan--- probabilitas
5. tarik garis teoritik diatas gambar tersebut uji Chi-kuadrat atau uji Smirnov-kolmogorov.

Contoh 1.

Agihan frekuensi hujan 24 jam DAS Sampean di Masabit. Dua puluh hujan harian terbesar

No	P(mm)	No	P(mm)	No	P(mm)	No	P(mm)
1	85.30	6	61.84	11	63.98	16	79.33
2	76.77	7	62.25	12	75.06	17	49.47
3	49.05	8	55.87	13	60.56	18	69.95
4	60.99	9	81.47	14	74.21	19	64.83
5	59.71	10	51.61	15	58.43	20	41.80

Statistik data diatas sebagai berikut:

$$\bar{P} = 64,274mm$$

$$S = 11,792mm$$

$$Cv = 0,183$$

$$Cs = 0,036$$

} Distribusi normal

**Plotting**

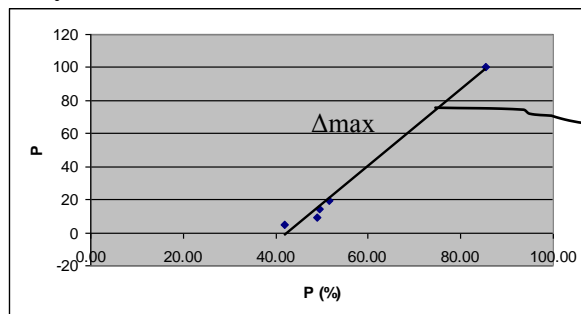
No	P (mm)	P (%)
1	41.80	4.76
2	49.05	9.52
3	49.47	14.29
4	51.61	19.05
.	.	.
.	.	.
.	.	.
20	85.30	100

Plot:  
 P (mm) → ordinat  
 P (%) → absis

**Pengujian**

1. Smirnov - Kolmogorov

Syarat:  $\Delta_{max} < \Delta_{kritik}$



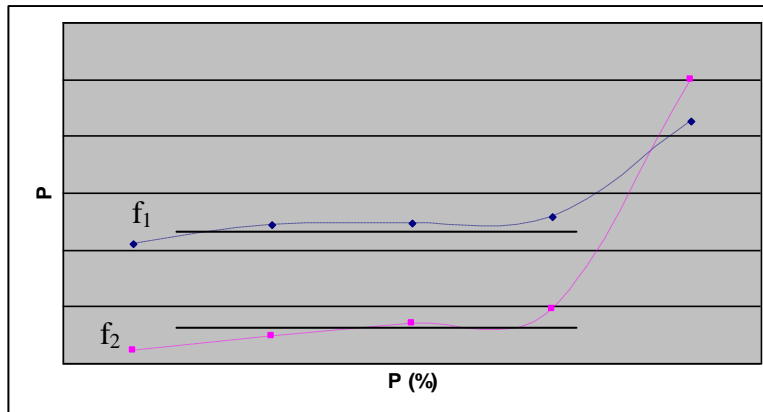
Garis teoritis

## 2. Chi-kuadrat

Syarat :

$$\chi^2 < \chi^2_{kritis}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (Ef - Of)^2}{Ef}$$



Gambar Agihan frekuensi hujan 24 jam DAS Cikarang



Perhitungan hujan rencana stsiun Bengkal Metode Log-Pearson III

Tahun	Hujan rerata thn Ri (mm)	ln Ri	ln Ri - ln Ri	(ln Ri - ln Ri) <sup>2</sup>	(ln Ri - ln Ri) <sup>3</sup>	Periode Ulang	K	ln RT	RT (mm)
						(T)			
1986	106.00	4.663	-0.701	0.4914	-0.3445	2	0.185	5.413	224.43
1987	162.00	5.088	-0.277	0.0767	-0.0213				
1988	189.00	5.242	-0.123	0.0151	-0.0019	5	0.847	5.590	267.77
1989	238.00	5.472	0.108	0.0117	0.0013				
1990	257.00	5.549	0.185	0.0342	0.0063	10	1.100	5.657	286.52
1991	225.00	5.416	0.052	0.0027	0.0001				
1992	317.00	5.759	0.395	0.1560	0.0616	20	1.241	5.695	297.48
1993	209.00	5.342	-0.022	0.0005	0.0000				
1994	185.00	5.220	-0.144	0.0207	-0.0030	25	1.311	5.713	303.07
1995	276.00	5.620	0.256	0.0655	0.0168				
1996	214.00	5.366	0.002	0.0000	0.0000	50	1.418	5.742	311.81
1997	175.00	5.165	-0.200	0.0400	-0.0080				
1998	249.00	5.517	0.153	0.0234	0.0036	100	1.497	5.763	318.45
1999	306.00	5.724	0.359	0.1289	0.0463				
2000	209.00	5.342	-0.022	0.0005	0.0000				
2001	209.00	5.342	-0.022	0.0005	0.0000				
Jumlah:	16.00	85.829		1.0679	-0.2426				
rata-rata		5.364							
Standar deviasi		0.267							
Kefisien Skewness		-0.973							

Perhitungan Hujan rencana stasiun sungai Bengkal Metode Gumbel

Tahun	Hujan rerata thn Ri (mm)	Ri-Ri <sup>-</sup>	(Ri-Ri <sup>-</sup> ) <sup>2</sup>	Periode Ulang (T)	Yt	Yn	Sn	Rt (mm)
1986	106.00	-114.38	13081.64	2	0.3665	0.515	1.03	212.614
1987	162.00	-58.38	3407.64					
1988	189.00	-31.38	984.39	5	1.4999	0.515	1.03	271.850
1989	238.00	17.63	310.64					
1990	257.00	36.63	1341.39	10	2.2504	0.515	1.03	311.074
1991	225.00	4.63	21.39					
1992	317.00	96.63	9336.39	20	2.9702	0.515	1.03	348.693
1993	209.00	-11.38	129.39					
1994	185.00	-35.38	1251.39	25	3.1985	0.515	1.03	360.625
1995	276.00	55.63	3094.14					
1996	214.00	-6.38	40.64	50	3.9019	0.515	1.03	397.387
1997	175.00	-45.38	2058.89					
1998	249.00	28.63	819.39	100	4.6001	0.515	1.03	433.878
1999	306.00	85.63	7331.64					
2000	209.00	-11.38	129.39					
2001	209.00	-11.38	129.39					
Jumlah:	16.00		43467.75					
Rata2	220.38							
S	53.83							

Data curah hujan rata-rata tahunan stasiun sungai bengkal Kabupaten Bungo Tebo  
Prov. Jambi

Tahun	Jan	feb	mar	apr	mei	jun	jul	agt	sep	okt	nop	des	rerata	jumlah
1980	0.00	0.00	0.00	0.00	112.90	266.40	141.00	170.00	128.40	235.80	304.20	297.30	138.00	1656.00
1981	236.40	139.10	284.30	338.40	302.10	131.50	115.10	36.90	304.00	238.00	175.30	235.20	211.36	2536.30
1982	107.50	218.00	359.90	149.90	139.50	148.90	50.00	19.90	32.80	160.40	104.00	460.80	162.63	1951.60
1983	337.00	217.00	157.00	262.00	586.00	75.00	137.00	101.20	105.50	314.50	398.50	158.60	237.44	2849.30
1984	218.50	324.50	271.80	202.00	48.40	54.20	14.10	380.00	295.50	237.50	342.80	253.00	220.19	2642.30
1985	365.00	119.00	468.50	17.20	141.70	45.00	209.00	82.00	304.00	248.00	497.00	314.00	234.20	2810.40
1986	175.00	258.50	142.80	264.50	194.00	155.50	88.00	85.00	186.50	375.00	216.20	286.50	202.29	2427.50
1987	156.00	210.00	152.00	317.50	381.50	220.00	117.00	80.00	141.40	95.10	127.80	191.00	182.44	2189.30
1988	342.50	338.00	283.00	244.00	182.00	33.50	6.00	140.00	149.00	193.50	103.00	151.00	180.46	2165.50
1989	179.00	210.00	280.00	175.00	109.00	101.00	72.00	380.00	149.00	303.00	407.00	234.00	216.58	2599.00
1990	232.00	251.00	225.00	187.00	217.00	68.00	152.00	75.00	118.00	139.00	287.00	467.00	201.50	2418.00
1991	239.00	162.00	474.00	294.00	125.00	80.50	0.00	111.50	40.00	103.00	130.50	341.00	175.04	2100.50
1992	118.00	122.00	54.00	146.00	109.50	90.00	81.10	83.60	98.50	205.50	166.00	132.00	117.18	1406.20
1993	219.00	122.00	107.30	70.70	187.50	129.50	16.40	6.40	12.80	131.50	234.30	170.50	117.33	1407.90
1994	312.50	71.40	465.80	147.50	206.00	247.60	66.50	74.50	44.00	110.30	319.50	339.00	200.38	2404.60
1995	253.00	280.00	507.00	234.80	255.70	186.50	13.50	123.40	214.10	215.90	185.70	210.20	223.32	2679.80
1996	64.20	124.40	226.40	161.90	82.50	182.10	121.50	184.80	281.20	315.30	283.00	283.00	192.53	2310.30

Count      17.00  
 rerata      189.0  
 S            37.231  
 Cv           0.197  
 Cs           -0.793

Tabel Faktor penyimpangan Kr yang digunakan untuk distribusi Log-Pearson tipe  
III

Perhitungan Hujan rencana stasiun sungai bengkal metode Gumbel

Tahun	rerata	Ri-Ri'	(Ri-Ri')^2	T	Yt	Yn	Sn	Rt (mm)
1980	138.00	-50.99	2600.250	2	0.3665	0.5181	1.0411	183.5713
1981	211.36	22.37	500.224					
1982	162.63	-26.36	694.813	5	1.4999	0.5181	1.0411	224.1026
1983	237.44	48.45	2347.308					
1984	220.19	31.20	973.379	10	2.2504	0.5181	1.0411	250.941
1985	234.20	45.21	2043.705					
1986	202.29	13.30	176.864	20	2.9702	0.5181	1.0411	276.6816
1987	182.44	-6.55	42.915					
1988	180.46	-8.53	72.835	25	3.1985	0.5181	1.0411	284.8458
1989	216.58	27.59	761.246					
1990	201.50	12.51	156.434	50	3.9019	0.5181	1.0411	309.9999
1991	175.04	-13.95	194.630					
1992	117.18	-71.81	5156.578	100	4.6001	0.5181	1.0411	334.9681
1993	117.33	-71.67	5136.252					
1994	200.38	11.39	129.748					
1995	223.32	34.32	1178.138					
1996	192.53	3.53	12.478					
Jumlah	17		22177.795					
R'	188.99							
Sx	37.23							

Perhitungan Hujan rencana stasiun sungai bengkal metode log-pearson III

Tahun	Hujan rerata thn Ri (mm)	ln Ri	ln Ri - ln Ri	(ln Ri - ln Ri)^2	(ln Ri - ln Ri)^3	Periode Ulang (T)	K	ln RT	RT (mm)
1980	138.00	4.927	-0.293	0.0861	-0.0253	2	0.185	5.261	192.72
1981	211.36	5.354	0.133	0.0177	0.0023				
1982	162.63	5.091	-0.129	0.0167	-0.0022	5	0.847	5.407	222.885
1983	237.44	5.470	0.249	0.0621	0.0155				
1984	220.19	5.394	0.174	0.0302	0.0053	10	1.100	5.462	235.658
1985	234.20	5.456	0.236	0.0555	0.0131				
1986	202.29	5.310	0.089	0.0079	0.0007	20	1.241	5.493	243.052
1987	182.44	5.206	-0.014	0.0002	0.0000				
1988	180.46	5.195	-0.025	0.0006	0.0000	25	1.311	5.509	246.808
1989	216.58	5.378	0.157	0.0248	0.0039				
1990	201.50	5.306	0.085	0.0072	0.0006	50	1.418	5.532	252.658
1991	175.04	5.165	-0.056	0.0031	-0.0002				
1992	117.18	4.764	-0.457	0.2088	-0.0954	100	1.497	5.549	257.078
1993	117.33	4.765	-0.456	0.2077	-0.0946				
1994	200.38	5.300	0.080	0.0063	0.0005				
1995	223.32	5.409	0.188	0.0353	0.0066				
1996	192.53	5.260	0.040	0.0016	0.0001				
Jumlah:	17.00	88.751		0.7718	-0.1690				
rata-rata		5.221							
Standar deviasi		0.220							
Kefisien Skewness		-1.130							

Tabel Metode Gumbel



Perhitungan debit metode interval tengah

Sungai/ tempat : S. Glagah - kedungsari  
 tanggal : 30 agustus 1985  
 jam : 6.20-7.02  
 Tinggi : MA

Formula kecepatan  
 $N \leq 2.94 \quad V = 0.1327N + 0.018$   
 $N > 2.94 \quad V = 0.1310N + 0.023$

No	Rai	Depth (m)	Titik	Putaran	pulses	kecepatan di vertikal		Bagian penampang			x	Manning
						titik	rata-rata	lebar (m)	Luas (m <sup>2</sup> )	debit (m <sup>3</sup> /s)		
0	0	0	MA	Kiri	50(s)	N			0			
1	1	0.22	0.6h	100	2	0.283	0.283	0.5	0.11	0.016		
2	1	0.26	0.6h	147	2.94	0.408	0.408	0.5	0.13	0.027		
3	2	0.5	0.6h	148	2.96	0.411	0.411	0.5	0.25	0.051		
4	2	0.82	0.2h	182	3.64	0.500	0.423	0.5	0.41	0.087	1.45	0.0268
			0.8h	123	2.46	0.345						
5	3	1.06	0.2h	221	4.42	0.602	0.506	0.5	0.53	0.134	1.47	0.0287
			0.8h	148	2.96	0.411						
6	3	1.1	0.2h	238	4.76	0.647	0.581	0.5	0.55	0.160	1.25	0.0173
			0.8h	188	3.76	0.516						
7	4	1.22	0.2h	260	5.2	0.704	0.571	0.5	0.61	0.174	1.61	0.0364
			0.8h	158	3.16	0.437						
8	4	1.25	0.2h	269	5.38	0.728	0.595	0.5	0.63	0.186	1.57	0.0347
			0.8h	168	3.36	0.463						
9	5	1.47	0.2h	277	5.54	0.749	0.615	0.5	0.74	0.226	1.56	0.0348
			0.8h	175	3.5	0.482						
10	5	1.69	0.2h	281	5.62	0.759	0.635	0.5	0.85	0.268	1.49	0.0322
			0.8h	186	3.72	0.510						
11	6	1.92	0.2h	293	5.86	0.791	0.711	0.5	0.96	0.341	1.25	0.0189
			0.8h	232	4.64	0.631						
12	6	1.55	0.2h	265	5.3	0.717	0.649	0.5	0.78	0.252	1.23	0.017
			0.8h	213	4.26	0.581						
13	7	1.36	0.2h	249	4.98	0.675	0.624	0.5	0.68	0.212	1.19	0.013
			0.8h	210	4.2	0.573						
14	7	1.23	0.2h	221	4.42	0.602	0.575	0.5	0.62	0.177	1.10	0.0075
			0.8h	200	4	0.547						
15	8	1.19	0.2h	211	4.22	0.576	0.529	0.5	0.60	0.157	1.20	0.0139
			0.8h	175	3.5	0.482						
16	8	1.05	0.2h	209	4.18	0.571	0.512	0.5	0.53	0.134	1.26	0.0175
			0.8h	164	3.28	0.453						
17	9	0.98	0.2h	200	4	0.547	0.487	0.5	0.49	0.119	1.28	0.0186
			0.8h	154	3.08	0.426						
18	9	0.86	0.2h	189	3.78	0.518	0.453	0.5	0.43	0.097	1.34	0.0213
			0.8h	139	2.78	0.387						
19	10	0.62	0.6h	173	3.46	0.476	0.476	0.5	0.31	0.074		
20	10	0.55	0.6h	123	2.46	0.345	0.345	0.5	0.28	0.047		
21	11	0	0.6h	kanan				0.5				
Kecepatan rata-rata						0.519	Total	10.45	2.94	rerata	0.0226	

### **LAJU INFILTRASI (infiltration rate)**

- laju infiltrasi,  $f \leq f_p$  (kapasitas infiltrasi), tergantung intensitas hujan,  $i$   
 $f$  = actual infiltration rate

Laju infiltrasi menurut Horton (1930)

$$f = f_c + (f_o - f_c) \cdot e^{-kt} \rightarrow i > f_p$$

Dengan:

$f$  = laju infiltrasi nyata

$f_c$  = laju infiltrasi tetap

$f_o$  = laju infiltrasi awal

$k$  = soil moisture

jika  $i < f_p$

$$f_2 = f_1 - k (f - f_c) \Delta t, i, f_p$$

Bentuk umum Rumus Horton



$$f = \int_t^{\infty} (ft - fc) \cdot d^t = \int_t^{\infty} (ft - fc) \cdot e^{-kt} \cdot d^t$$

$$f = \int_t^{\infty} \frac{(ft - fc)}{t} \cdot e^{-kt} = \frac{(ft - fc)}{t} \Rightarrow ft - fc = k \cdot F$$

*pada \cdot saat*

$$t1 \rightarrow f1 - fc = k \cdot F1$$

$$t2 \rightarrow f2 - fc = k \cdot F2$$

$$\therefore f2 = fc - k \cdot (F2 - F1)$$

$$f2 = f1 - k \cdot \int_{t1}^{t2} (ft - fc) \cdot dt$$

*atau*

$$f2 = f1 - k \cdot (ft - fc) \cdot \Delta t$$

Laju infiltrasi berbagai vegetasi

Vegetasi	f (mm/menit)
- Tanah gundul	5,5
- Hutan tanpa lapisan sampah	17,5
- Hutan dengan lapisan sampah	72

### **GREEN – AMPT Method**

Green dan Ampt (1911) mengembangkan persamaan infiltrasi berdasarkan pendekatan teori fisisk yang menyelesaikan solusi secara analisis exact

Pada gambar berikut:

**Gambar**

$$\theta = kadar \cdot lengas \cdot tanah$$

$$\theta = \frac{Vair}{Vtot}, 0 \leq \theta \leq \eta$$

$$\eta = porositas \rightarrow 0,25 < \eta < 0,75 \rightarrow for \cdot soil$$

$$\eta = \frac{Vrongga}{Vtotal}$$

Persamaan Kontinuitas

- Tinjauan suatu kolom tanah
- Gambar**

- Kadar lengas tanah awal,  $\theta_i$
- Proses infiltrasi  $\rightarrow \theta_i \rightarrow \eta$
- Jumlah air yang masuk kedalam volume control tanah =  $L(\eta - \theta_i)$ , sehingga kumulatif infiltrasi  
 $F(t) = L(\eta - \theta_i), \dots \dots \dots 1$   
 atau  
 $F(t) = L \cdot \Delta\theta_i$

Persamaan momentum:

Hukum darcy =  $q = -k \frac{\partial h}{\partial z}$

q = darcy flux, dimana q konstant sepanjang L

*missing text*

Laju infiltrasi diperoleh dari persamaan 3

$$f(t) = K \frac{\psi \Delta \theta}{F(t)} + 1 \dots \dots \dots 5$$

Untuk kasus  $h_0$  diperhitungkan, nilai  $\Psi$  pada persamaan 4 dan 5 dapat disubstitusikan

Persamaan 4 adalah persamaan non-linier dalam F, dapat diselesaikan dengan metode "succesive substitution"

$$F(t) = Kt + \psi \Delta \theta \cdot \ln\left(\frac{\psi \Delta \theta}{F(t)} + 1\right) \dots \dots \dots 6$$

Penerapan model Green-Ampt memerlukan data:  
 K = hydraulic conductivity (cm/jam)  
 H = porositas

$\Psi$  = tinggi hisap tanah (soil suction head) –dalam satuan cm  
 = tinggi tekanan kapiler muka basah  
 Persamaan 6 dapat diselesaikan dengan ”Metoda Iterasi Newton-Rampson”  
 Parameter Green-Ampt:  
 Effective saturation,

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\eta - \theta_r} \rightarrow \frac{0 \leq Se \leq 1.0}{\theta_r \leq \theta \leq \eta} \text{dimana } \theta_r = \text{residual} \cdot \text{moisture} \cdot \text{content}$$

Effective Porosity  $\theta_e = \eta - \theta_r$

Perubahan kadar lengas tanah,  $\Delta\theta = (1-Se) \theta_e$   
 Parameter Green – Ampt untuk variasi jenis tanah -----lihat ditabel  
 $\Delta\theta$  = perbedaan antara kadar lengas tanah awal dan akhir  
 Tinjau titik I dan Z, laju infiltrasi dapat didekati

$$f = K \left( \frac{h_1 - h_2}{Z_1 - Z_2} \right)$$

Tinggi energi / head  $h_1$  pada permukaan  $\approx h_0$  head  $h_2$  pada dry soil dibawah wetting front  $\approx -\Psi - L \rightarrow \Psi = \text{energi} \cdot \text{isap}$   
 Hukum Darcy untuk sistem ini dapat ditulis

$$f = K \left[ \frac{h_0 - (-\Psi - L)}{L} \right] = K \left[ \frac{\Psi + L}{L} \right] \dots\dots\dots 2$$

Jika  $h_0 \ll \Psi + L$ , dengan asumsi genangan *surface run-off*

Dari persamaan 1:  $L = \frac{F}{\Delta\theta} \rightarrow \text{kedalaman} \cdot \text{tanah} \cdot \text{basah}$

Dengan asumsi  $h_0=0$  substitusikan ke persamaan 2

$$f = K \left[ \frac{\Psi\Delta\theta + F}{F} \right] \dots\dots\dots 3$$

Jika  $f = \frac{dF}{dt}$ , persamaan 3 dapat di ekspresikan

$$\frac{dF}{dt} = K \left[ \frac{\Psi\Delta\theta + F}{F} \right] \rightarrow \text{kalikan silang untuk memperoleh F}$$

$$\frac{F}{F + \Psi\Delta\theta} \cdot dF = K \cdot dt \rightarrow \text{split} \cdot \text{sisi} \cdot \text{kiri} \cdot \text{menjadi} \cdot 2 \cdot \text{bagian}$$

$$\left( \frac{F + \Psi\Delta\theta}{F + \Psi\Delta\theta} \right) - \left( \frac{\Psi\Delta\theta + F}{F + \Psi\Delta\theta} \right) \cdot dF = K \cdot dt \rightarrow \text{int egrasikan}$$

$$\int_0^{F(t)} \left(1 - \frac{\varphi\Delta\theta + F}{F + \Psi\Delta\theta}\right) dF = \int_0^t K \cdot dt$$

$$F(t) - \Psi\Delta\theta \left[ \ln(F(t) + \Psi\Delta\theta) - \ln(\Psi\Delta\theta) \right] = K \cdot t$$

$$F(t) - \Psi\Delta\theta \left[ \ln\left(1 - \frac{\varphi\Delta\theta + F}{F + \Psi\Delta\theta}\right) \right] = K \cdot t \dots\dots\dots 4$$

Persamaan Green -Ampt → untuk infiltrasi kumulatif

Contoh:

Hitung laju dan kumulatif infiltrasi setelah satu jam proses infiltrasi pada tanah silt loam dengan lengas efektif awal 30%. Asumsikan bahwa air genangan kecil dan diabaikan

Solusi

Dari tabel untuk tanah silt loam,  $\theta_e = 0,486 \cdot \text{dan} \cdot \Psi = 16,7 \text{ cm}$  dan  $K = 0,65 \text{ cm/h}$ .

Innitial effective saturation,  $S_e = 0,3$

$$\Delta\theta = (1 - S_e)\theta_e = (1 - 0,3) \cdot 0,486 = 0,34$$

$$\Psi\Delta\theta = 16,7 \cdot 0,34 = 5,68 \text{ cm}$$

Kumulatif infiltrasi pada  $t = 1 \text{ jam}$  → "sussessive subritution method"

Coba

$$F(t) = K \cdot t = 0,65 \cdot 1 = 0,65 \text{ cm, kemudian}$$

$$F(t) = K \cdot t + \Psi\Delta\theta \ln \left( 1 - \frac{\varphi\Delta\theta + F}{F + \Psi\Delta\theta} \right)$$

$$\dots\dots = 0,65 \cdot 1 + 5,68 \ln \left( 1 - \frac{0,65}{5,68} \right) = 1,27 \text{ cm}$$

$$\text{substitusikan } F = 1,27 \text{ cm} \rightarrow \text{kepersamaan } 6 \rightarrow F = 1,79 \text{ cm}$$

$$F = 3,17 \text{ cm}$$

$$f = K \cdot \left( \frac{\Psi\Delta\theta}{F} + 1 \right) = 0,65 \cdot \left( \frac{5,68}{3,17} + 1 \right) = 1,81 \text{ cm / jam}$$

### PONDING TIME (tp)

Green - Ampt → air digenangkan pada permukaan tanah (ho)

Kenyataan : genangan  $i > f$

∴ butuh waktu untuk terjadi genangan (tp)

Waktu genangan (tp): waktu yang diperlukan antara saat mulai hujan sampai dengan waktu air mulai menggenang.

### Profil Lengas Tanah

#### Gambar

- Sebelum penggenangan :  $t < t_p$
- Selama penggenangan :  $t = t_p$
- Setelah penggenangan :  $t > t_p$

Mein - Larson (1973) → tp

Tiga prinsip:

1.  $t < t_p$  → semua hujan terinfiltrasi
2.  $f = f(F)$
3. genangan terjadi jika,  $f \leq i$

Persamaan Green - Ampt ;  $f = K \frac{\Psi \Delta \theta}{F} + 1$  .....7

Infiltrasi kumulatif pada saat tp

$F_p = i \cdot t_p$ , laju infiltrasi  $f = i$  → substitusikan ke persamaan 7

$$i = K \frac{\Psi \Delta \theta}{i \cdot t_p} + 1$$

$$t_p = \frac{K \cdot \Psi \Delta \theta}{i \cdot (i - K)} \text{ .....8}$$

### Contoh

Hitung waktu genang (tp) dan infiltrasi kumulatif (Fp) pada saat tp, untuk tanah silt laeom dengan kejenuhan efektif awal 30% dengan:

- a.  $i = 1$  cm/jam
- b.  $i = 5$  cm/jam

solusi

dari contoh sebelumnya,  $\Psi \Delta \theta = 5,68 \text{ cm}$   $K = 0,65$  cm/jam

$$t_p = \frac{K \Psi \Delta \theta}{i \cdot (i - K)}$$

a. untuk  $i = 1 \text{ cm/jam}$   $tp = \frac{0,65 \cdot 5,68}{1 \cdot (1,0,65)} = 10,5 \text{ jam}$

$Fp = i \cdot tp = 1 \cdot 10,5 = 10,5 \text{ cm}$

b. untuk  $i = 5 \text{ cm/jam}$   $tp = \frac{0,65 \cdot 5,68}{5 \cdot (5,0,65)} = 0,1710'' \text{ jam}$

$Fp = i \cdot tp = 5 \cdot 0,17 = 0,85 \text{ cm}$

Dalam kasus contoh di atas  $f = i$  pada saat penggenangan

Laju Infiltrasi Setelah Genangan

**Gambar**

Substitusikan  $t = tp - to$  dan  $F = Fp$  ke persamaan 6

$$Fp - \Psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{Fp}{\Psi\Delta\theta}\right) = K(tp - to) \dots\dots\dots 9$$

Untuk  $t > tp$  :  $F - \Psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{Fp}{\Psi\Delta\theta}\right) = K(tp - to) \dots\dots\dots 10$

$$F - Fp - \Psi\Delta\theta \left[ \ln\left(\frac{\Psi\Delta\theta + F}{\Psi\Delta\theta}\right) - \ln\left(\frac{\Psi\Delta\theta + Fp}{\Psi\Delta\theta}\right) \right] = K(t - tp)$$

$$F - Fp - \Psi\Delta\theta \ln\left(\frac{\Psi\Delta\theta + Fp}{\Psi\Delta\theta}\right) = K(t - tp) \dots\dots\dots 11$$

F dihitung dengan Green - Ampt :  $f = K\left(\frac{\Psi\Delta\theta}{F}\right) + 1$

Contoh

Hitung infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi setelah 1 jam hujan dengan intensitas 5 cm/jam pada tanah silt loam dengan derajat kejenuhan efektif 30%

Solusi

Dari contoh di atas, dengan  $\Psi\Delta\theta = 5,68 \text{ cm}$ ,  $K = 0,65 \text{ cm/jam}$ ,  $tp = 0,17 \text{ jam}$  dan  $Fp = 0,85 \text{ cm}$

$T = 1 \text{ jam}$

$$F - F_p - \Psi \Delta \theta \ln\left(\frac{\Psi \Delta \theta + F_p}{\Psi \Delta \theta}\right) = K(t - t_p)$$

$$F - 0,85 - 5,68 \cdot \ln\left(\frac{5,68 + F}{5,68 + 0,85}\right) = 0,65 \cdot (1 - 0,17) = 0,54$$

Dengan cara 'successive substitution' → F=3,02 cm

Laju infiltrasi setelah genangan :

$$f = 0,65 \cdot \left(\frac{5,68}{3,02} + 1\right) = 1,87 \text{ cm / jam}$$

## PENGUAPAN (EVAPORATION)

Evaporasi (E) → proses perubahan molekul air di permukaan menjadi molekul uap air di atmosfer

Proses ini terdiri dari 2 kejadian :

1. interface evaporation → transmisi dari air menjadi uap dipermukaan, tergantung dari besarnya tenaga yang tersimpan (stored energy)
2. vertical vaportransper → pemindahan lapisan udara yang kenyang uap air dari interface dipengaruhi oleh : kecepatan angin, stabilitas, topografi dan iklim local

faktor: radiasi matahari, kelembaban, tekanan udara

Transpirasi (T) → penguapan dari tanaman sebagai proses metabolisme tanaman → sel stomata (proses fisiologis alamiah)

Faktor : musim, usia tanaman, jenis tanaman

Penguapan tanaman

Penguapan permukaan } Evapotranspiration (ET)

Evapotranspiration merupakan penguapan dari suatu DAS akibat pertumbuhan tanaman didalamnya (Schulz)

Potensial Evapotranspiration (PET) merupakan evapotranspirasi yang terjadi apabila tersedia cukup air

Actual Evapotranspiration (AET) merupakan evapotranspirasi nyata air yang tersedia berkurang → AET < PET

**Gambar**

Besaran Evaporasi, Transpirasi → Evapotranspirasi

Didekati dengan:

- pengukuran langsung
- rumus-rumus empiris
- Pendekatan teoritis

Misal pengukuran “penguapan” dari muka air bebas dengan Atmometer, evaporation pan, atau dihitung dengan water balance analysis

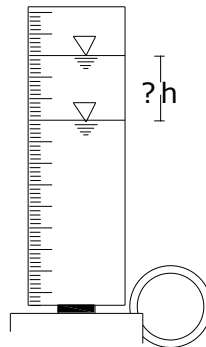
Pengukuran Evapotranspirasi → Phytometer, Lysimeter dan water budget

# TOS HEULA

Atmometer

**Gambar**

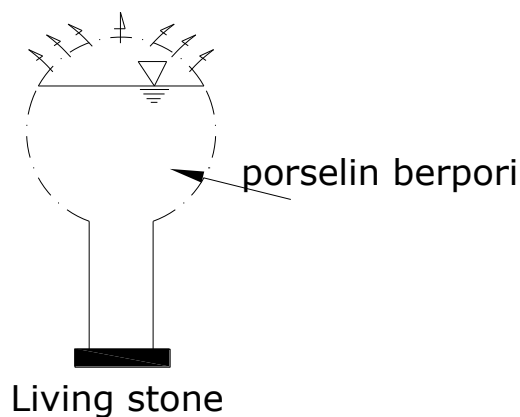
$$E_0 = \frac{\Delta h}{\Delta t} (\text{mm/hari})$$



Panci Penguapan (Evaporation Pan)

- Class A evaporation pan → US standard
- Actual evaporai  $E_0 = K \cdot E_p$  →  $K = 0,6 - 0,8$  (pan coefficient)

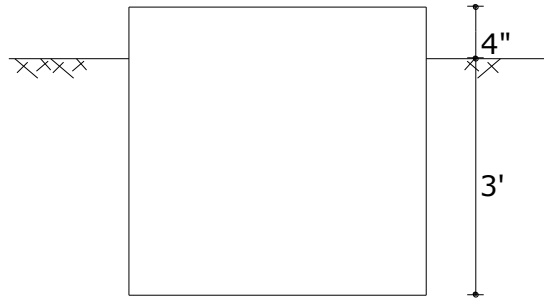
**Gambar**





- Colorado Sunken Pan

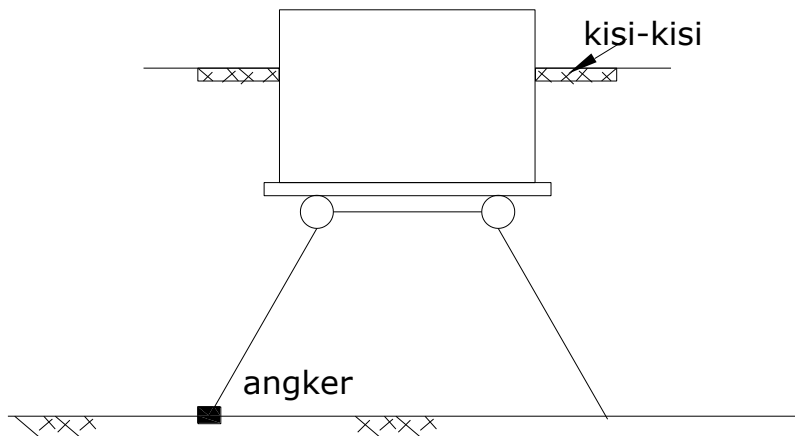
**Gambar**



- Floating Pan

**Gambar**

$$E_0 = \frac{\Delta h}{\Delta t} (\text{mm/hari})$$



Actual evaporation  $\neq$  penguapan evaporation pan ( $E_p$ )

( $E_a < E_p$ )  $\rightarrow$  penyebab (colenbrander):

1.  $A <$ , gelombang dan turbulensi udara di atas air  $\ll$
2. Heat Storage Capacity Panci  $\neq$  danau
3. Heat exchange antara panicle – udara, tanah – air
4. Pengaruh T, RH, U berbeda bagi panicle – danau ( $A \gg$ )

Eliminasi faktor-faktor di atas

$$E_{\text{pan}} = C (e_{\text{sp}} - e_a) (1 + 0,25 U)$$

$$E_{\text{lake}} = C (e_{\text{sl}} - e_a) (1 + 0,25 U)$$

$C =$  konstanta

$e_{\text{sp}} =$  tekanan uap air jenuh pada temperature air di dalam panicle

$e_{\text{sl}} =$  tekanan uap air jenuh pada temperature air di danau

$e_a =$  tekanan uap air pada temperature udara

U = kecepatan angin (m/det)

Asumsi C dan U sama untuk panik dan danau

$$E_{lake} = \frac{esl - ea}{esp - ea} \times E_{pan}$$

= Pan coefficient x E pan

### Imbangan air (water ballance)

Pengukuran langsung:

$$E = I - O \pm \Delta S$$

Dimana:

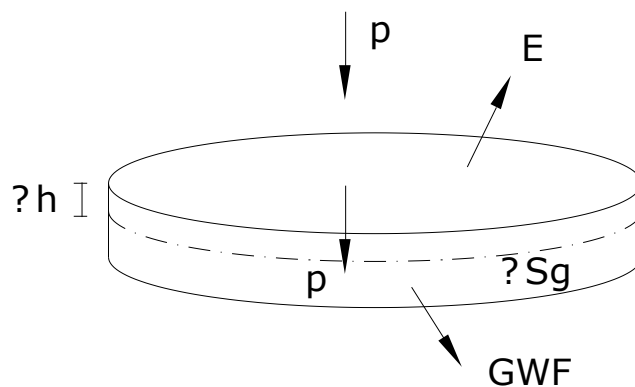
E = penguapan

I = aliran masuk

O = aliran keluar

$\Delta S$  = perubahan tampungan

**Gambar**



$$\Delta S = \sum I - \sum O$$

$$= P - GWF - E$$

$$E = P - GWF - \Delta S$$

$$\Delta S = \Delta S_s + \Delta S_g$$

$$\Delta S_g = P - GWF$$

$$\Delta S_s = P - E - I$$

$\Delta S_g$  dan  $\Delta S_s \rightarrow$  sulit diukur

Untuk periode yang panjang, misal 1 tahun,  $\Delta S \approx 0$

Imbangan air untuk suatu DAS

$$ET = P - Q - G - \Delta S \rightarrow \Delta S = \sum I - \sum O$$

Dengan:

P = hujan ; Q = aliran sungai ; G = aliran air tanah ;  $\Delta S$  = perubahan tampungan

$\rightarrow$  sulit, dipilih aku tahunan  $\rightarrow \Delta S \approx 0$

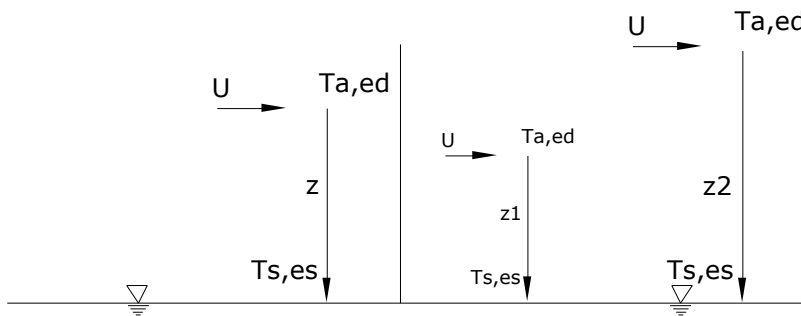
➤ Pendekatan teoritis

a. Metode Transfer Massa (Mass Transfer Method)

- b. Metode Imbangan Energi ( Energi Balance Method)
- c. Kombinasi a dan b

- a. Metode Tansfer Massa (Mass Transfer Method)
  - Proses aerodinamik pada penguapan

**Gambar**



U = kecepatan angin  
 T = Temperatur  
 Z = ketinggian dari m.a  
 E = tekanan uap air  
 Misal: persamaan Dalton

$$E_0 = C \cdot f(u) \cdot (e_s - e_d)$$

$E_0$  = penguapan dari muka air bebas (mm/hari)

C = konstanta

$f(u)$  = fungsi kecepatan angin

$e_s$  = tekanan uap air jenuh pada temperature air

$e_d$  = tekanan uap air pada temperature udara/ nyata

$f(u)$  dapat berupa :  $a(b+u)$  atau  $Nu$ , dengan a, b, N adalah konstanta empiric

- Penman (1948)

$$E_0 = 0,35 \cdot (0,5 + 0,54U_2) \cdot (e_s - e_d) \rightarrow \text{dalam}(mm/hari)$$

$U_2$  = kecepatan angin 2 m diatas permukaan tanah (km/jam)

- Harbeck dan Meyers (1970)

$$E_0 = N \cdot U_2 \cdot (e_s - e_d) \text{ Cm/hari}$$

$N \approx 0,01 - 0,012 \rightarrow U$  (mm/det); e (mb)

- Kehilangan air (penguapan) di waduk (Harbeck, 1962)

$$E_0 = 0,291 \cdot A^{-0,05} \cdot U_2 (e_s - e_d) \rightarrow mm/hari$$

A = luas waduk ( $m^2$ )

$U_2$  = kecepatan angin 2m diatas muka tanah (m/det)

$e_s$  = tekanan uap air jenuh (mb)

$e_d$  = tekanan uap air nyata (mb)

Contoh:

Hitung kehilangan air tahunan (penguapan) untuk waduk dengan luas  $5 \text{ km}^2$ ,  $U_2 = 10,3 \text{ km/jam}$ ,  $e_s$  dan  $e_d$  berturut-turut  $14,2$  dan  $11,0 \text{ mmHg}$

Penyelesaian:

$$A = 5 \text{ km}^2 = 5.1000^2 \text{ m}^2 = 5.10^6 \text{ m}^2$$

$$U_2 = 10,3 \text{ km/jam} = \frac{10,3 \times 1000}{60 \times 60} = 2,86 \text{ m/det}$$

$$e_s = 14,2 \text{ mmHg} = 14,2 \times 1,33 = 18,9 \text{ mb}$$

$$e_d = 11,0 \text{ mmHg} = 11,0 \times 1,33 = 14,6 \text{ mb}$$

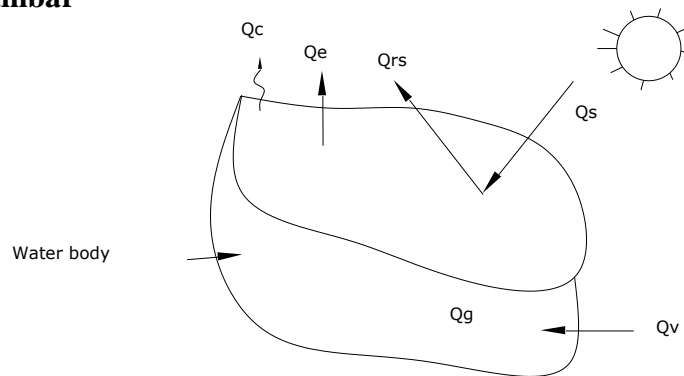
$$\begin{aligned} E_0 &= 0,291 \cdot A^{-0,05} \cdot U_2 (e_s - e_d) \\ &= 0,291 \cdot (5.10^6)^{-0,05} \cdot 2,86 (18,9 - 14,6) \\ &= 1,65 \text{ mm/hari} \\ &= 604,05 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Total kehilangan air tahunan (penguapan)

$$0,604 \times 5.10^6 = 3,02 \text{ juta m}^3$$

b. Metode Imbangan Energi ( Energi Balance Method)

**Gambar**



$$Q_{E0} = Q_s - Q_{rs} - Q_e - Q_c \pm Q_g \pm Q_v$$

$Q_{E0}$  = energy yang diburuhkan untuk penguapan

$Q_s$  = short-wave solar radiation

$Q_{rs}$  = reflected short-wave solar radiation

$Q_e$  = long-wave radiation from the water body

$Q_c$  = sensible heat transfer

$Q_g$  = changed in stored energy

$Q_v$  = energy transfer antara air dan tanah/ daerah sekitarnya

$$E_0 = \frac{Q_{E0}}{\lambda \rho} \rightarrow \text{mm/det}$$

$\lambda$  = latent heat untuk penguapan =  $2,501 \cdot 10^6 - 2370T$  (J/Kg)

$\rho$  = kerapatan udara

c. Kombinasi (rumus penman)

$$H = E_0 + Q \dots\dots\dots 1$$

H = available heat

$E_0$  = energy untuk penguapan

Q = energy untuk memanaskan udara

Hukum Dalton:

$$E_0 = f(u) \cdot (e_s - e_d) \dots\dots\dots 2$$

dan

$$Q = \gamma_{(n)} \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots 3$$

$\gamma$  = konstanta psychrometer

$f(n) \approx f_1(n)$

jika  $\Delta$  merupakan slope dari kurva hubungan antara tekanan uap air jenuh dengan temperature

$$\Delta = \frac{de}{dT} \approx \frac{e_s - e_d}{T_s - T_d} \approx \frac{e_a - e_d}{T_a - T_d}$$

Persamaan (3)

$$\begin{aligned} Q &= \gamma_{(n)} \cdot [(T_s - T_d) - (T_a - T_d)] \\ &\dots = f_{(n)} \left[ \left( \frac{e_s - e_d}{\Delta} \right) - \left( \frac{e_a - e_d}{\Delta} \right) \right] \\ &= \left[ \left( \frac{\gamma E_0}{\Delta} \right) - \left( \frac{\gamma E_a}{\Delta} \right) \right] \end{aligned}$$

Persamaan (1)  $E_0 = H - Q = \left[ \left( \frac{\gamma E_0}{\Delta} \right) - \left( \frac{\gamma E_a}{\Delta} \right) \right]$

$$\Delta E_0 + \gamma E_0 = \Delta H + \gamma E_a$$

$$E_0 = \frac{\Delta H + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

Untuk mempermudah perhitungan dibuat “ nomogram Penman ”

$$E_0 = E_1 + E_2 + E_3$$

$$E_1 = f(h, n/D, t)$$

$$h = \frac{e_a \rightarrow \text{diukur}}{e_s \rightarrow \text{dihitung}}$$

$$\frac{n \rightarrow \text{diukur}}{D \rightarrow \text{tabel} \cdot f(\text{waktu, lokasi})}$$

$t \dots \dots \dots \text{diukur}$

$$E_2 = f(h, n/D, R_A) \rightarrow R_A \text{ (dari table Angot)}$$

$$E_3 = f(t, U_2, h) \rightarrow U_2 \rightarrow \text{diukur}$$

$h$  = kelembaban udara (%)

$$\frac{n}{D} = \text{lama peyinaran relative perhari}$$

$t$  = suhu udara ( $^{\circ}\text{C}$ )

$R_A$  = nilai Angot

$U_2$  = Kecepatan angin 2m diatas muka tanah

Soal:

Diketahui  $U_2 = 5 \text{ m/det}$

$T = 20^{\circ}\text{C}$

$h = 0,7$

$$\frac{n}{D} = 0,4$$

$R_a = 550$

Hitung  $E_0$  dengan nomogram Penman

$$E_0 = E_1 + E_2 + E_3 = -1 + 2,3 + 1,8 = 3,1 \text{ mm/hari}$$

DIAGRAM NOMOGRAM



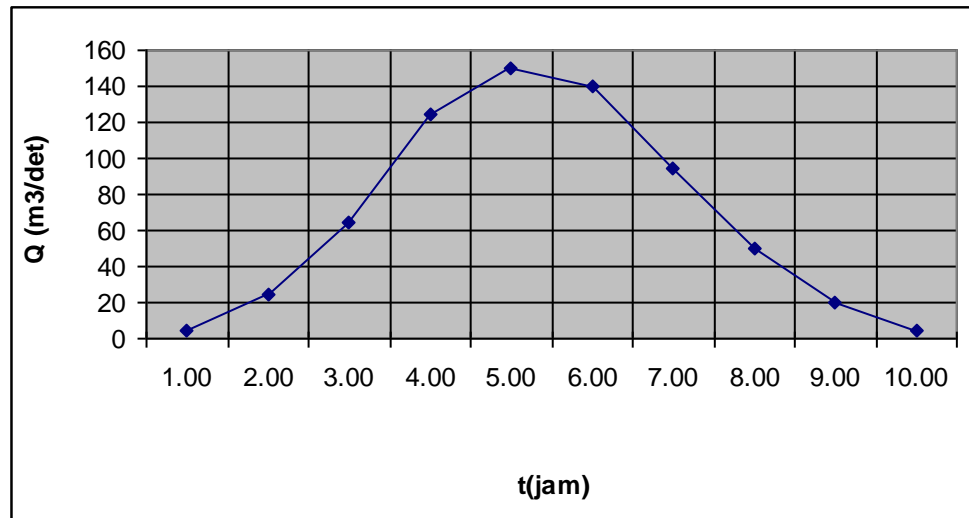
## HIDROGRAF

Pengertian

Hidrograf merupakan penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu

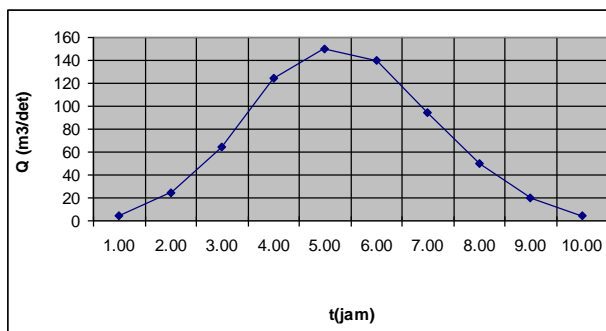
1. Hidrograf muka air (stage hydrograph)

**Gambar**

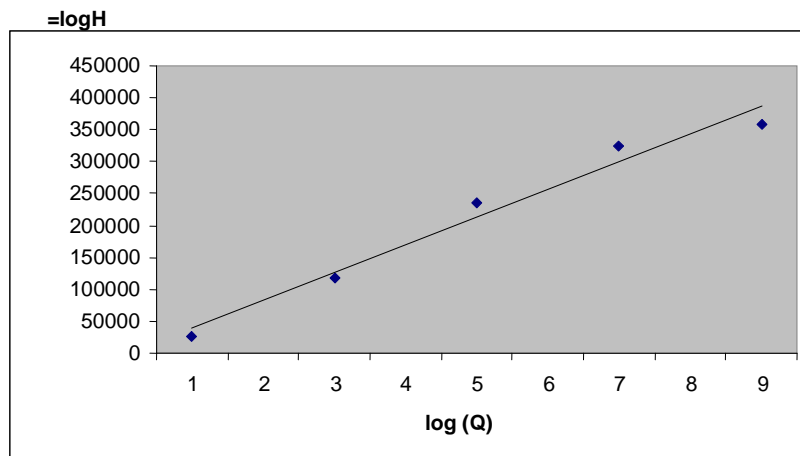


2. Hidrograf debit (discharge hydrograph) → hidrograf

**Gambar**

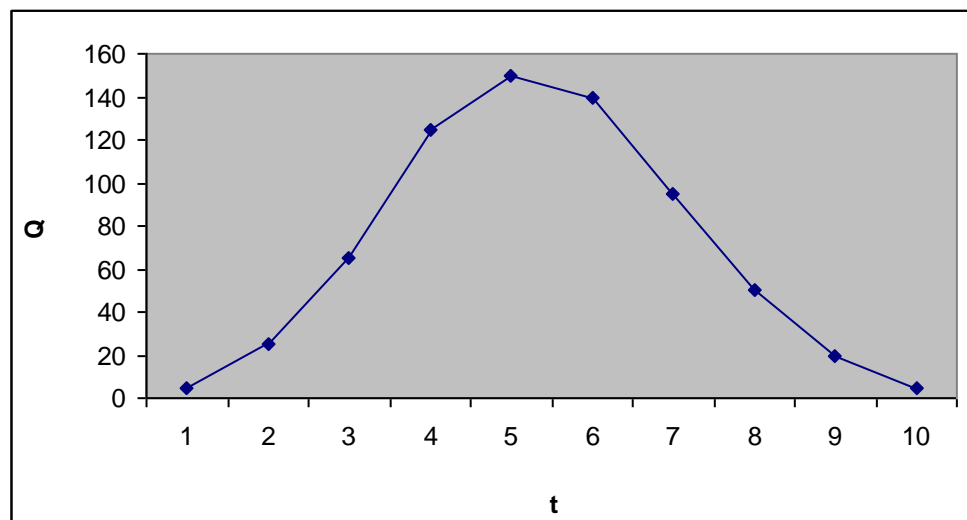






3. Hidrograf Sedimen (sediment hydrograph)→hidrograf

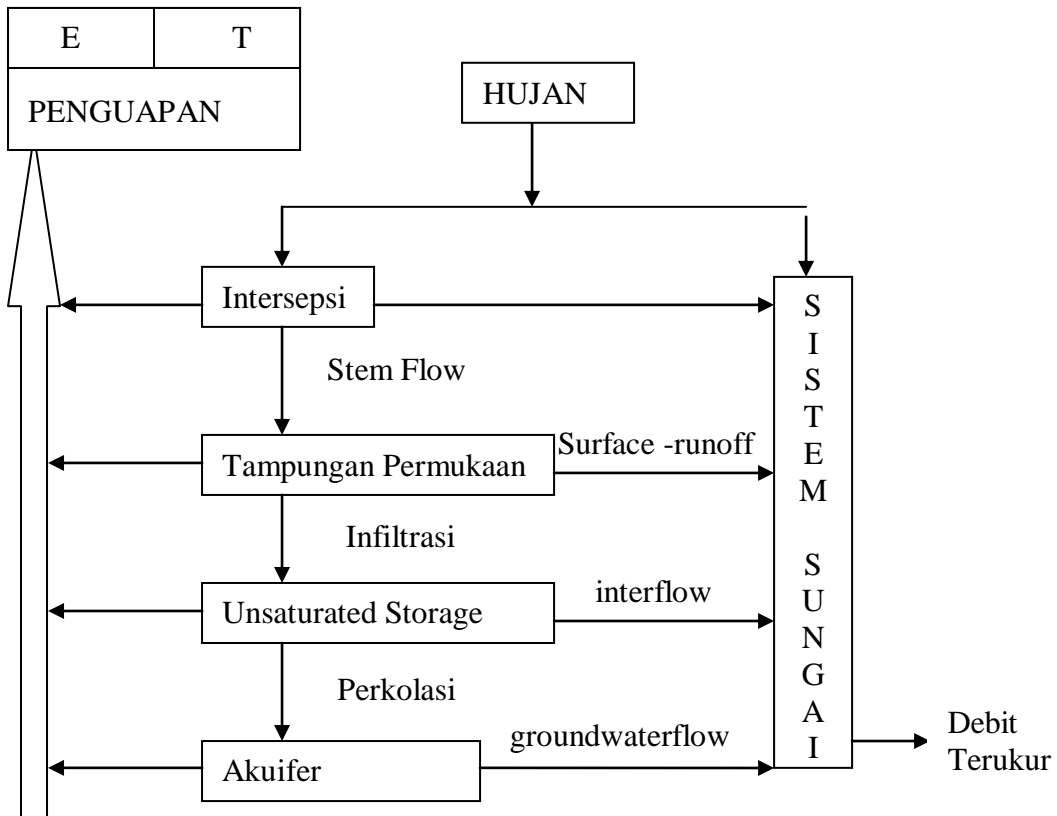
**Gambar**



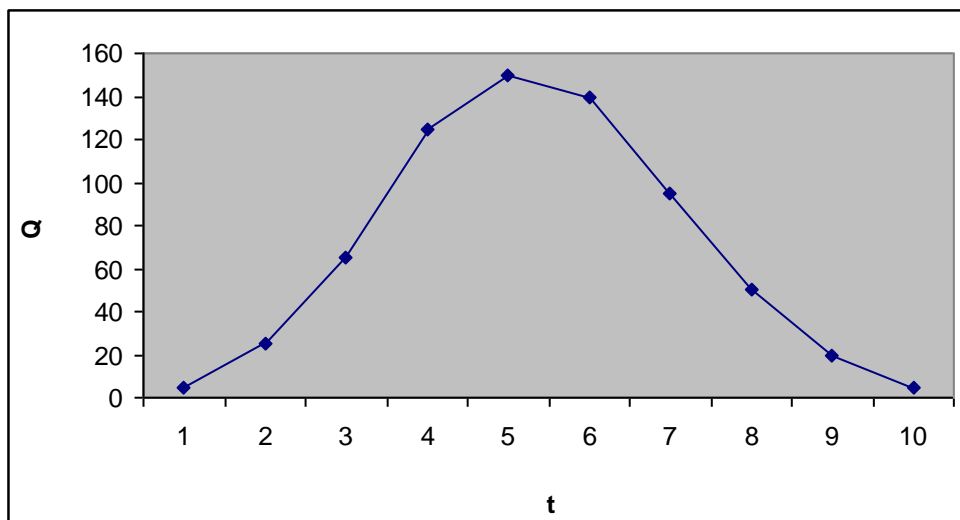
Hidrograf merupakan tanggapan menyeluruh DAS terhadap masukan tertentu

**Gambar**

Komponen hidrograf



Gambar

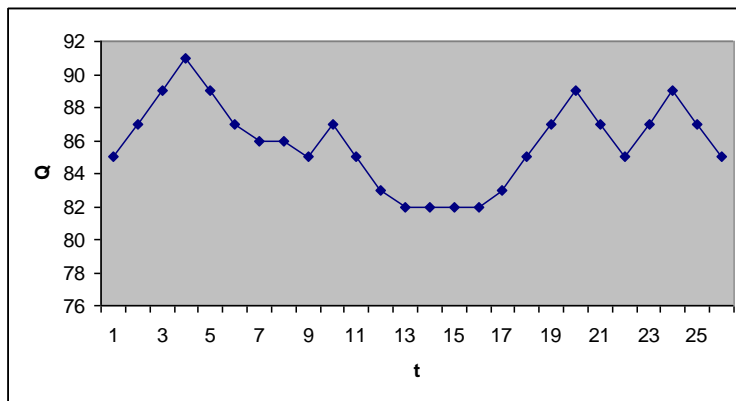
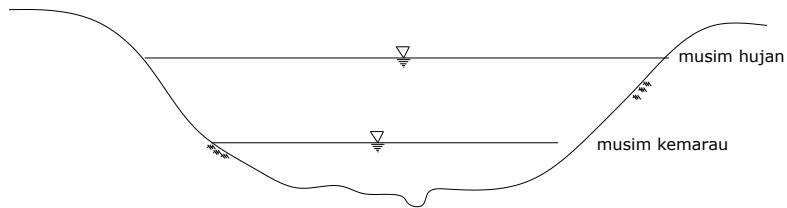


## Hidrograf Untuk berbagai keadaan sungai

### 1. Sungai Perennial

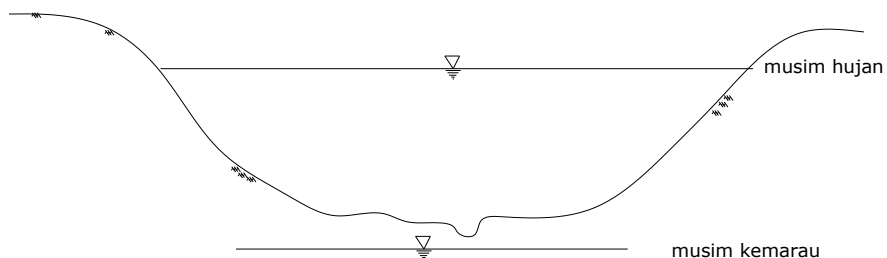
- Sungai yang selalu mengalir sepanjang tahun
- Keadaan aquifer disekitarnya cukup baik

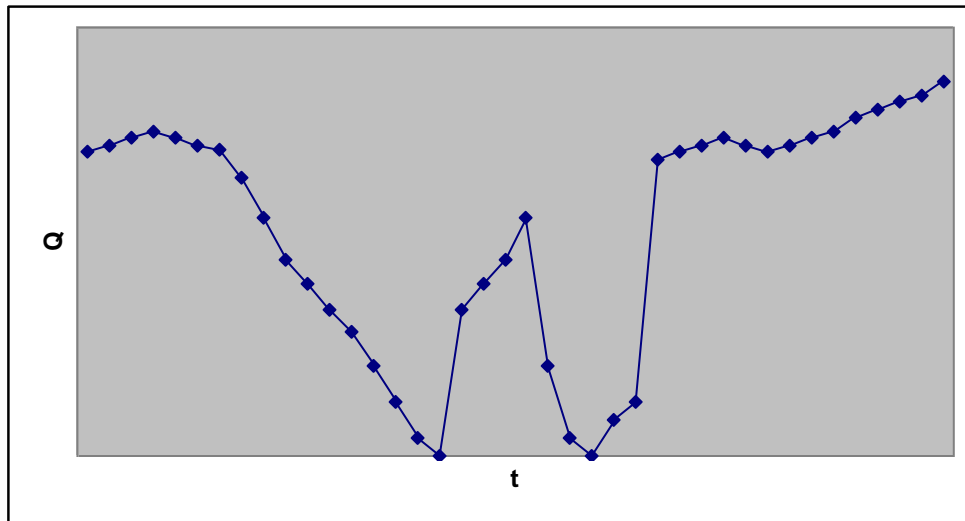
#### Gambar



2. Sungai Intermitten : sungai yang mengalir selama musim hujan, muka air tanah berada dibawah dasar sungai selama musim kering

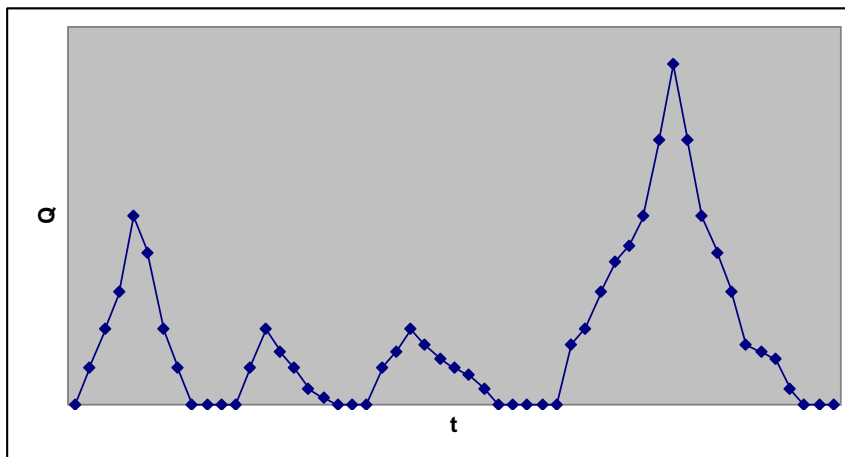
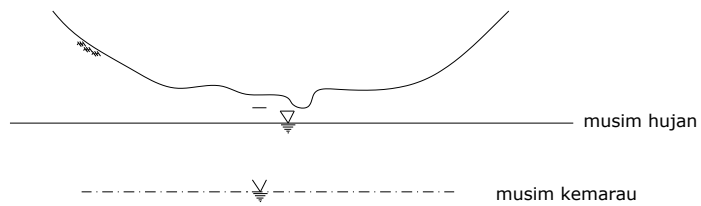
#### Gambar



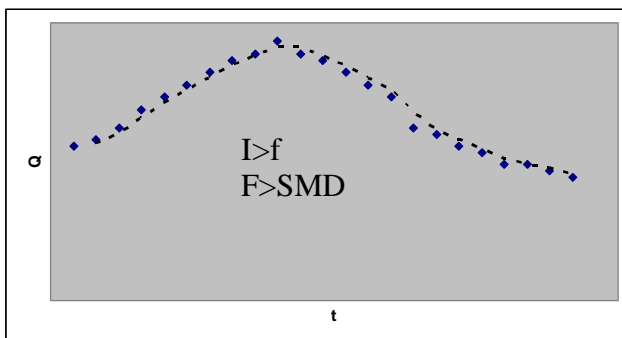
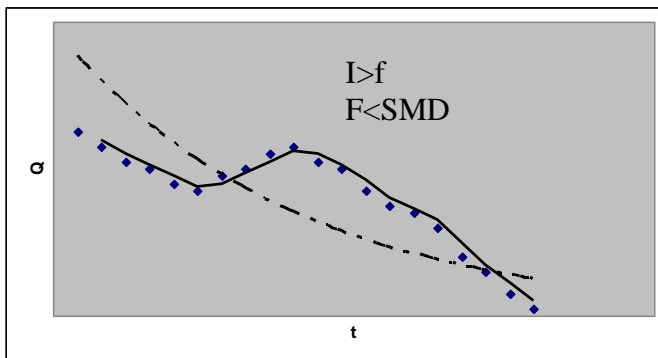
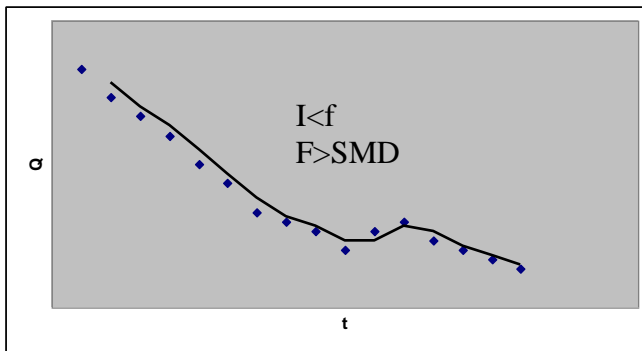
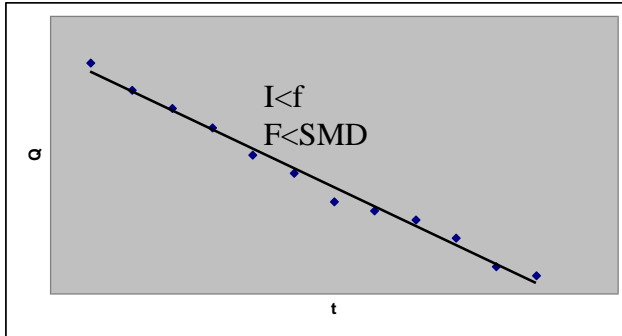


3. Sungai enphermal: sungai yang mengalir hanya saat ada hujan, muka air tanah selalu dibawah dasar sungai

**Gambar**

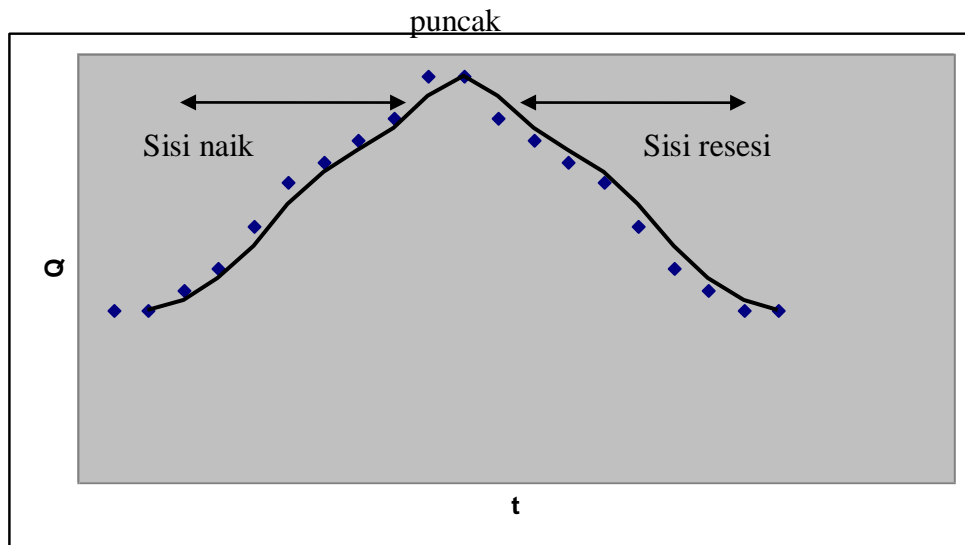


Pengaruh hujan (intensitas) terhadap bentuk hidrograf  
**Gambar**



$i$  = intensitas hujan;  $f$  = laju infiltrasi  
SMD = Soil Moisture Deficit  
F = Field capacity  
Bagian-bagian hidrograf

**Gambar**



Sisi naik (rising Limb) dan Peak:

- Intensitas hujan
- Lama hujan
- Arah gerak hujan
- Antecedent condition

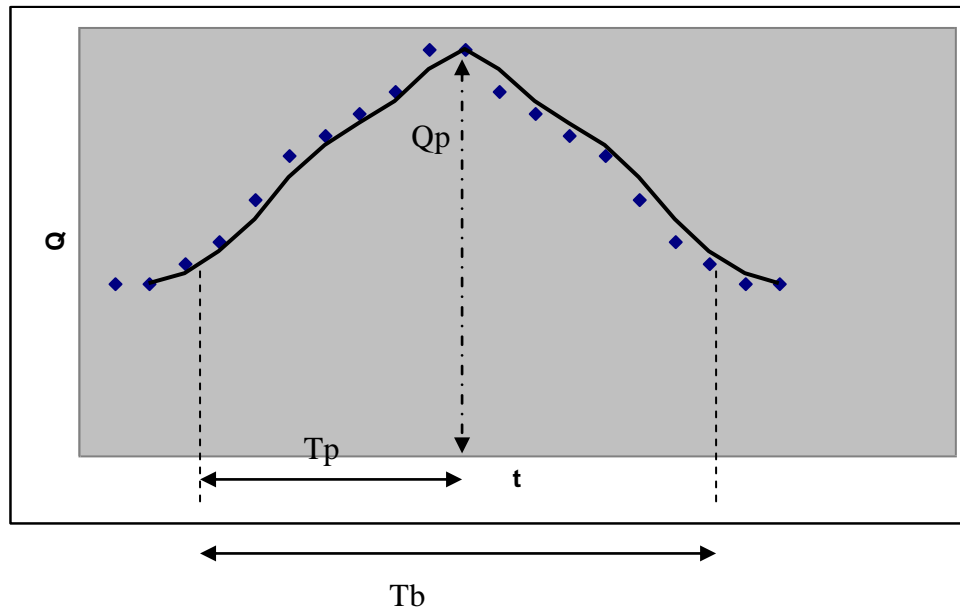
Recession limb (sisi resesi) → aquifer withdrawal

$$Q_t = Q_0 K_t \rightarrow K = \text{recession} \cdot \text{constant}$$

Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan 3 sifat pokok:

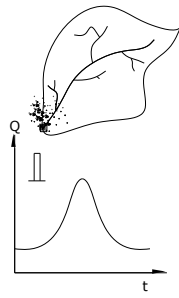
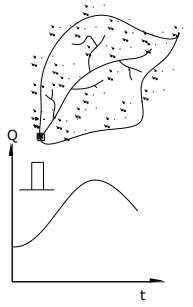
1. Waktu naik (time of rise)
2. Debit puncak (peak discharge)
3. Waktu dasar (base time)




**Gambar**

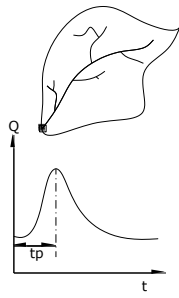
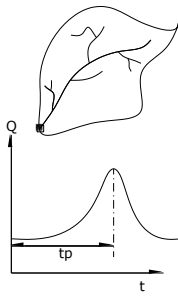
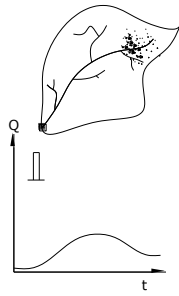
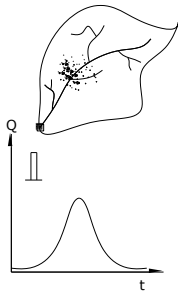


Pengaruh hujan dan bentuk DAS terhadap hidrograf

**Gambar 'hydrograph hidrologik'**

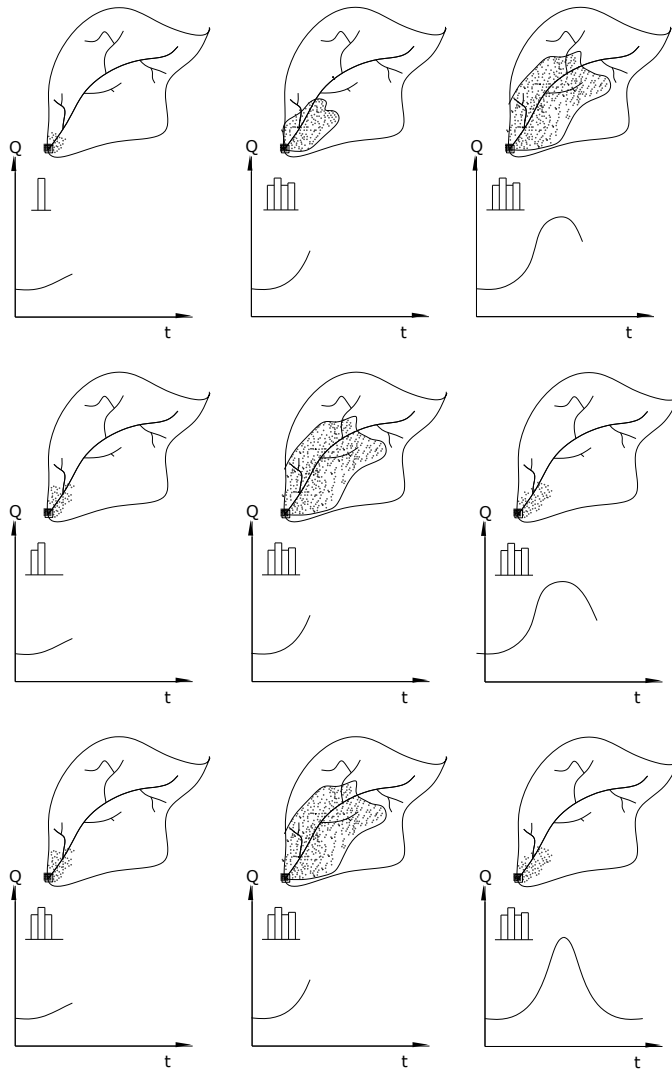


LEGEND:  
 Storm  
 Hyetograph  
 Hydrograph



**$T_{pe} > t_{pf}$**





**Gambar ilustrasi konsep luas sumber yang berubah (variabel)**

Pengalihan ragam hujan – Aliran

Beberapa cara pendekatan:

1. Translasi (translation)
2. Tampung (storage)

Anggapan:

- System linier
  - Time invariant
- ⇒ Superposisi

1. Konsep translasi

- DAS dimodelkan sebagai ban berjalan (belt conveyor) yang berputar dalam waktu  $2 T_c$  (waktu pemusatan/ time concentration)
- $T_c$  = waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh dibagian DAS yang paling hulu untuk mengalir sampai di stasiun hydrometric
- Hujan sesaat (instantaneous rainfall) → hipotetik hujan sesaat setinggi  $h_o$  akan menimbulkan hidrograf sesaat sebesar

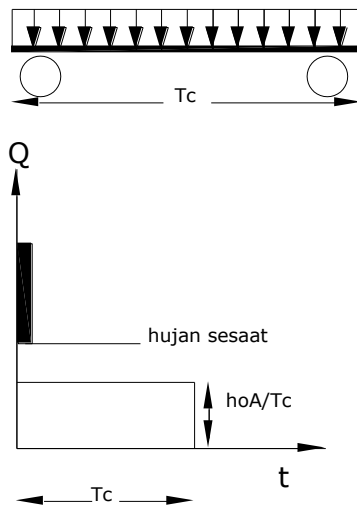
$$Q = \frac{(h_o \cdot A)}{T_c} \dots\dots\dots m^3 / \text{det}$$

$h_o$  (mm)

A (luas DAS ( $\text{km}^2$ ))

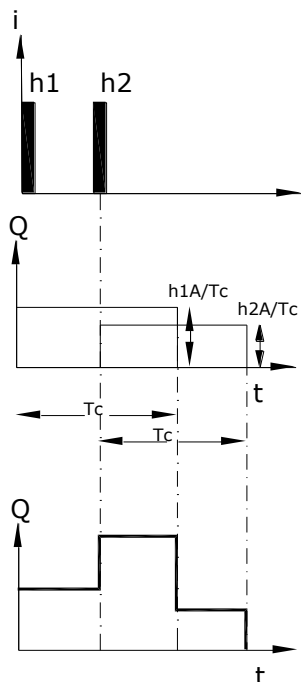
$T_c$  (jam)

**Gambar**



Bila terjadi lebih dari satu kali hujan sesaat dapat disuperposisikan

**Gambar**



Hujan menerus

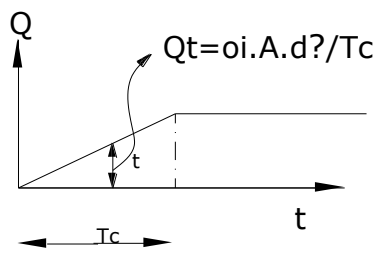
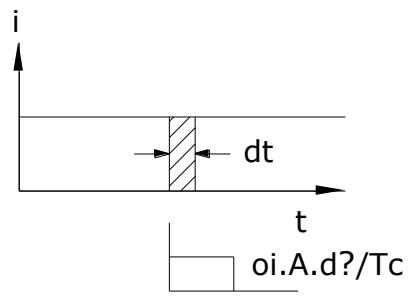
- Merupakan kumpulan hujan elementer sebesar  $i_0 dt$ , menimbulkan hidrograf dengan debit

$$Q = \int_0^t \frac{i_0 \cdot A \cdot dt}{Tc}$$

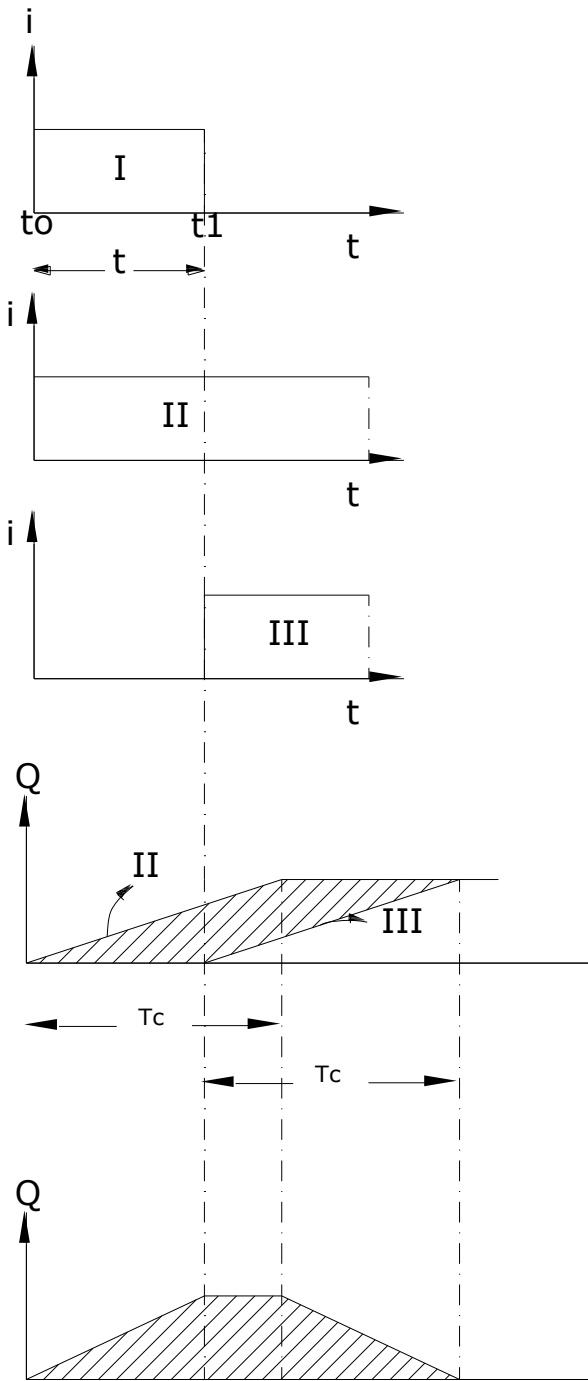
$$Qt = \frac{i_0 \cdot A \cdot dt}{Tc}, \text{ untuk } t \leq Tc$$

$$Qt = i_0 \cdot A \cdot dt, t > Tc$$

**Gambar**



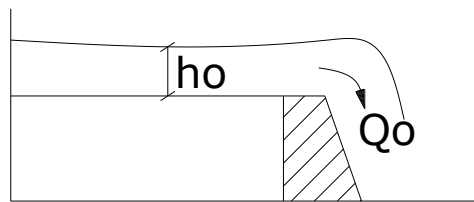
Jika diketahui hujan dengan intensitas  $i$  dengan lama hujan  $t$  → prinsip superposisi  
**Gambar hidrograf akibat hujan dengan intensitas tetap  $i$**



Konsep tampungan

- System DAS sebagai reseirvoir/ waduk
- Hujan sesaat,  $h_0$
- Volume diatas tampungan :  
 $V = h_0 \cdot A \rightarrow A = luas \cdot waduk$
- Debit sebanding dengan tampungan  
 $Q = \alpha \cdot V = \alpha \cdot A \cdot h \dots \dots \dots 1$

**Gambar**



Persamaan kontinuitas:

$$Qdt + Adh = 0$$

$$\alpha \cdot A \cdot h_0 \cdot dt + A \cdot dh = 0 \rightarrow \frac{1}{A \cdot dt}$$

$$\alpha \cdot h_0 + \frac{dh}{dt} = 0$$

$$h = C, e^{-\alpha t} \dots \dots \dots 2$$

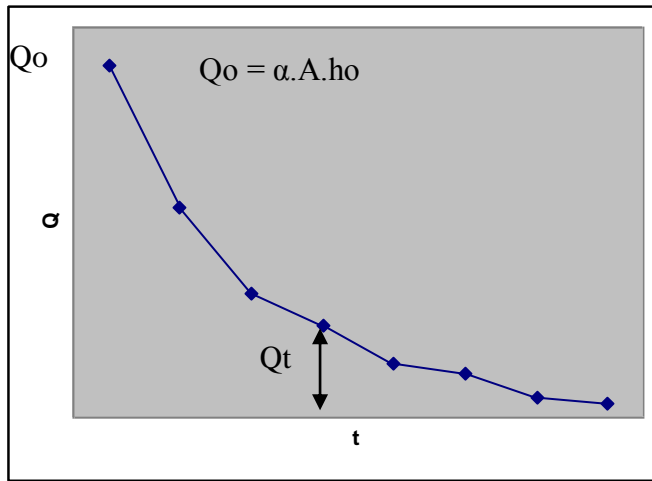
Syarat batas;  $t = 0 \rightarrow h = h_0$

Sehingga,  $C_1 = h_0$

Maka  $h = h_0 \cdot e^{-\alpha t} \rightarrow$  persamaan 1:  $Qt = \alpha \cdot A \cdot h_0 \cdot e^{-\alpha t}$   
 $Qt = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$

Tanggapan hujan sesaat dengan konsep tampungan

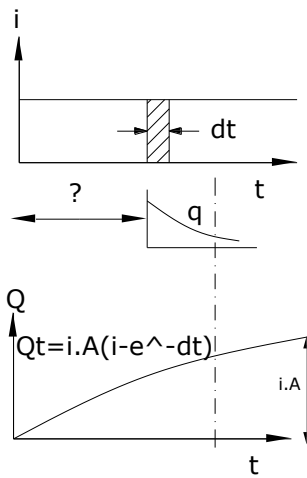
**Gambar**



Hujan menerus

Elemen hujan selama  $d\tau = i \cdot d\tau$ , menghasilkan hidrograf  $q = \alpha \cdot i \cdot A \cdot d\tau \cdot e^{-(t-\tau)\alpha}$

**Gambar**



Dengan integrasi diperoleh

$$Q_t = \int_0^t \alpha \cdot i \cdot A \cdot d\tau \cdot e^{-(t-\tau)\alpha} \cdot d\tau$$

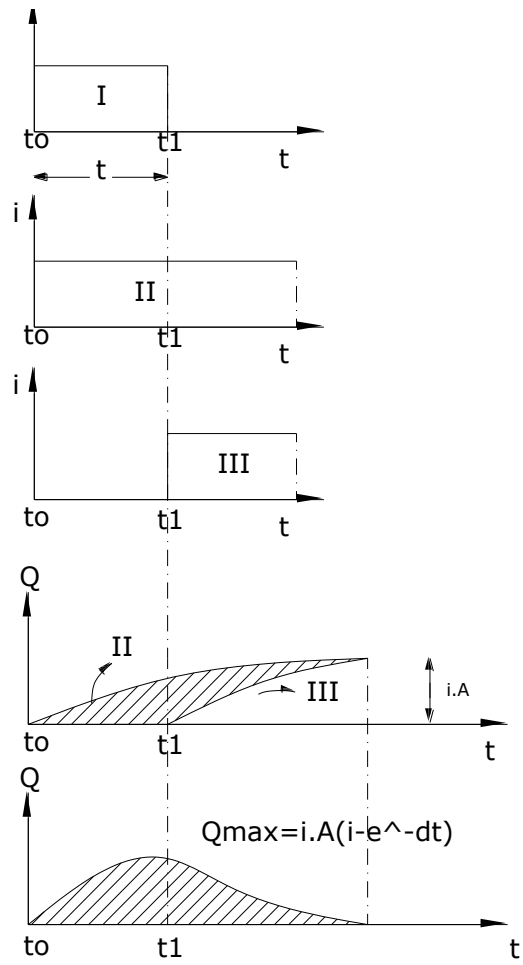
$$= \alpha \cdot i \cdot A \cdot d\tau \cdot e^{-(\alpha t)} \int_0^t e^{(\alpha \tau)} \cdot d\tau = \alpha \cdot i \cdot A \cdot d\tau \cdot e^{-(\alpha t)} \cdot \left( \frac{e^{(\alpha \tau)} - 1}{\alpha} \right)$$

$$Q_t = A \cdot i \cdot (1 - e^{-(\alpha t)})$$

Untuk  $t \rightarrow$  tidak terhingga  $\rightarrow Q_t = A \cdot i$

Hujan dengan intensitas  $I$  dan lama hujan  $t$  tertentu

**Gambar' hidrograf akibat hujan I'**





**Contoh**

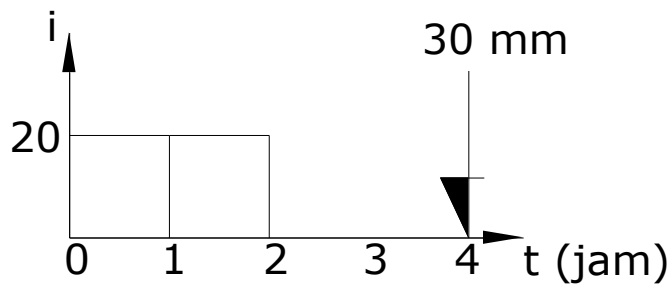
Kejadian hujan (hipotetik) terjadi disuatu DAS dengan luas DAS =  $A \text{ km}^2$ , intensitas hujan sebesar  $20 \text{ mm/jam}$  selama  $2 \text{ jam}$ , dan hujan sesaat sebesar  $30 \text{ mm}$  pada jam ke empat

- Berikan sketsa hidrograf yang ditimbulkan baik dengan konsep translasi maupun tampungan bila waktu konsentrasi  $T_c \text{ jam}$ ,  $\alpha = 0,25 \text{ jam}^{-1}$

Solusi

Luas DAS =  $A \text{ km}^2$ , waktu konsentrasi  $T_c \text{ jam}$

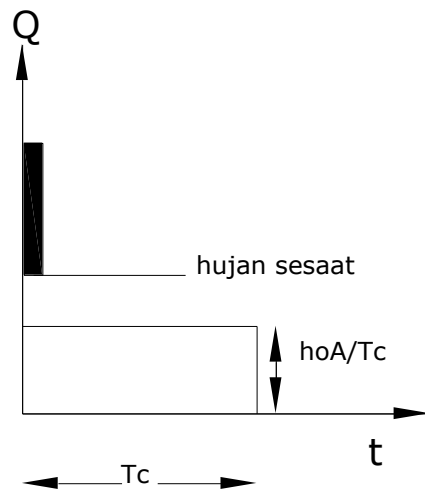
**Gambar**



2. Konsep translasi

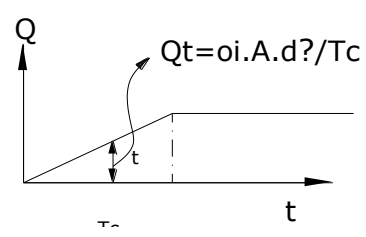
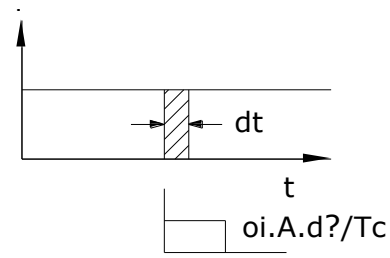
- Hujan sesaat

**Gambar**



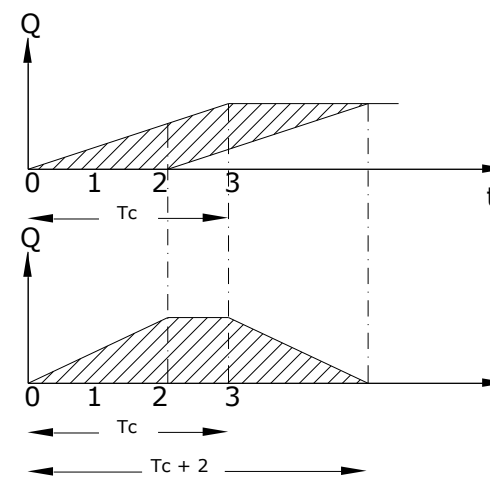
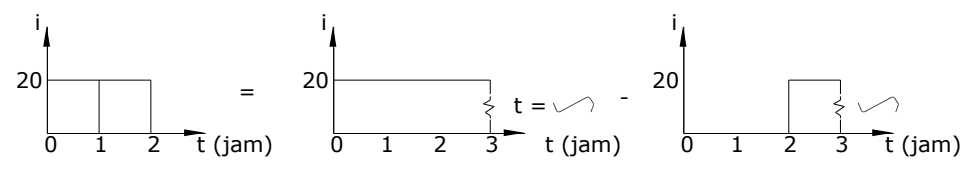
- Hujan menerus

**Gambar**



- Akibat hujan 20 mm/jam selama 2 jam

**Gambar**



$$Qp = A \cdot i_0$$

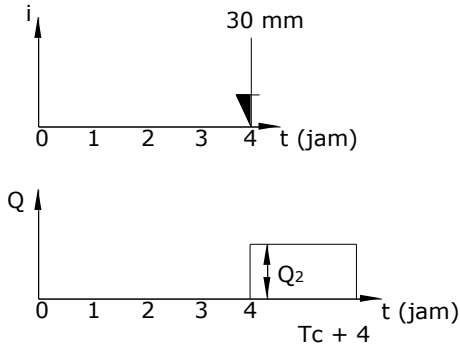
$$= \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot 10^6}{3600} = 5,56 A \cdot m^3 / \text{det}$$

$$Qi = \frac{t}{Tc} \cdot Qp = \frac{2}{Tc} \cdot 5,56 \cdot A$$

$$Qi = 11,1 \frac{A}{Tc} m^3 / \text{det}$$

- Akibat hujan sesaat

**Gambar**



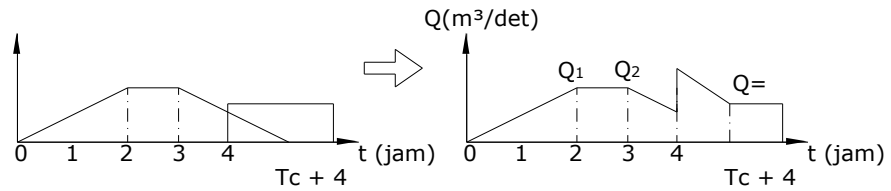
$$Q_2 = \frac{A \cdot h_0}{T_c}$$

$$= \frac{.A \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{T_c \cdot 3600} = \frac{300}{36} \frac{A}{T_c} \cdot m^3 / \text{det}$$

$$Q_2 = 8.3 \frac{A}{T_c} m^3 / \text{det}$$

Superposisi  $\rightarrow$  akibat hujan sesaat dan menerus

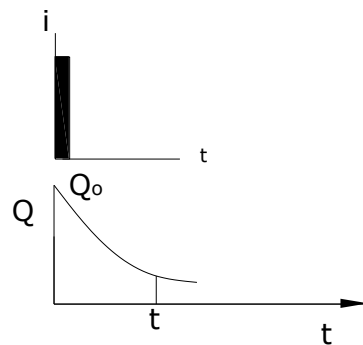
**Gambar**



### 3. Konsep tampungan

- hujan sesaat

**Gambar**



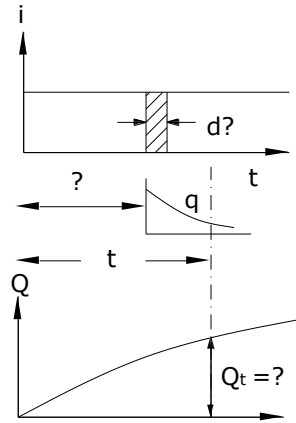
$$Qt = \alpha \cdot A \cdot h_0$$

$$Qt = \alpha \cdot A \cdot h_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

$$Qt = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

- Hujan menerus

**Gambar**



$$q(t - \tau) = \alpha \cdot i \cdot A \cdot d\tau \cdot e^{-\alpha(t-\tau)}$$

$$Qt = \int_0^t q \cdot d\tau$$

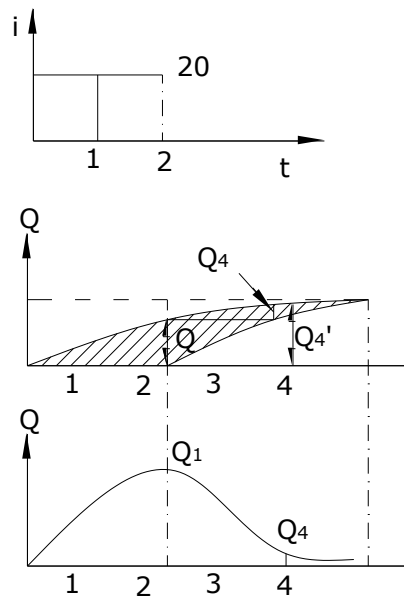
$$= \int_0^t \alpha \cdot i \cdot A \cdot e^{-\alpha(t-\tau)} \cdot d\tau$$

$$= A \cdot i_o (1 - e^{-\alpha t})$$

$$t = \text{tidak hingga} \rightarrow Qt = A \cdot i_o$$

- Akibat hujan 20 mm/jam selama 2 jam

**Gambar**



$$Qp = A \cdot i_o$$

$$= \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot 10^6}{3600} = 5,56 A \cdot m^3 / \text{det}$$

$$Qi = \frac{t}{Tc} \cdot Qp = \frac{2}{Tc} \cdot 5,56 \cdot A$$

$$Qi = Qp \cdot (1 - e^{-\alpha t})$$

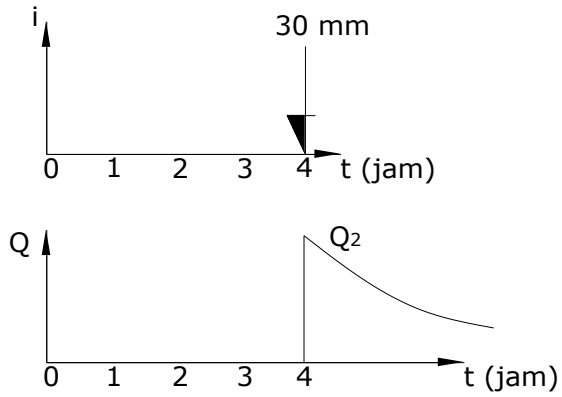
$$Q4 = Q4' - Q1$$

$$= Qp \cdot (1 - e^{-\alpha 4}) - Q1$$

$$Q4 = Qp(e^{-\alpha 2} - e^{-\alpha 4})$$

- Akibat hujan 30 mm

**Gambar**



$$Q_2 = \alpha \cdot A \cdot h_0$$

$$= \alpha \cdot A \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = 3 \cdot 10^4 \alpha \cdot A \rightarrow m^3 / \text{det}$$

*jika*  $\alpha = 0,25$

$$Q_2 = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot 0,25 \cdot A}{3600} = 2,08 m^3 / \text{det}$$

- Hydrpograf Total

$A = 1 \text{ km}^2$

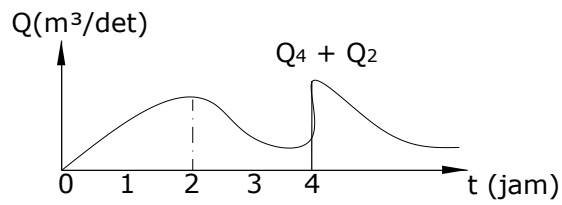
$T_c = 5 \text{ jam}$

$Q_p = 5,56 \text{ m}^3 / \text{det}$

$Q_1 = 2,20 \text{ m}^3 / \text{det}$

$Q_2 = 1,66 \text{ m}^3 / \text{det}$

**Gambar**



## Hydrograf Satuan (HS)

- Hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif yang terjadi merata diseluruh DAS dan dengan intensitas tetap dalam satu satuan waktu yang ditetapkan
- Sifat khas yang menunjukkan sifat tanggapan DAS terhadap suatu masukan tertentu

Konsep HS dikemukakan oleh Sherman (1932):

Untuk prakiraan banjir yang terjadi akibat hujan dengan kedalaman dan distribusi tertentu

Ada 2 andalan pokok dalam HS:

1. HS ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata di seluruh DAS
2. HS ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata selama waktu yang ditetapkan → intensitas hujan tetap

Tiga postulat / landasan pemikiran:

1. Ordinat HS sebanding dengan volume hujan yang menimbulkan (linier system)
2. Tanggapan DAS tidak tergantung dari waktu terjadinya masukan (time invariant)
3. Waktu dari puncak hidrograf satuan sampai akhir hidrograf limpasan langsung selalu tetap

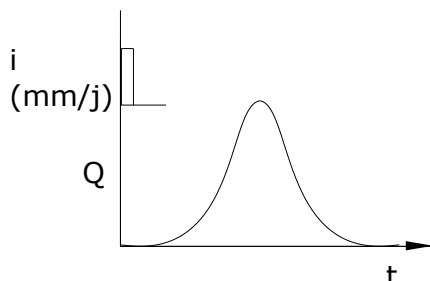
Data :

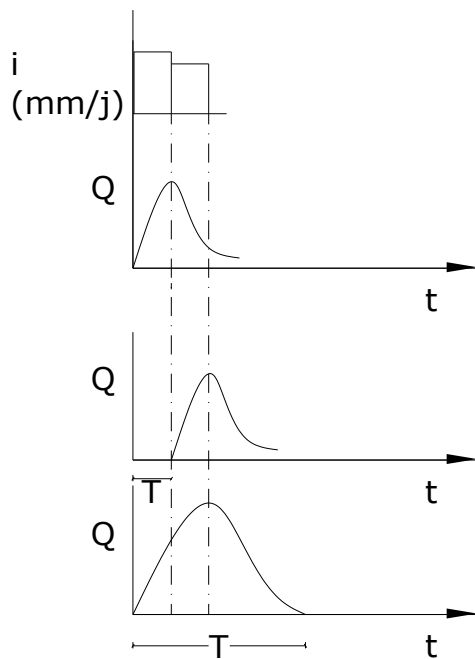
1. Rekaman AWLR → stage hydrograph
2. Pengukuran debit yang cukup → Q-H
3. Data hujan biasa (manual)
4. Data hujan otomatis

Karakteristik HS:

HS menunjukkan bagaimana hujan efektif ditransformasikan menjadi limpasan langsung pada suatu outlet DAS, yang disertai anggapan berlaku proses linier

**Gambar (T = durasi hujan efektif yang menghasilkan HS)**





### Penurunan HS

HS diturunkan berdasar pada persamaan konvolusi, untuk menghitung  $Q_n$  (limpaan langsung), yang diakibatkan oleh hujan efektif  $P_m$  dan akibat ordinat HS ( $U_{n-m+1}$ )

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m \cdot U_{n-m+1}$$

$M$  = banyaknya hujan efektif

$N$  = banyaknya ordinat limpaan langsung

Metode penyelesaian

1. Cara persamaan Polinomial
2. Cara Collins (method of successive approximation)
3. Perhitungan matrix

1. Cara persamaan Polinomial

Prosedur:

- a. Stage hydrograph }  
Rating curve } Discharge hydrograph
- b. Pisahkan base flow  $\rightarrow \Phi$ -index
- c. Andaian ordinat HS;  $U_1, U_2, \dots, U_n$
- d. Kalikan c) dengan hujan efektif

**Gambar**

e. Persamaan maka diperoleh ordinat-ordinat HS

**Gambar**

R1	--								
>		R1U1	R1U2	R1U3	R1U4	.....	.....		
R2	--								
>		-	R2U1	R2U2	R2U3	R2U4			
R3	---								
>		-	-	R3U1	R3U2	R3U3	R3U4	+	
		A	B	C	D	E	F		
A		R1U1			=	X1	=	X1/R1	
B		R1U2	R1U1		=	X2	=	?	
C		R1U3	R2U2	R3U1	=	X3	=	...	
	•							....	
		↓							



•  
•  
dst

2. Cara Collins (method of successive approximation)
  - a. sama dengan cara polynomial
  - b. sama dengan cara polynomial
  - c. andaian HS (andaian I)--- (besaran ditetapkan sebarang)
  - d. kalikan c( dengan hujan efektif kecuali hujan max (HS dihitung →HS I
  - e. kurangkan d) dari a) →HS II
  - f. bandingkan e) dan c)
    - kalau 'sama' →Stop
    - kalau ' tidak sama' →e) diulang

**Gambar**

3. Perhitungan matrix  
Elemen-elemen matrix dapat disusun persamaan

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m \cdot U_{n-m+1}$$

P1	0	0	.	.	.	0	0	.	.	.	0	0	U1		Q1
P2	P1	P0				0	0				0	0	U2		Q2
P3	P2	P1				0	0				0	0	U3		Q3
.						0	0				0	0	U4		Q4
.													.		
.													.	=	
Pm	Pm-1	Pm-2				P1	0				0	0	.		
0	Pm	Pm-1				P2	P1				0	0	.		
.													.		
.													.		
.						0	0				Pm	Pm-1			
0	0	0				0	0				0	Pm	Un-M+1		Qn
0	0	0													

$$[P] \cdot [U] = [Q]$$

Penyelesaian

- $[U] = [P]^{-1} \cdot [Q]$
- Metode Gauss-Jourdan
- Dan lain-lain

Data hidrograf bannjir

$$A = 75,6 \text{ km}^2$$

## Gambar

➤ Menghitung  $\Phi$ -index

- Volume limpasan langsung =  $\sum(Q_t - BSF) \cdot 3600$

$$VLL = [(11+27+47+56.5+48.5+33.5+18.5+8)-8.5] \cdot 3600 \\ = 756000 \text{ m}^3$$

- Hujan efektif =  $VLL/A = 756000/75.6 \cdot 10^6 (1000) = 10 \text{ mm}$

- Misal  $\Phi < 8 \text{ mm/j}$

$$\Phi = \frac{(13+15+12+8)-10}{4} = 9,5 \text{ mm/jam} > 8 \text{ mm/jam}$$

*misal*  $\rightarrow 8 < \Phi \leq 12$

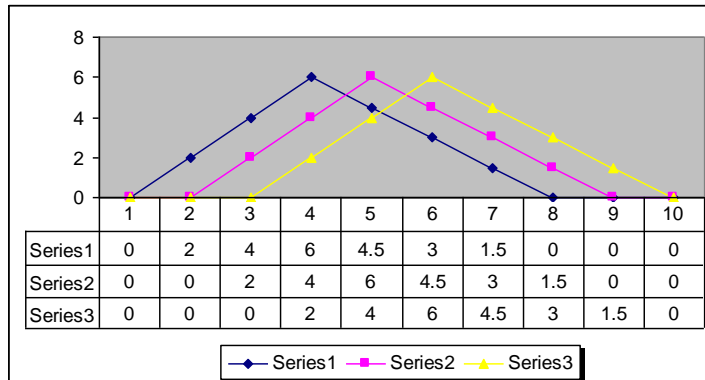
$$\Phi = \frac{(13+15+12)-10}{4} = 10 \text{ mm/jam} \dots \dots \dots \text{OK}$$

## Gambar hujan efektif

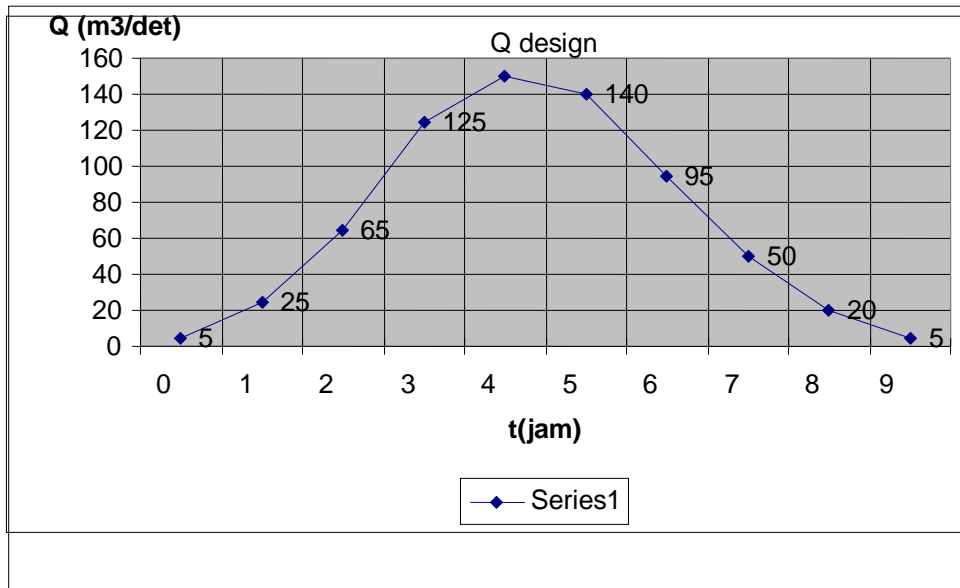
t	Q	QDRO	U3(t)	U5(t-1)	U2(t-2)	U1(t)	U1(t-1)	U1(t-2)
0	5.0	0.0	0			0		
1	11.0	6.0	6	0		2		
2	27.0	22.0	12	10	4	4	2	
3	47.0	42.0	18	20	8	6	4	2
4	56.5	51.5	13.5	30	12	4.5	6	4

5	48.5	43.5	9	22.5	9	3	4.5	6	
6	33.5	28.5	4.5	15	6	1.5	3	4.5	
7	18.5	13.5	0	7.5	3	0	1.5	3	
8	8.0	3.0	0	0	0	0	0	1.5	
9	5.0	0.0	0	0	0	0	0	0	
							[1]	[2]	[3]

Unit Hidrograf



t (jam)	Hujan efektif (mm)	unit hidrograf (m3/det)	hidrograf banjir (m3/det)			base flow (m3/det)	hidrograf total (m3/det)
			akibat hujan efektif				
			jam ke-1	jam ke-2	jam ke-3		
0		0	0	0	0	5	5
1	3	2	6	10	4	5	25
2	5	6	18	30	12	5	65
3	2	12	36	60	24	5	125
4		14.5	43.5	72.5	29	5	150
5		13.5	40.5	67.5	27	5	140
6		9	27	45	18	5	95
7		4.5	13.5	22.5	9	5	50
8		1.5	4.5	7.5	3	5	20
9		0	0	0	0	5	5



Karakteristik DAS

L= 61	SIM= 0.24	
SF= 0.553	A= 771.75	km <sup>2</sup>
JN= 379	S= 0.0156	
SN= 0.731	RUA= 0.3	
D= 1.433	F= 0.787	
WF= 0.52		

hujan harian 50 tahunan = 250 mm

terdistribusi 30%, 50% dan 15% (=75 mm; 137.5 mm dan 37.5 mm)

TR = 2.110602  
 QP = 28.01518  
 TB = 26.84452  
 K = 6.566919  
 QB = 48.39663

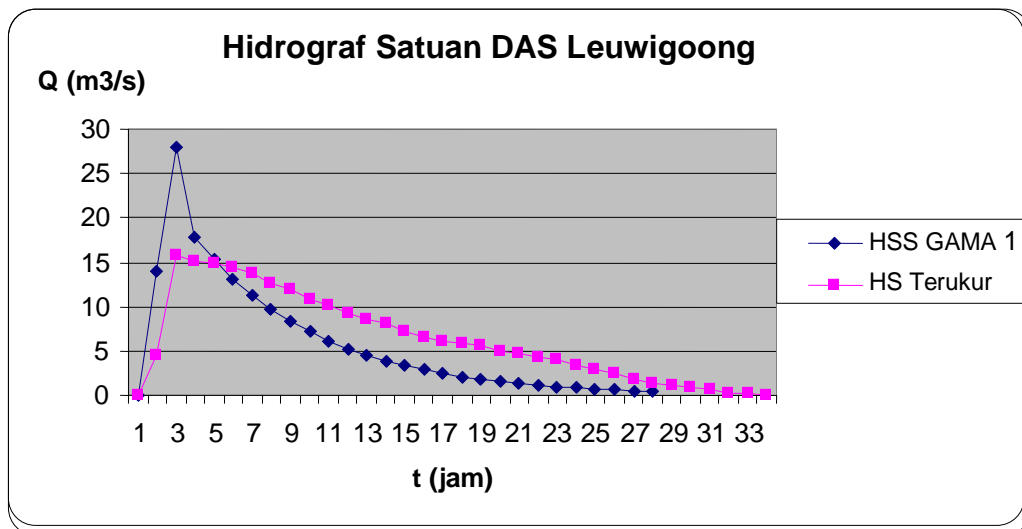
HSS GAMA 1

t	UH	P1 = 75 mm	P2 = 137.5 mm	P3 = 37.5 mm	Q50
0	0.000	0.000	-	-	0

1.06	14.008	1050.600	0.000	-	1050.6
2.11	28.015	2101.125	1926.100	0.000	4027.225
3	17.742	1330.650	3852.063	525.300	5708.013
4	15.236	1142.700	2439.525	1050.563	4632.788
5	13.084	981.300	2094.950	665.325	3741.575
6	11.235	842.625	1799.050	571.350	3213.025
7	9.648	723.600	1544.813	490.650	2759.063
8	8.286	621.450	1326.600	421.313	2369.363
9	7.115	533.625	1139.325	361.800	2034.75
10	6.110	458.250	978.313	310.725	1747.288
11	5.247	393.525	840.125	266.813	1500.463
12	4.506	337.950	721.463	229.125	1288.538
13	3.870	290.250	619.575	196.763	1106.588
14	3.323	249.225	532.125	168.975	950.325
15	2.854	214.050	456.913	145.125	816.0875
16	2.450	183.750	392.425	124.613	700.7875
17	2.104	157.800	336.875	107.025	601.7
18	1.807	135.525	289.300	91.875	516.7
19	1.552	116.400	248.463	78.900	443.7625
20	1.333	99.975	213.400	67.763	381.1375
21	1.144	85.800	183.288	58.200	327.2875
22	0.983	73.725	157.300	49.988	281.0125
23	0.844	63.300	135.163	42.900	241.3625
24	0.725	54.375	116.050	36.863	207.2875
25	0.622	46.650	99.688	31.650	177.9875
26	0.534	40.050	85.525	27.188	152.7625
27	0.459	34.425	73.425	23.325	131.175
			63.113	20.025	83.1375
				17.213	17.2125

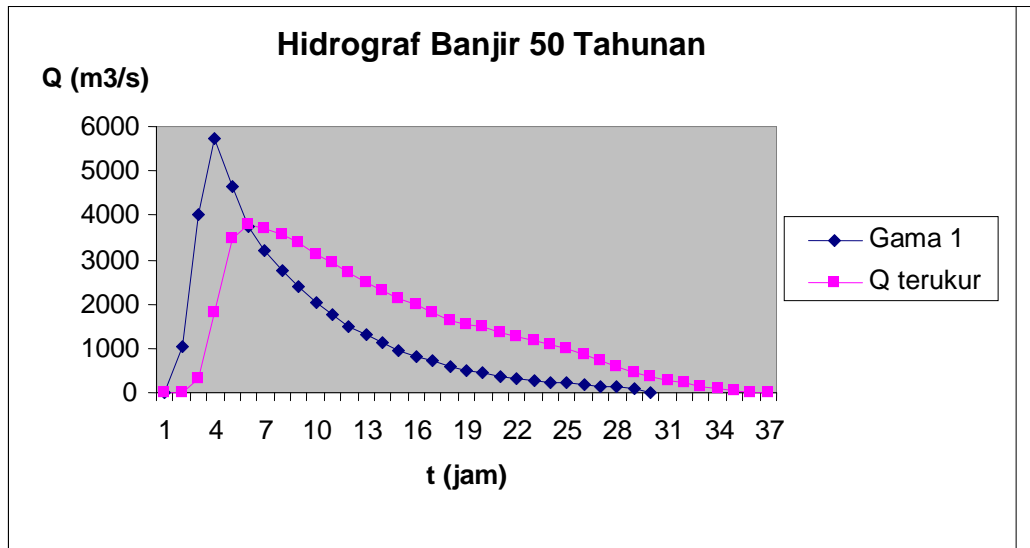
t	HSS GAMA	HS terukur
0	0	0.000
1.06	14.008	4.451
2.11	28.015	15.700
3	17.742	15.194
4	15.236	14.935
5	13.084	14.437
6	11.235	13.718
7	9.648	12.562
8	8.286	11.875
9	7.115	10.780
10	6.11	10.132
11	5.247	9.292
12	4.506	8.479
13	3.87	8.067
14	3.323	7.290
15	2.854	6.533

16	2.45	6.151
17	2.104	5.951
18	1.807	5.579
19	1.552	5.041
20	1.333	4.683
21	1.144	4.330
22	0.983	3.982
23	0.844	3.484
24	0.725	2.997
25	0.622	2.372
26	0.534	1.912
27	0.459	1.465
28		1.165
29		0.872
30		0.583
31		0.300
32		0.149
33		0.000



t	GAMA 1	Q terukur
0	0	0.000
1.06	1050.6	0.000
2.11	4027.225	333.810
3	5708.013	1789.484
4	4632.788	3465.187

5	3741.575	3798.014
6	3213.025	3706.077
7	2759.063	3573.985
8	2369.363	3369.749
9	2034.75	3132.280
10	1747.288	2912.420
11	1500.463	2687.485
12	1288.538	2494.270
13	1106.588	2293.563
14	950.325	2119.434
15	816.0875	1973.969
16	700.7875	1794.867
17	601.7	1633.037
18	516.7	1537.101
19	443.7625	1467.408
20	381.1375	1368.414
21	327.2875	1253.560
22	281.0125	1157.624
23	241.3625	1069.584
24	207.2875	971.195
25	177.9875	853.115
26	152.7625	720.586
27	131.175	581.908
28	83.1375	461.644
29	17.2125	360.466
30		280.524
31		207.269
32		135.359
33		74.268
34		31.692
35		5.575
36		0.000



**Karakteristik DAS**

L= 61                                      SIM= 0.24  
 SF= 0.553                                A= 771.75                      km2      7.7175E-08  
 JN= 379                                    S= 0.0156  
 SN= 0.731                                RUA= 0.3  
 D= 1.433                                 F= 0.787  
 WF= 0.52  
 hujan harian 50 tahunan = 250 mm  
 terdistribusi 30%, 50% dan 15% (=75 mm;137.5 mm dan 37.5 mm)

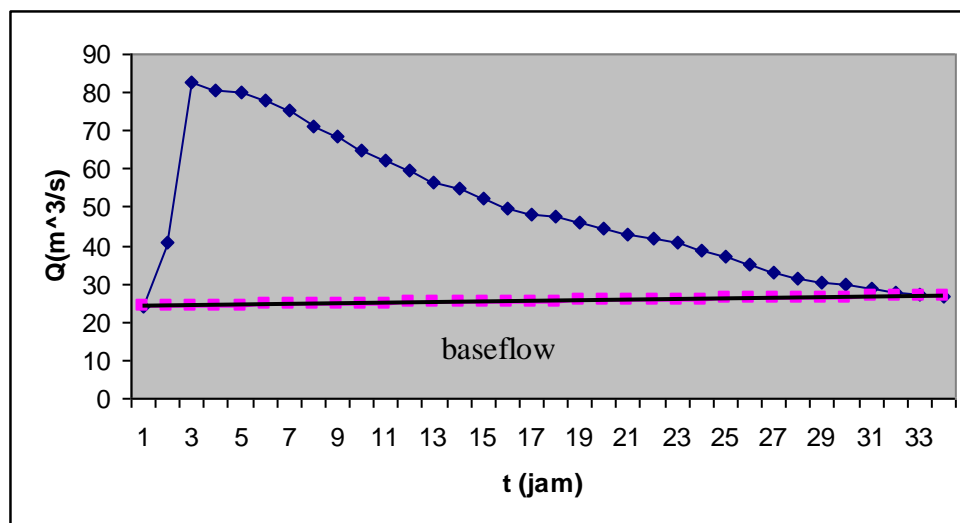
**HS terukur**

t (jam)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow	HLL (m <sup>3</sup> /s)	UH	P1	P2	P3	Q50
1	23.95	23.95	0	0.000	0.000			0.000
2	40.59	24.033	16.557	4.451	333.825	0		333.825
3	82.52	24.116	58.404	15.700	1177.500	612.013		1789.513
4	80.72	24.199	56.521	15.194	1139.550	2158.750	166.913	3465.213
5	79.84	24.282	55.558	14.935	1120.125	2089.175	588.750	3798.050
6	78.07	24.365	53.705	14.437	1082.775	2053.563	569.775	3706.113
7	75.48	24.448	51.032	13.718	1028.850	1985.088	560.063	3574.000
8	71.26	24.531	46.729	12.562	942.150	1886.225	541.388	3369.763
9	68.79	24.614	44.176	11.875	890.625	1727.275	514.425	3132.325
10	64.8	24.697	40.103	10.780	808.500	1632.813	471.075	2912.388
11	62.47	24.78	37.69	10.132	759.900	1482.250	445.313	2687.463
12	59.43	24.863	34.567	9.292	696.900	1393.150	404.250	2494.300
13	56.49	24.946	31.544	8.479	635.925	1277.650	379.950	2293.525
14	55.04	25.029	30.011	8.067	605.025	1165.863	348.450	2119.338
15	52.23	25.112	27.118	7.290	546.750	1109.213	317.963	1973.925
16	49.5	25.195	24.305	6.533	489.975	1002.375	302.513	1794.863
17	48.16	25.278	22.882	6.151	461.325	898.288	273.375	1632.988
18	47.5	25.362	22.138	5.951	446.325	845.763	244.988	1537.075



19	46.2	25.445	20.755	5.579	418.425	818.263	230.663	1467.350
20	44.28	25.528	18.752	5.041	378.075	767.113	223.163	1368.350
21	43.03	25.611	17.419	4.683	351.225	693.138	209.213	1253.575
22	41.8	25.694	16.106	4.330	324.750	643.913	189.038	1157.700
23	40.59	25.777	14.813	3.982	298.650	595.375	175.613	1069.638
24	38.82	25.86	12.96	3.484	261.300	547.525	162.375	971.200
25	37.09	25.943	11.147	2.997	224.775	479.050	149.325	853.150
26	34.85	26.026	8.824	2.372	177.900	412.088	130.650	720.638
27	33.22	26.109	7.111	1.912	143.400	326.150	112.388	581.938
28	31.64	26.192	5.448	1.465	109.875	262.900	88.950	461.725
29	30.61	26.275	4.335	1.165	87.375	201.438	71.700	360.513
30	29.6	26.358	3.242	0.872	65.400	160.188	54.938	280.525
31	28.61	26.441	2.169	0.583	43.725	119.900	43.688	207.313
32	27.64	26.524	1.116	0.300	22.500	80.163	32.700	135.363
33	27.16	26.607	0.553	0.149	11.175	41.250	21.863	74.288
34	26.69	26.69	0	0.000	0.000	20.488	11.250	31.738
						0.000	5.588	5.588
							0.000	0.000

VLL=



PERHITUNGAN HIDROGRAF BANJIR

Waktu (jam)	hujan efektif (mm)	UH (m³/det)	hidrograf banjir (m³/det)			base flow (m³/det)	hidrograf total (m³/det)
			akibat hujan efektif	jam ke-1	jam ke-2		
1	15.8	1.89	29.9			4	33.9
2	3.6	5.87	92.7	6.8		4	103.6
3	13.0	10.43	164.8	21.1	24.6	4	214.5
4		14.45	228.3	37.5	76.3	4	346.2
5		11.28	178.2	52.0	135.6	4	369.8

6		7.04	111.2	40.6	187.9	4	343.7
7		4.39	69.4	25.3	146.6	4	245.3
8		2.74	43.3	15.8	91.5	4	154.6
9		1.72	27.2	9.9	57.1	4	98.1
10		1.07	16.9	6.2	35.6	4	62.7
11		0.62	9.8	3.9	22.4	4	40.0
12		0.42	6.6	2.2	13.9	4	26.8
13			0.0	1.5	8.1	4	13.6
14			0.0		5.5	4	9.5

**Contoh**

Hujan efektif berturut-turut 40,0 dan 10 mm dengan interval aktu 1 jam, menghasilkan hidrograf limpasan langsung sebagai berikut :

Jam ke	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HLL(m <sup>3</sup> /det)	0	111	389	306	264	181	97	28	14	0

Tentukan hidrograf satuannya

Solusi

Jumlah ordinat HS= $m-n+1 = 8-3+1=6$

Misal HS dengan kedalaman 1 mm adalah U1, U2...U6

**Gambar**

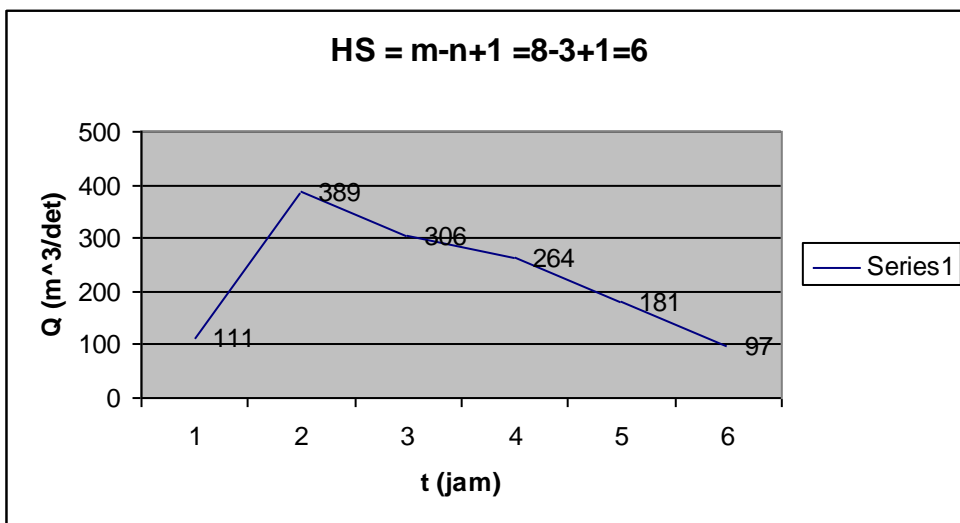
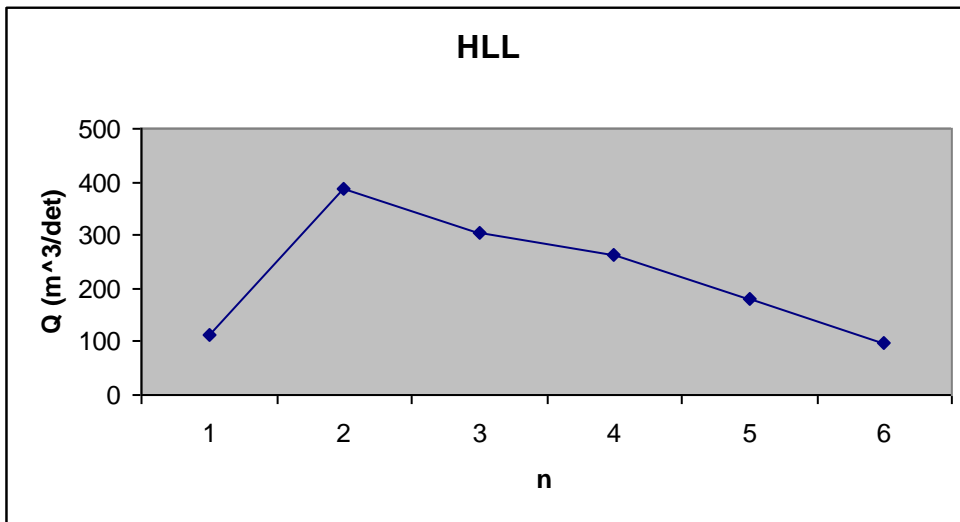
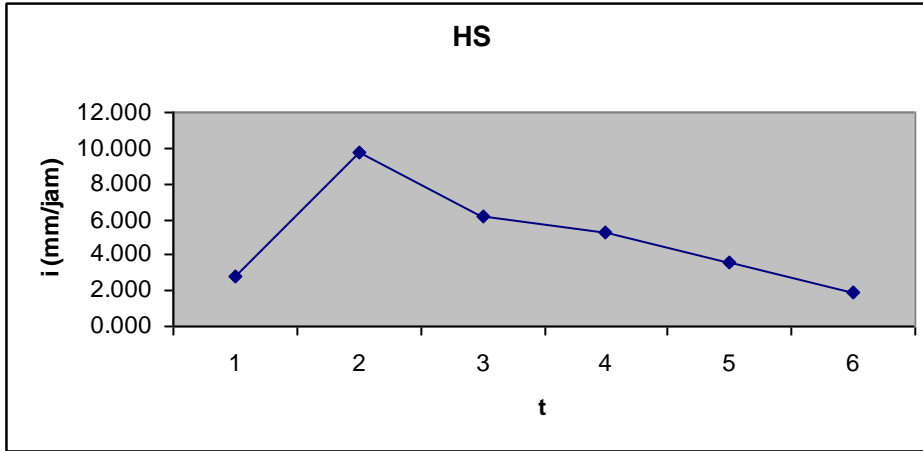
$$R1 = 40 \text{ mm} \rightarrow 40U_1 + 40U_2 + 40U_3 + 40U_4 + 40U_5 + 40U_6$$

$$R2 = 0 \rightarrow - + 0U_1 + 0U_2 + 0U_3 + 0U_4 + 0U_5 + 0U_6$$

$$R3 = 10 \text{ mm} \rightarrow - - + 10U_1 + 10U_2 + 10U_3 + 10U_4$$

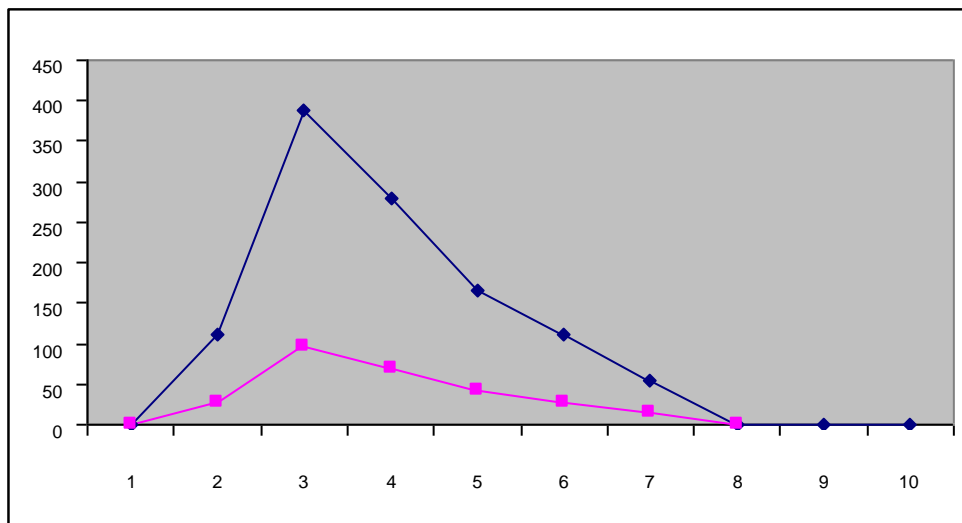
HLL	111	389	306	264	181	97
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>

40U1			111	U1	=	2.775
40U2	0U1		389	U2	=	9.725
40U3	0U2	10U1	306	U3	=	6.120
40U4	0U3	10U2	264	U4	=	5.280
40U5	0U4	10U3	181	U5	=	3.620
40U6	0U5	10U4	97	U6	=	1.940



Jam ke	HLL (m <sup>3</sup> /det)	U40(t,i)	U0(t- 1=i)	U10(t- 2=i)	U1(t-i)	U1(t-2,i)	HS
1	111						
2	389						
3	306						
4	264						
5	181						
6	97						

0	0	0	0	-	0	-	0
1	111	111	0	-	2.775	-	u1
2	389	389	0	0	9.725	0	u20
3	306	278.25	0	27.75	6.956	2.775	u3u1
4	264	166.75	0	97.25	4.169	9.725	u4u2
5	181	111.44	0	69.5625	2.786	6.956	u5u3
6	97	55.31	0	41.6875	1.383	4.169	u6u4
7	28	0.14	0	27.86	0	2.786	0 u5
8	14	0.17	0	13.8275	0	1.383	u6u4
9	0	0	0	0.035	0	0	0



### Problem Set

Dalam sebuah DAS,  $A = 467 \text{ km}^2$  terjadi hujan merata selama 4 jam berturut-turut 4mm, 3mm, 2mm dan 2mm. hujan tersebut menimbulkan banjir sebagai berikut:

jam ke	Q (m <sup>3</sup> /det)	jam ke	Q (m <sup>3</sup> /det)
0	17.9	15	20.9
1	29.7	16	20.3
2	42.5	17	19.9
3	39.6	18	19.4
4	35.6	19	18.8
5	31.8	20	18.4
6	29.0	21	18.2
7	26.3	22	17.9
8	25.5	23	17.7
9	24.4	24	17.3
10	23.8	25	17.0
11	23.1	26	16.6

12	22.5
13	22.1
14	21.7

Tentukan besar dan bentuk hidrograf banjir, untuk hujan efektif sebesar 20 mm dan 10 mm yang terjadi berturut-turut selama 2 jam.

Dalam sebuah DAS,  $A = 467 \text{ km}^2$  terjadi hujan merata selama 4 jam berturut-turut 4mm, 3mm, 2mm dan 2mm.

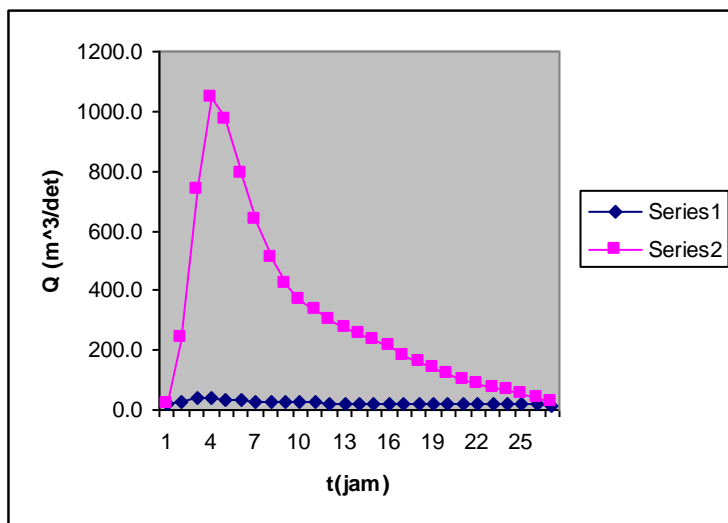
hujan tersebut menimbulkan banjir seperti pada kolom 1 dan 2

Hitung besar dan hidrograf banjir untuk hujan efektif 20 mm dan 10 mm berturut-turut selama 2 jam

$$A = 467 \text{ km}^2 = 467000000 \text{ m}^2$$

t	Q	BSF	HLL	U1.163	U0.163	U1(1.163)	U1(0.163)	HS	Hujan	hidrograf banjir		hidrograf
jam ke	( $\text{m}^3/\text{det}$ )	( $\text{m}^3/\text{det}$ )	( $\text{m}^3/\text{det}$ )					U1	Eff (mm)	jam ke-1	jam ke-2	Tot ( $\text{m}^3/\text{det}$ )
0	17.9	17.90	0.00	0.00	-	0.000	-	0.000	20	0.0	-	17.9
1	29.9	17.85	12.05	12.05	0.000	10.060	0.000	10.060	10	208.2	0.00	238.1
2	42.5	17.80	24.70	22.71	1.990	19.530	10.060	29.590		591.8	104.1	738.4
3	39.6	17.75	21.85	18.67	3.180	16.050	19.530	35.580		711.6	295.9	1047.1
4	35.6	17.70	17.90	15.28	2.620	13.140	16.050	29.190		583.8	355.8	975.2
5	31.8	17.65	14.15	12.01	2.140	10.330	13.140	23.470		469.4	291.9	793.1
6	29.0	17.60	11.40	9.72	1.680	8.360	10.330	18.690		373.8	234.7	637.5
7	26.3	17.55	8.75	7.39	1.360	6.350	8.360	14.710		294.2	186.9	507.4
8	25.5	17.50	8.00	6.96	1.040	5.980	6.350	12.330		246.6	147.1	419.2

9	24.4	17.45	6.95	5.97	0.980	5.130	5.980	11.110		222.2	123.3	369.9
10	23.8	17.40	6.40	5.56	0.840	4.780	5.130	9.910		198.2	111.1	333.1
11	23.1	17.35	5.75	4.97	0.780	4.270	4.780	9.050		181.0	99.1	303.2
12	22.5	17.30	5.20	4.50	0.700	3.870	4.270	8.140		162.8	90.5	275.8
13	22.1	17.25	4.85	4.22	0.630	3.630	3.870	7.500		150.0	81.4	253.5
14	21.7	17.20	4.50	3.91	0.590	3.360	3.630	6.990		139.8	75.0	236.5
15	20.9	17.15	3.75	3.20	0.550	2.750	3.360	6.110		122.2	69.9	213.0
16	20.3	17.10	3.20	2.75	0.450	2.360	2.750	5.110		102.2	61.1	183.6
17	19.9	17.05	2.85	2.46	0.390	2.110	2.360	4.470		89.4	51.1	160.4
18	19.4	17.00	2.40	2.05	0.350	1.760	2.110	3.870		77.4	44.7	141.5
19	18.8	16.95	1.85	1.56	0.290	1.340	1.760	3.100		62.0	38.7	119.5
20	18.4	16.90	1.50	1.28	0.220	1.100	1.340	2.440		48.8	31.0	98.2
21	18.2	16.85	1.35	1.17	0.180	1.010	1.100	2.110		42.2	24.4	84.8
22	17.9	16.80	1.10	0.94	0.160	0.810	1.010	1.820		36.4	21.1	75.4
23	17.7	16.75	0.95	0.82	0.130	0.710	0.810	1.520		30.4	18.2	66.3
24	17.3	16.70	0.60	0.49	0.110	0.420	0.710	1.130		22.6	15.2	55.1
25	17.0	16.65	0.35	0.28	0.070	0.240	0.420	0.660		13.2	11.3	41.5
26	16.6	16.60	0.00	-0.04	0.040	-0.040	0.240	0.200		4.0	6.6	27.2



### PENELUSURAN BANJIR (flood Routing)

Penelusuran banjir adalah suatu prosedur untuk menentukan/ memperkirakan waktu dan besaran banjir disuatu titik sungai berdasarkan data yang diketahui di sungai sebelah hulu (Lawler, 1964)

Penelusuran banjir :

- Penelusuran saluran (channel routing)
- Penelusuran reservoir (reservoir routing)

Manfaat:

1. Untuk menentukan hidrograf sungai disuatu tempat tertentu, bila hidrograf sebelah hulu diketahui
2. Untuk sarana peringatan dini pada pengamanan banjir (early warning system)
3. Untuk dimensioning dan rancangan bangunan hidrolik, seperti: tanggul, tembok penahan, jembatan, spillway, dan lain-lain

Metode:

1. Penelusuran hidrologis (hydrologic routing)
2. Penelusuran hidraulik (hydraulic routing)

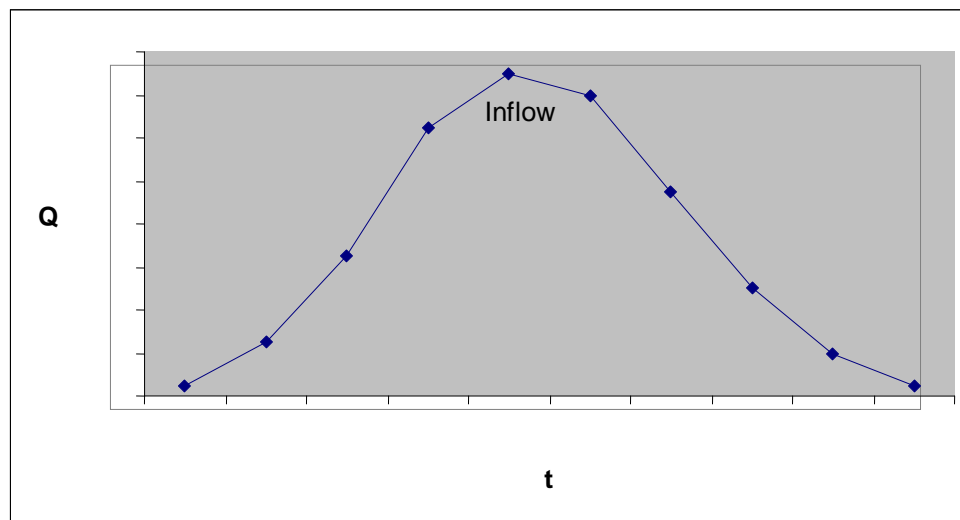
Konsep:

Penelusuran dibatasi pada suatu pangsa sungai (river reach) tertentu atau sungai reservoir

Umumnya penelusuran dilakukan berdasarkan hubungan dua unsur aliran :

- Hubungan antara tinggi muka air dan tampungan
- Hubungan antara debit dan tampungan

Kedua hubungan tersebut diperoleh dari data inflow disebelah hulu dan outflow disebelah hilir pangsa sungainya



Tampungan yang terjadi terdiri dari 2 bagian

- Tampungan prismatic (prism storage)
- Tampungan baji (wedge storage)

**Gambar**

- Tampungan baji (wedge storage)

$$S_w = K \times (I - O)$$

- Tampungan prismatic (prism storage)

$$S_p = K \cdot O$$

Tampungan total :  $S = S_w + S_p$

$$S = KX(I-O) + K \cdot O = K \{XI + (1-X)O\}$$

Secara umum dapat ditulis

$$S = \frac{b}{a} \left[ XI^{m/n} + (I-X) \cdot O^{m/n} \right]$$

Dengan:

$b/a = K =$  tetapan tampungan

$X =$  faktor pembobot untuk inflow dan outflow

$X = O$  untuk penelusuran reservoir

$X = 0,5 \rightarrow$  bobot  $I = 0 \rightarrow$  untuk saluran uniform  $m/n \approx 1$

Persamaan kontinuitas :  $I - O = \Delta S$

Untuk interval waktu  $\Delta t$ :

$$\bar{I} = \frac{I_1 + I_2}{2} \rightarrow \bar{O} = \frac{O_1 + O_2}{2}$$

$$\therefore \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t = S_1 - S_2$$

Dalam metode Muskingum, persamaan tersebut diselesaikan dengan

$$O_2 = C_o I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

dengan

$$C_o = \frac{(\Delta t - 2KX)}{2K(I-X) + \Delta t}$$

$$C_1 = \frac{(\Delta t - 2KX)}{2K(I-X) + \Delta t}$$

$$C_2 = \frac{(2K(1-X) - \Delta t)}{2K(I-X) + \Delta t}$$

Disederhanakan:  $O_2 = O_1 + C_1(I_1 - O_1) + C_2(I_2 - O_2)$

$$\text{Dengan } C_1 = \frac{(\Delta t)}{K(I-X) + 0,5 \cdot \Delta t}$$

$$C_2 = \frac{(0,5 \cdot \Delta t - KX)}{K(I-X) + 0,5 \cdot \Delta t}$$

Pemilihan  $\Delta t$  (routing period) ditetapkan sedemikian sehingga di[eroleh hidrograf yang baik

Bisanya diambil :  $2KX \leq \Delta t \leq K$

Untuk menetapkan nilai  $K$  dan  $X$  dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Tetapkan nilai  $S$  dari data yang ada ( $t, I, O$ )



- b. Coba nilai X sembarang,  $X = 0 - 0,5$
- c. Plot hubungan antara S dengan  $[XI + (1-X).0]$
- d. Coba nilai X dengan harga yang lain, sehingga hubungan di atas (c), merupakan garis lurus
- e. K adalah nilai tangent dari garis tersebut

Penelusuran reservoir

Persamaan diatas masih berlaku dengan  $X = 0$ , sehingga

$$O_2 = C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Dengan :  $I = 0,5 (I_1 + I_2)$

$$C_1 = \Delta t / (K + 0,5 \Delta t)$$

$$C_2 = (K - 0,5 \Delta t) / (K + 0,5 \Delta t)$$

tabel 1. hitungan tampungan

t (jam)	inflow (m3/s)	outflow (m3/s)	I-O (m3/s)	S (m3)	S kum (m3)
0	10	10	0		
3	10	10	0	27000	
6	15	10	5	91800	27000
9	25	13	12	117720	118800
12	30	20.2	9.8	87480	236520
15	32.5	26.1	6.4	35100	324000
18	30	29.9	0.1	-26460	359100
21	25	30	-5	-64800	332640
24	20	27	-7	-79920	267840
27	15	22.8	-7.8	-72360	187920
30	12.5	18.1	-5.6	-55620	115560

- tabel 2. hitungan K dengan X = 0.25

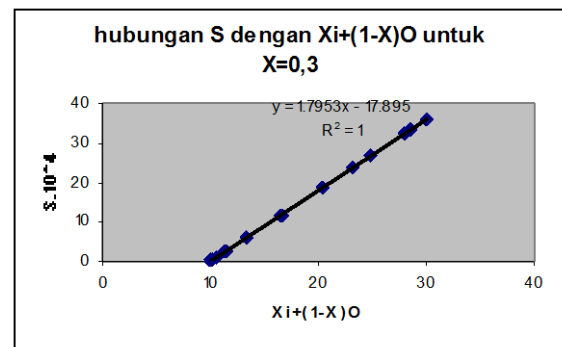
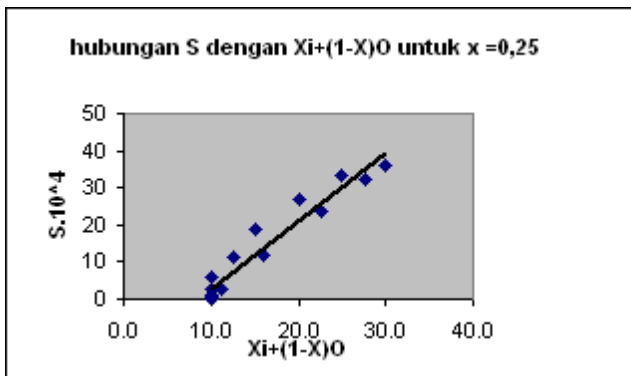
inflow	XI	Outflow	(I-X)O	Xi+(I-X)O	S.10 <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> )
10	2.5	10	7.5	10.0	0
10	2.5	10	7.5	10.0	0
15	3.75	10	7.5	11.25	2.7
25	6.25	13	18.8	16.0	11.88
30	7.5	20.2	22.5	22.65	23.652
32.5	8.125	26.1	24.4	27.70	32.4
30	7.5	29.9	22.5	30.00	35.91
25	6.25	30	18.8	25.00	33.264
20	5	27	15.0	20.00	26.784
15	3.75	22.8	11.3	15.00	18.792
12.5	3.125	18.1	9.4	12.50	11.556
10	2.5	14.7	7.5	10.00	5.994
10	2.5	11.9	7.5	10.00	2.43
10	2.5	10.7	7.5	10.00	1.026
10	2.5	10.3	7.5	10.00	0.486
10	2.5	10.1	7.5	10.00	0.27

Tabel 3. hitungan K dengan X = 0.3

inflow	XI	Outflow	(I-X)O	Xi+(I-X)O	S.10 <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> )
10	3	10	7	10	0
10	3	10	7	10	0
15	4.5	10	10.5	11.5	2.7
25	7.5	13	17.5	16.6	11.88

33	10	14.7	-4.7		59940
				-35640	
36	10	11.9	-1.9		24300
				-14040	
39	10	10.7	-0.7		10260
				-5400	
42	10	10.3	-0.3		4860
				-2160	
45	10	10.1	-0.1		2700

30	9	20.2	21	23.14	23.652
32.5	9.75	26.1	22.8	28.02	32.4
30	9	29.9	21	29.93	35.91
25	7.5	30	17.5	28.5	33.264
20	6	27	14	24.9	26.784
15	4.5	22.8	10.5	20.46	18.792
12.5	3.75	18.1	8.75	16.42	11.556
10	3	14.7	7	13.29	5.994
10	3	11.9	7	11.33	2.43
10	3	10.7	7	10.49	1.026
10	3	10.3	7	10.21	0.486
10	3	10.1	7	10.07	0.27



hidrograf inflow suatu pangsa sungai diberikan pada kolom 1 dan 2 pada tabel  
hitung hidrograf outflow pada pangsa sungai tersebut jika  $K=2,3$  jam,  $x=0.15$  dan  $\Delta t = 1$  jam  
outflow awal adalah  $85m^3/detik$

solusi

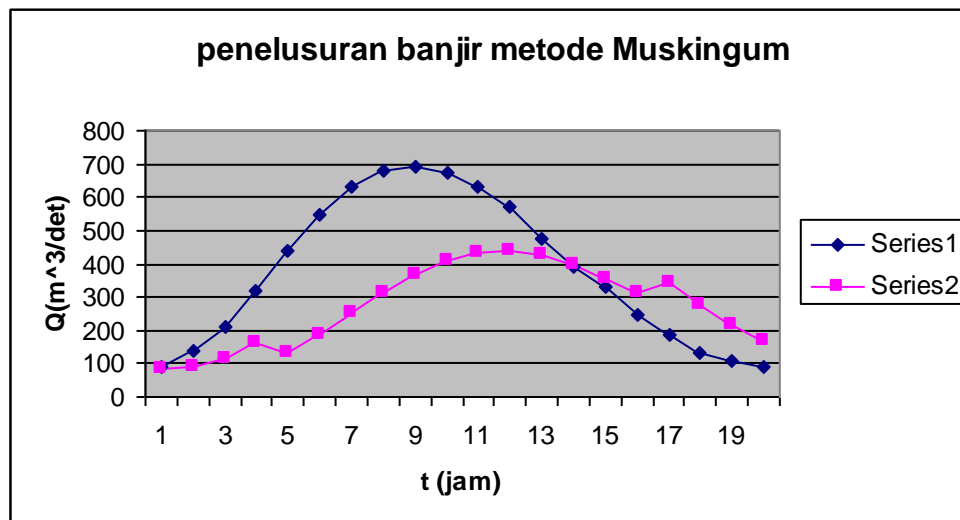
perhitungan koefisien  $C_1$ ,  $C_2$  dan  $C_3$

$\Delta t =$	1 jam	3600 detik
$K =$	2.3 jam	8280 detik
$X =$	0.15	
$C_1 =$	0.063136	check
$C_2 =$	0.344196	$C_1+C_2+C_3=$
$C_3 =$	0.592668	

untuk interval pertama, outflow dihitung menggunakan nilai-nilai untuk I1 dan I2 dari tabel outflow awal  
 $Q_1=85\text{m}^3/\text{detik}$

tabel 1. routing flow dengan metode Muskingum

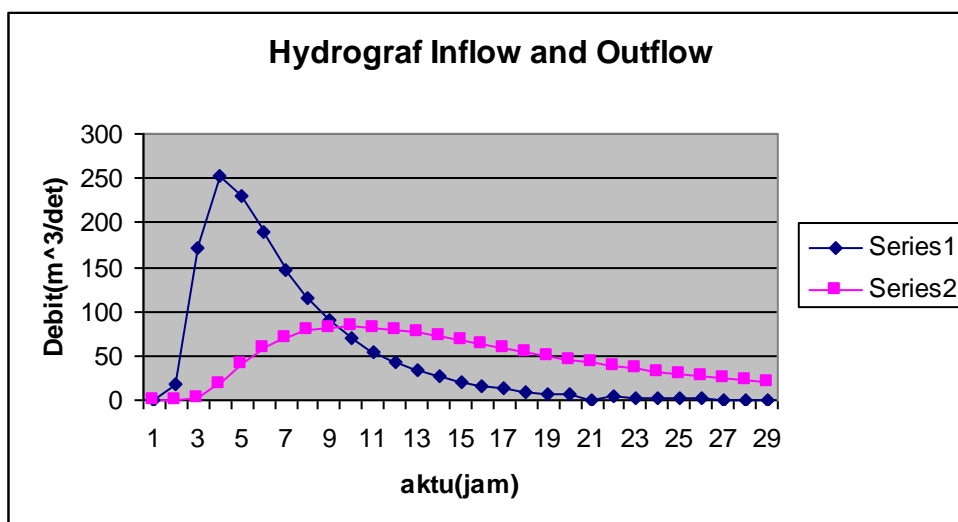
Routing	inflow I	C1 Ij+I	C2Ij	C3Qj	Outflow (Q)
Periode j (jam)	$\text{m}^3/\text{det}$				$\text{m}^3/\text{det}$
1	93				85.000
2	137	8.65018	32.0106	50.37695	91.038
3	208	13.1331	47.1554	53.95533	114.244
4	320	20.2048	71.5936	67.7089	159.507
5	442	27.9079	11.0144	94.53519	133.457
6	546	34.4744	15.2136	137.8474	187.535
7	630	39.7782	18.7933	192.2967	250.868
8	678	42.8089	21.6846	248.9262	313.420
9	691	43.6297	23.3368	301.4208	368.387
10	675	42.6195	23.7842	342.8111	409.215
11	634	40.0308	23.2335	369.3951	432.659
12	571	36.0529	21.8223	380.3524	438.228
13	477	30.1178	19.6538	376.1251	425.897
14	390	24.6246	16.4183	357.2502	398.293
15	329	20.7731	13.4242	323.6323	357.830
16	247	15.5956	11.3242	283.6776	310.597
17	184	11.6178	85.0174	244.4852	341.120
18	134	8.46076	63.3328	202.1718	273.965
19	108	6.81912	46.1228	162.3711	215.313
20	90	5.6826	37.1736	127.6095	170.466



Tabel 2. hitungan penelusuran reservoir

T	Inflow	Inflow	Outflow	$\Delta S$	S	Elevasi	$\Delta H$	Outflow
(jam)	$(\text{m}^3/\text{det})$	$(\text{m}^3/\text{det})$	$(\text{m}^3/\text{det})$	$(\text{m}^3/\text{det})$	(juta $\text{m}^3$ )	(m)	(m)	$(\text{m}^3/\text{det})$

1	0	0	0	-	18.76	10737	0.62	0
2	18.48	66528	0	66528	18.83	107.4	0.65	0
3	171.75	618300	6048	612252	19.44	107.68	0.93	1.68
4	253.75	913500	62257.09	851242.9	20.29	108.05	1.3	17.29
5	230.1	828360	144202.91	684157.1	20.98	108.34	1.59	40.06
6	188.94	680184	209288.53	470895.5	21.45	108.52	1.77	58.14
7	147.74	531864	255124.56	276739.4	21.73	108.63	1.88	70.87
8	115.52	415872	281422.25	134449.8	21.86	108.68	1.93	78.17
9	90.33	325188	294896.1	30291.9	21.89	108.69	1.94	81.92
10	70.63	254268	297623.66	-43355.7	21.85	108.67	1.92	82.67
11	55.22	198792	293956.44	-95164.4	21.75	108.64	1.89	81.65
12	43.18	155448	284697.54	-129250	21.62	108.59	1.84	79.08
13	33.47	120492	272713.45	-152221	21.47	108.53	1.78	75.75
14	26.4	95040	258019.81	-162980	21.31	108.47	1.72	71.67
15	20.64	74304	242723.01	-168419	21.14	108.4	1.65	67.42
16	16.14	58104	226502.02	-168398	20.97	108.33	1.58	62.92
17	12.62	45432	210628.64	-165197	20.81	108.27	1.52	58.51
18	9.87	35532	194732.2	-159200	20.65	108.2	1.45	54.09
19	7.72	27792	179692.89	-151901	20.49	108.14	1.39	49.91
20	6.03	21708	165083.07	-143375	20.35	108.08	1.33	45.86
21	4.72	16992	151521.45	-134529	20.22	108.02	1.27	42.09
22	3.69	13284	138586.15	-125302	20.09	107.97	1.22	38.5
23	2.89	10404	126724.46	-116320	19.97	107.92	1.17	35.2
24	2.26	8136	115542.12	-107406	19.87	107.87	1.12	32.1
25	1.77	6372	105369.11	-98997.1	19.77	107.83	1.08	29.27
26	1.38	4968	95853.37	-90885.4	19.68	107.79	1.04	26.63
27	1	3600	87242	-83642	19.59	107.75	1.02	24.23
28	0.23	828	79204	-78376	19.52	107.71	0.9	22
29	0.01	36	71782.36	-71746.4	19.44	107.68	0.83	19.94



Gambar DAS



## 2. Proses Markov

Menggunakan model auto-regresif tahunan, model yang paling sederhana adalah model Markov-Chain

$$X_i = \tau(X_{i-1}) + (1-\tau)X^* + S.t.(1-\tau^2)^{1/2}$$

Dengan,

$X_i$  = debit tahunan pada tahun ke  $t$

$X_{i-1}$  = debit tahunan pada tahun ke  $t-1$

$t$  = variat acak dari distribusi normal dengan rata-rata ) dan deviasi standar 1

$X^*$  = debit rerata tahunan dari data historik

$\tau$  = koefisien Markov-Chain

Cara I : nilainya berkisar antara 0.20-0.30 umumnya digunakan 0.25

Cara II : dihitung sebagai koefisien korelasi serial lag-1

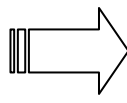
$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)(X_{i+1}) - \frac{1}{1-n} \left( \sum_{i=1}^{n-1} X_i \right) \left( \sum_{i=2}^{n-1} X_i \right)}{\left[ \sum X_i^2 - \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^{n-1} X_i \right)^2 \right]^{0.5} \left[ \left( \sum_{i=1}^{n-1} X_i \right) \left( \sum_{i=2}^{n-1} X_i \right)^2 \right]^{0.5}}$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi

$$\Gamma_1 = \frac{f_1 - \frac{1}{n-1} (f_2)(f_3)}{\sqrt{f_4} \cdot \sqrt{f_5}}$$

Historic Data  
 penelitian debit banjir sungai Andegile - Gorontalo  
 data debit maksimum tahunan ( $m^3/det$ )

No	tahun	Q ( $m^3/det$ )
1	1969	102
2	1970	375
3	1971	265
4	1972	268
5	1973	361
6	1974	326
7	1975	246
8	1976	361
9	1977	371
10	1978	321
11	1979	371
12	1980	403
13	1981	400


 $n = 13.00$   
 $Q' = 320.77$   
 $s = 83.48$

hitungannya annual lag one serial correlation coefficient  $r(1)$   
 $i=1 \text{ s/d } n \quad i=1 \text{ s/d } (n-1) \quad i=2 \text{ s/d } n$

$r(k)$	$i$	$X_i$	$X_i$	$X_i$	$X_i X_{i+k}$	$X_i^2$	$X_i^2$
$r(1)$	1	102	102	0	38250	10404	10404
$k=1$	2	375	375	375	99375	140625	140625
	3	265	265	265	71020	70225	70225
	4	268	268	268	96748	71824	71824
	5	361	361	361	117686	130321	130321
	6	326	326	326	80196	106276	106276
	7	246	246	246	88806	60516	60516
	8	361	361	361	133931	130321	130321
	9	371	371	371	119091	137641	137641
	10	321	321	321	119091	103041	103041
	11	371	371	371	149513	137641	137641
	12	403	403	403	161200	162409	162409
	13	400	0	400	0	160000	0
	jumlah	4170	3770	4068	1274907	1421244	1261244

$f_1 = 1274907$   
 $f_2 = 3770$   
 $f_3 = 4068$   
 $f_4 = 76835.67$   
 $f_5 = 42192$   
 $G_1 = -3123$   
 $G_2 = 56937$   
 $\Gamma_1 = -0.055$



GENERATE DATA

i	$X_{i-1}$	$-0.055X_{i-1}$	t	$83.359t+338.411$	$X_i$
1	320.769	-17.6423	1.916	498.127	480.485
2	480.515	-26.4283	1.101	430.189	403.761
3	403.743	-22.2059	1.247	442.360	420.154
4	420.173	-23.1095	1.53	465.950	442.841
5	442.853	-24.3569	0.046	342.246	317.889
6	317.869	-17.4828	1.885	495.543	478.060
7	478.052	-26.2929	0.122	348.581	322.288
8	322.309	-17.727	1.071	427.688	409.961
9	409.928	-22.546	0.757	401.514	378.968
10	378.938	-20.8416	1.45	459.282	438.440
11	438.478	-24.1163	1.309	447.528	423.412
12	423.434	-23.2889	0.74	400.097	376.808
13	376.821	-20.7252	1.504	463.783	443.058
14	443.022	-24.3662	1.008	422.437	398.071
15	398.057	-21.8931	0.437	374.839	352.946
16	352.953	-19.4124	1.046	425.605	406.192
17	406.164	-22.339	1.83	490.958	468.619
18	468.64	-25.7752	1.272	444.444	418.668
19	418.644	-23.0254	1.868	494.126	471.100
20	471.14	-25.9127	0.752	401.097	375.184
21	375.17	-20.6344	0.13	349.248	328.613
22	328.601	-18.0731	1.698	479.955	461.882
23	461.923	-25.4058	1.344	450.445	425.040
24	425.054	-23.378	1.538	466.617	443.239
25	443.247	-24.3786	0.059	343.329	318.951
26	318.966	-17.5431	1.63	474.286	456.743
27	456.764	-25.122	1.09	429.272	404.150
28	404.128	-22.227	0.724	398.763	376.536
29	376.539	-20.7096	1.237	441.526	420.816
30	420.793	-23.1436	0.204	355.416	332.273
31	332.273	-18.275	0.005	338.828	320.553
32	320.552	-17.6304	1.409	455.864	438.233
33	438.552	-24.1204	1.226	440.609	416.489
34	416.54	-22.9097	0.763	402.014	379.104
35	379.066	-20.8486	1.302	446.944	426.096
36	426.133	-23.4373	1.803	488.707	465.270
37	465.279	-25.5903	0.73	399.263	373.673

Tabel 2. Perhitungan Debit rencana S. Andegile  
Metode Gumbel

Tahun	Q (m <sup>3</sup> /det)	Qi-Qi'	(Qi-Qi') <sup>2</sup>	Periode ulang (T)	Yt	Yn	Sn	QT (m <sup>3</sup> /det)
1969	102	-281.69	79349.97	2	0.3665	0.548	1.16	372.78
1970	375	-8.69	75.54	5	1.4999	0.548	1.16	440.93
1971	265	-118.69	14087.62	10	2.2504	0.548	1.16	486.06
1972	268	-115.69	13384.47	20	2.9702	0.548	1.16	529.34
1973	361	-22.69	514.89	25	3.1985	0.548	1.16	543.07
1974	326	-57.69	3328.28	50	3.9019	0.548	1.16	585.37
1975	246	-137.69	18958.89	100	4.6001	0.548	1.16	627.35
1976	361							
1977	371							
1978	321							
1979	371							
1980	403							
1981	400							
Generated	480.48							
	403.76							
	420.15							
	442.84							
	317.89							
	478.06							
	322.29							
409.96								

378.97		
438.44		
423.41		
376.81		
443.06		
398.07		
352.95		
406.19		
468.62		
418.67		
471.10		
375.18		
328.61		
461.88		
425.04		
443.24		
318.95		
456.74		
404.15		
376.54		
420.82		
332.27		
320.55		
438.23		
416.49		
379.10		
426.10		
465.27		
373.67		
jumlah n :	50	129699.662
Ri' :	383.69	
S :	69.75	

Tabel 1. Perhitungan debit rencana Sungai Andegile Metode Log- Pearson III

Tahun	Q (m <sup>3</sup> /det)	Ln Qi (m <sup>3</sup> /s)	(LnQi- LnQ)	(LnQi-LnQ) <sup>3</sup>	Periode ulang (T)	K	Ln QT (m <sup>3</sup> /s)	QT (m <sup>3</sup> /s)
1969	102	4.6250	-1.3736	-2.591448	2	0.094	6.0212	380.773
1970	375	5.9269	-0.0716	-0.000367	5	0.856	6.2051	459.573
1971	265	5.5797	-0.4188	-0.073456	10	1.205	6.2893	500.937
1972	268	5.5910	-0.4075	-0.067691	20	1.541	6.3704	544.385
1973	361	5.8889	-0.1097	-0.001318	25	1.74	6.4184	571.813
1974	326	5.7869	-0.2116	-0.009479	50	1.907	6.4587	595.908
1975	246	5.5053	-0.4932	-0.119970	100	2.051	6.4935	617.389

1976	361	5.8889	-0.1097	-0.001318
1977	371	5.9162	-0.0823	-0.000558
1978	321	5.7714	-0.2271	-0.011711
1979	371	5.9162	-0.0823	-0.000558
1980	403	5.9989	0.0004	0.000000
1981	400	5.9915	-0.0071	0.000000
Generated	400	5.9915	-0.0071	0.000000
	480.48	6.1748	0.1763	0.005476
	403.76	6.0008	0.0023	0.000000
	420.15	6.0406	0.0421	0.000075
	442.84	6.0932	0.0947	0.000849
	317.89	5.7617	-0.2368	-0.013284
	478.06	6.1697	0.1712	0.005018
	322.29	5.7754	-0.2231	-0.011103
	409.96	6.0161	0.0175	0.000005
	378.97	5.9375	-0.0611	-0.000228
	438.44	6.0832	0.0847	0.000607
	423.41	6.0483	0.0498	0.000124
	376.81	5.9317	-0.0668	-0.000298
	443.06	6.0937	0.0952	0.000862
	398.07	5.9866	-0.0119	-0.000002
	352.95	5.8663	-0.1322	-0.002311
	406.19	6.0068	0.0083	0.000001
	468.62	6.1498	0.1513	0.003461
	418.67	6.0371	0.0385	0.000057
	471.10	6.1551	0.1565	0.003836
	375.18	5.9274	-0.0711	-0.000360
	328.61	5.7949	-0.2037	-0.008446
	461.88	6.1353	0.1368	0.002559
	425.04	6.0522	0.0537	0.000154
	443.24	6.0941	0.0956	0.000873
	318.95	5.7650	-0.2335	-0.012730
	456.74	6.1241	0.1256	0.001981
	404.15	6.0018	0.0033	0.000000
	376.54	5.9310	-0.0675	-0.000308
	420.82	6.0422	0.0437	0.000083
	332.27	5.8060	-0.1926	-0.007142
	320.55	5.7700	-0.2285	-0.011928
	438.23	6.0828	0.0842	0.000597
416.49	6.0319	0.0333	0.000037	
379.10	5.9378	-0.0607	-0.000224	
426.10	6.0547	0.0561	0.000177	
465.27	6.1426	0.1441	0.002991	
	373.67	5.9234	-0.0752	-0.000424
	Jumlah	221.9457		-2.916840
	Rata - rata :	5.9985		
	Sx :	0.241		
	Cs :	-3.380		

## Membangkitkan Data Sintetik (Synthetic Data Generating)

Masalah : kekurangan data

Tujuan:

- Untuk memperoleh data deret berkala buatan (artificially generating time series) atau data sintetik yang berasal dari data historis
- Untuk memperpanjang rekaman data sehingga mempunyai beberapa alternative dalam hal analisis teknis maupun ekonomis dari suatu proyek sumber daya air

Berbeda dengan data simulasi yaitu data keluaran perhitungan model

Deret berkala mengandung: trend, periodic dan stolistik

Komponen trend dan periodic bersifat pasti (deterministic) dan tidak tergantung waktu sedangkan komponen stokastik bersifat stasioner dan tergantung waktu, artinya sifat statistic dari sampel tidak berbeda dari sifat populasinya.

Metode stokastik dapat membangkitkan data berkala tahunan atau bulanan, metode yang digunakan adalah penggunaan table bilangan acak dan proses Markov

### 1. Table bilangan acak

Digunakan table bilangan acak dengan memilih bilangan secara sembarang, banyaknya bilangan acak yang diambil tergantung dari jumlah nilai deret berkala buatan yang akan dibangkitkan. Bentuk persamaannya

$$X = \bar{X} \pm S \cdot k$$

Dengan X debit yang dibangkitkan,  $\bar{X}$  debit rerata dari data historis dan k wilayah luas di bawah kurva normal. K dihitung dengan mencari nilai acak dari table secara sembarang, kemudian dicari nilai peluang, misal nilai acak dari table 3291 maka peluang  $1 - 0,3291 = 0,6709$  maka nilai ini dicari di table wilayah luas dibawah kurva normal diperoleh +0,44. Dengan cara ini perkiraan debit banjir hanya disarankan sampai periode ulang sebesar 2 kali lama ketersediaan data (data historis).