

PENDAHULUAN

Pengertian :

Hidrologi : ilmu tentang seluk beluk air di bumi, kejadiannya, peredaran, dan distribusinya, sifat alam dan sifat kimianya, serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan manusia.

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

Dalam praktek :



Perencanaan (Planning) : Pre feasibility study (sifat DAS, ketersediaan, banjir, dll)
Feasibility study (sifat DAS, ketersediaan, banjir, dll)

Perancangan (Design) : Pedoman/kriteria (patokan/besaran rancangan)

Operasional & Pemeliharaan : Aturan operasi, model optimasi dan pedoman O & P (Q, H, MA, E dll)

Keterkaitan faktor lain :



Bangunan Ketekniksipilan

Struktur & Konst.

- ❖ Drainase
- ❖ Sanitasi

Transportasi

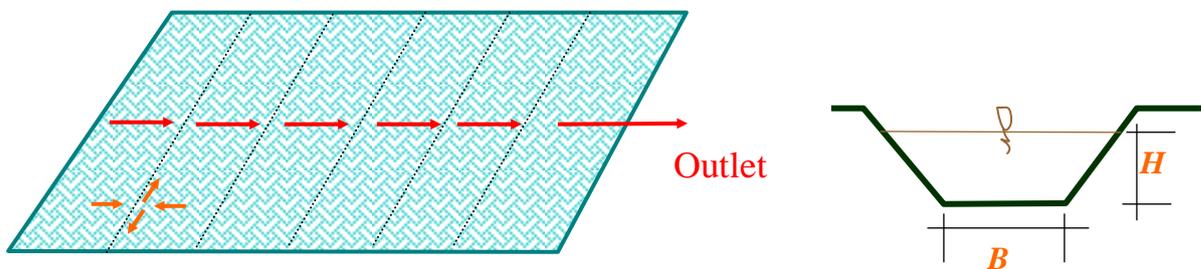
- ❖ Drainase
Jalan, Pel. Udara,
Perkotaan
- ❖ Pek. Hidraulika

Hidro/Bangunan Air

- ❖ Sungai
- ❖ Irigasi
- ❖ Bendung
- ❖ Waduk
- ❖ Pengendalian
Banjir
- ❖ Drainase
- ❖ Sanitasi
- ❖ Pantai
- dll

Apakah peranan ilmu Hidrologi di 3 bidang ketekniksipilan tersebut pada pembangunan ?

1. Drainase kawasan perumahan/pemukiman

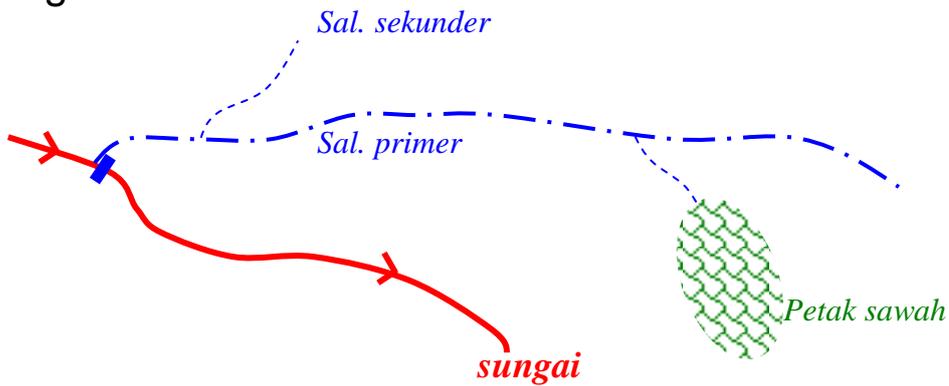


B dan H yang optimal = ?

Dimensi sal. drainase → Besar → boros → aman

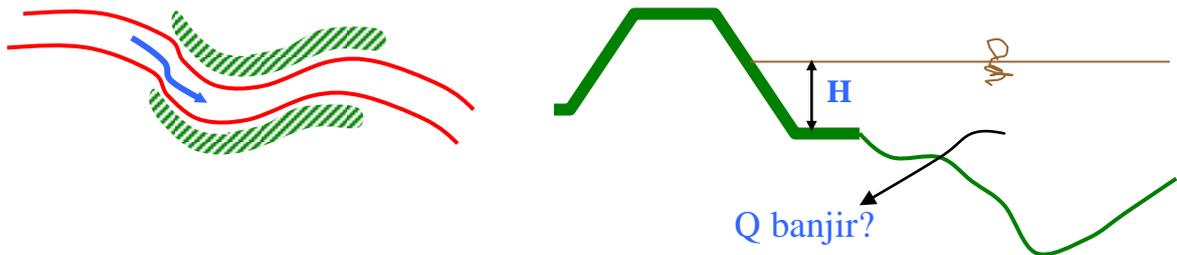
Kecil → ekonomis → resiko tinggi

2. Irigasi



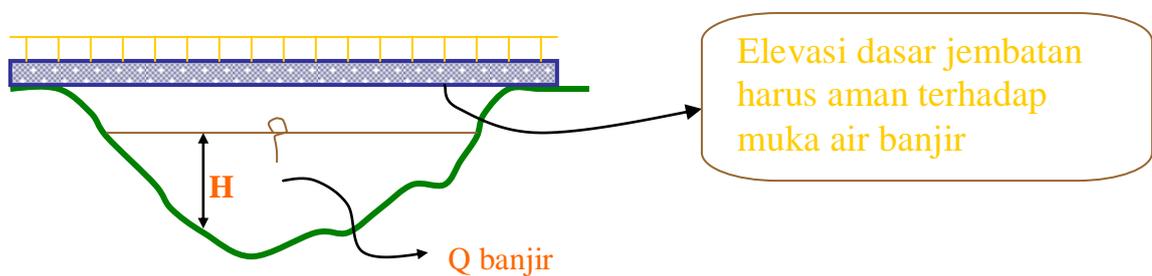
Persoalan : Q pengambilan berapa ? (sesuai yang dibutuhkan)
Kebutuhan Air tanaman ?

3. Tanggul banjir



H berapa agar desain optimal ?

4. Jembatan



Berapa elevasi muka air banjir (H) ?
Berapa debit banjir ?
Banjir yang mana sebagai dasar perencanaan ?

Hidrologi di Indonesia

Tahun 1960 : Hidrologi masih menjadi bagian dari ilmu lain: irigasi, BTA.

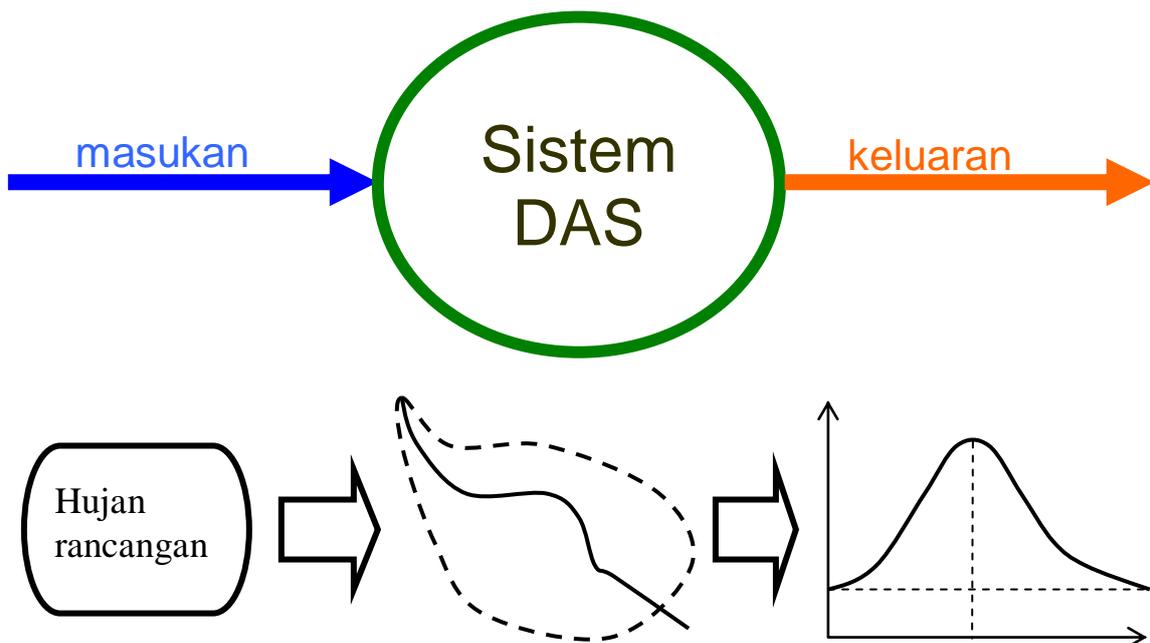
Tahun 1970 : Pertemuan-pertemuan ilmiah → HATHI

- Sifat, karakteristik Hidrologi di Indonesia yang khas/spesifik perlu dipelajari dan dipahami dengan berbagai studi.
- Pendalaman pengetahuan dan perkembangan ilmu hidrologi (secara internasional).

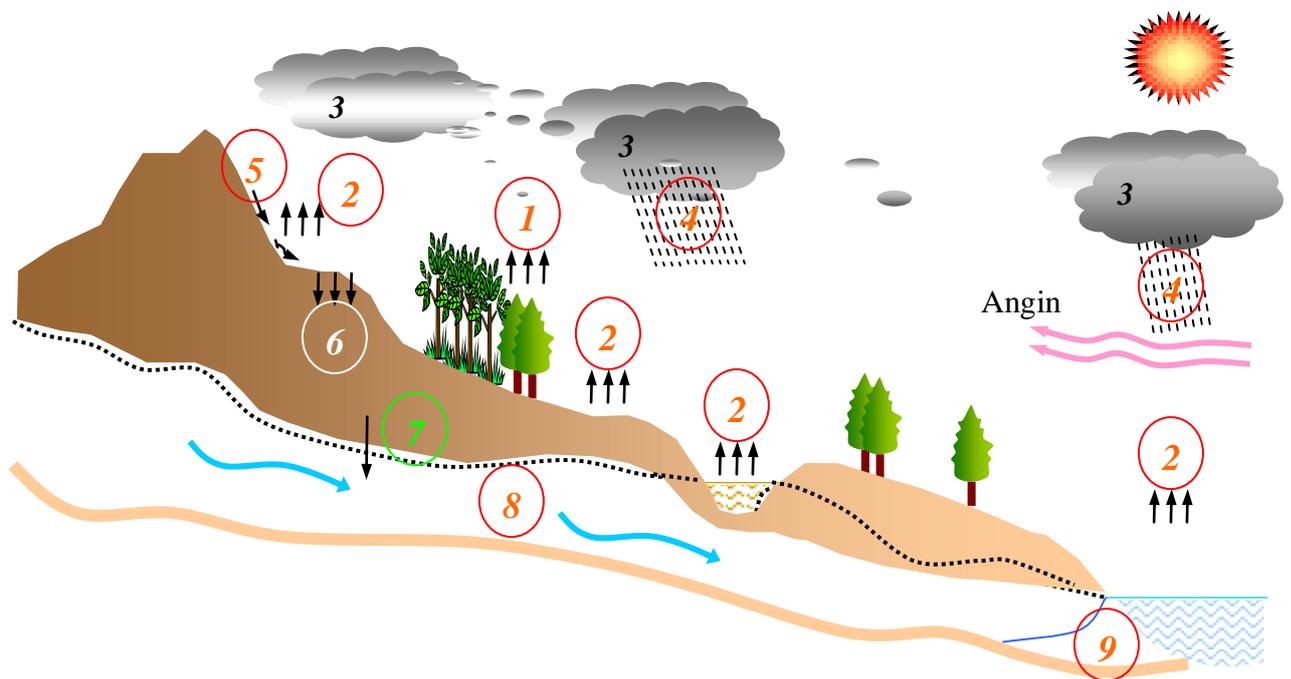
Kelemahan umum Hidrologi di Indonesia :

- Kualitas data rendah
- Sulit memperoleh data
- Master plan daerah yang tidak selalu diketahui sebelumnya, yang mengakibatkan dapat timbulnya konflik pada saat pengembangan di masa datang.

Sistem Hidrologi



Siklus Hidrologi



Komponen siklus (daur) hidrologi :

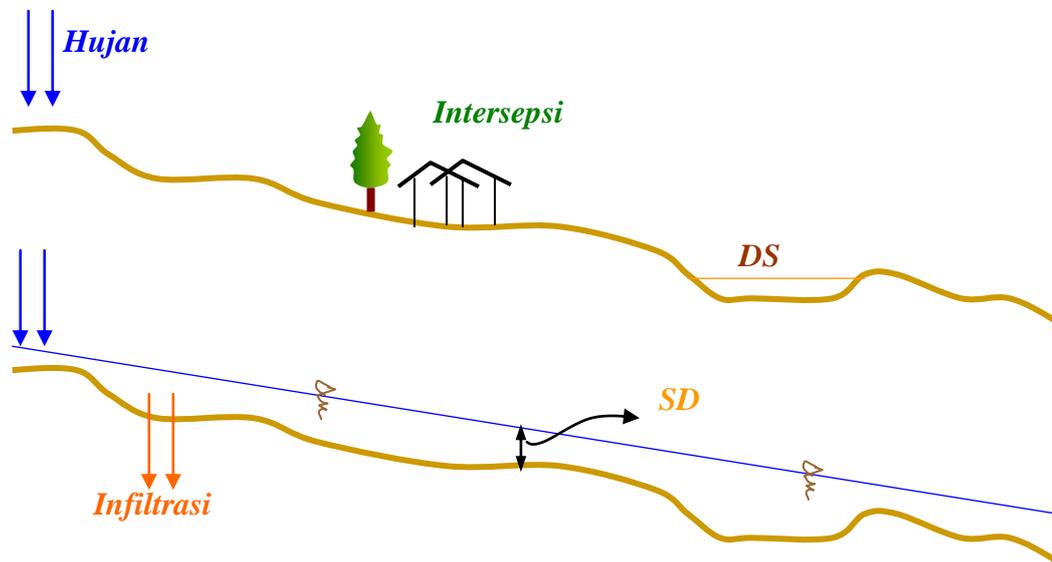
1. Transpirasi (penguapan dari tumbuhan)
2. Evaporasi (penguapan dari tanah, sungai/danau, laut)
3. Mendung (*rain cloud*)
4. Hujan (*precipitation*)
5. Limpasan (*run off*)
6. Infiltrasi (*infiltration*)
7. Perkolasi (*percolation*)
8. Aliran air tanah (*ground water flow*)
9. Intrusi air asin (*salt water intrusion*)

Siklus Limpasan (Run Off)

Istilah-istilah dalam siklus limpasan :

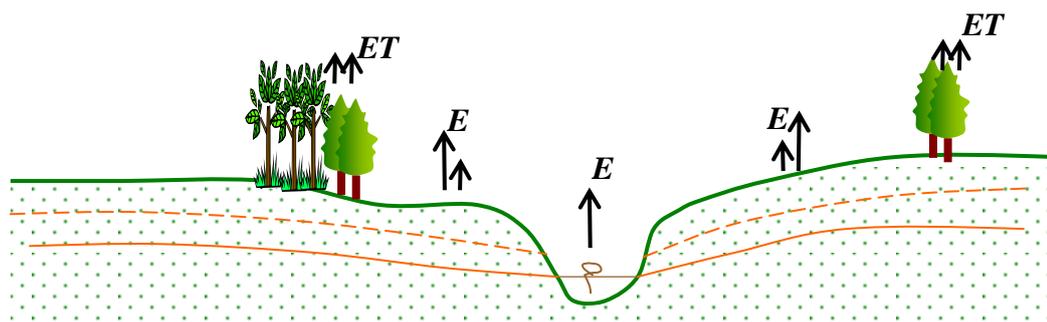
- Interception (intersepsi)
Bagian air hujan yang tertahan oleh tanaman, bangunan dan lain-lain dan diuapkan kembali.
- Depression storage
Tampungan air yang disebabkan oleh kubangan-kubangan, permukaan yang tidak teratur.

- Surface detention
Bagian air hujan yang merupakan tampungan sementara di permukaan tanah.
- Infiltrasi
Bagian air hujan yang masuk/meresap ke dalam tanah.
- Soil moisture
Air yang mengisi pada pori-pori tanah
- Field capacity
Jumlah air yang dapat tinggal di dalam massa tanah akibat gaya berat.



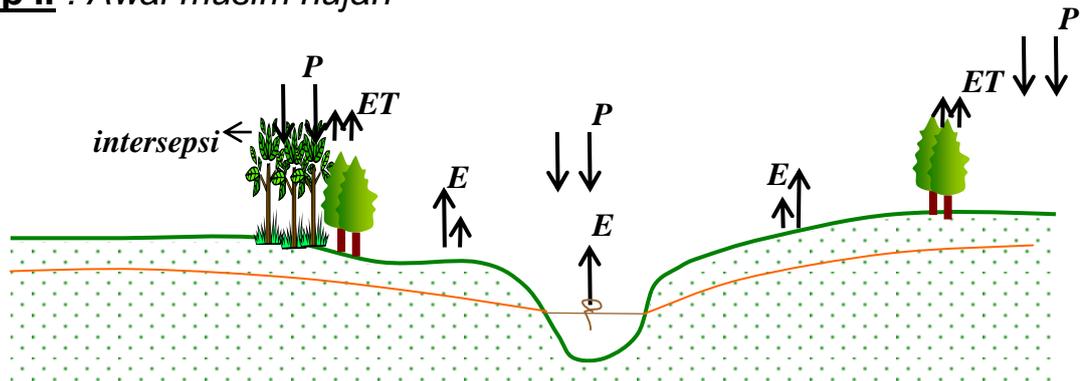
Siklus Limpasan (Run Off Cycle) (Hoyt)

Tahap I : Akhir musim kemarau



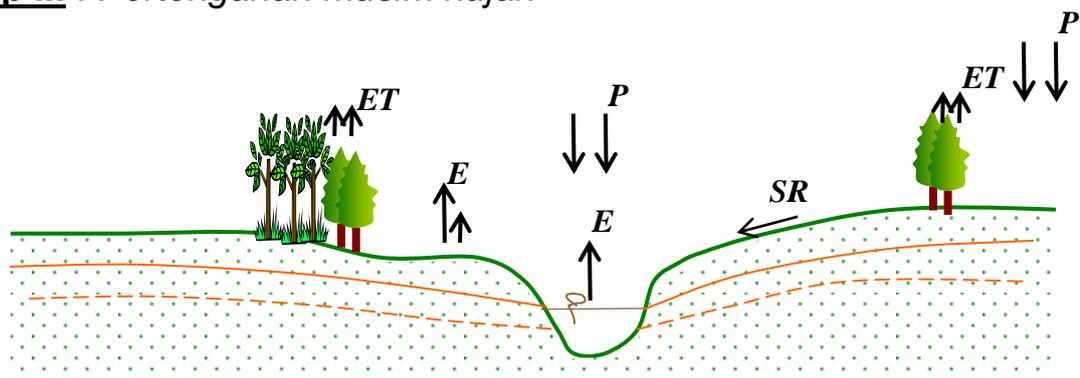
Proses
 Penguapan : E & ET
 Aliran dari : aliran dasar (base flow) dari aliran air tanah
 pengaliran dari akuifer, tidak ada aliran permukaan
 Kelembaban tanah berkurang
 Q kecil

Tahap II : *Awal musim hujan*



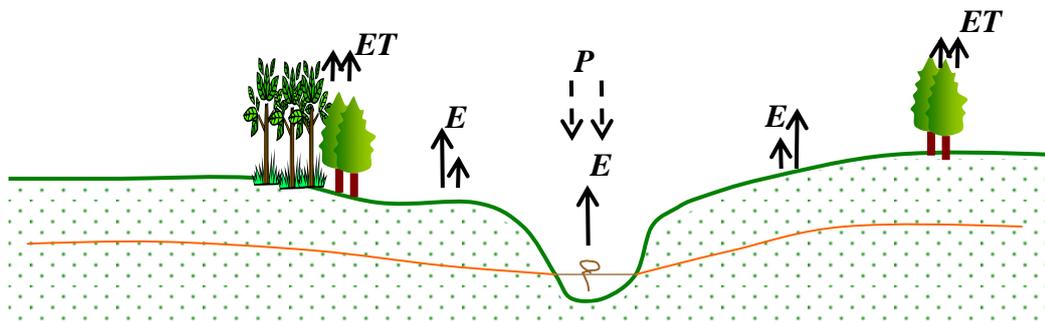
Proses
 Hujan masih sedikit (depression storage)
 Intersepsi, infiltrasi, field capacity
 Aliran dasar tetap
 Q kecil

Tahap III : *Pertengahan musim hujan*



Intersepsi maksimum
 Field capacity terlampaui → perkolasi
 Pengisian akuifer → aliran dasar naik
 Limpasan permukaan → aliran permukaan (over land flow)
 Q besar

Tahap IV : Musim kemarau



- Proses
Penguapan : E & ET
Aliran dari : aliran dasar (base flow) kecil
Pengaturan/pengosongan akuifer
tidak ada aliran permukaan
Kelembaban tanah bertambah akibat E tinggi
Hujan kecil (intersepsi dan menguap kembali)
Q kecil

Persamaan Dasar :

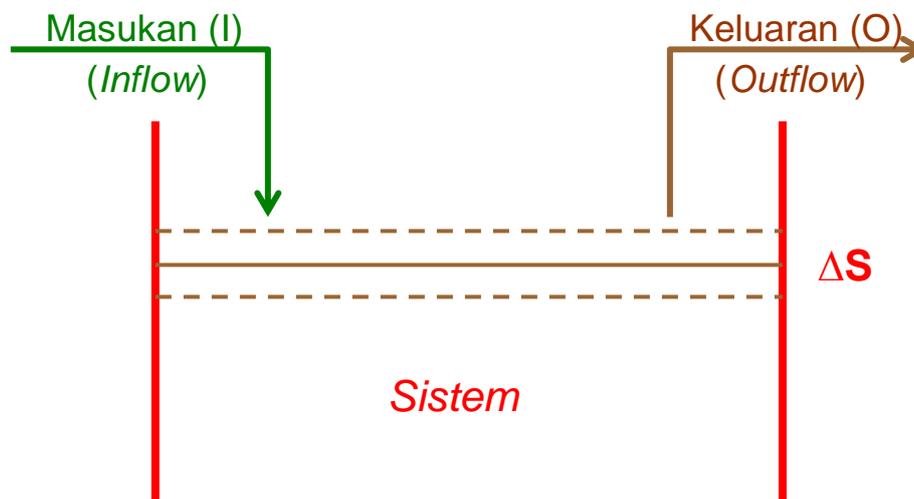
$$I = O \pm \Delta S \text{ (rumus keseimbangan air)}$$

dengan :

I = masukan (inflow)

O = keluaran (outflow)

ΔS = perubahan tampungan (storage change)



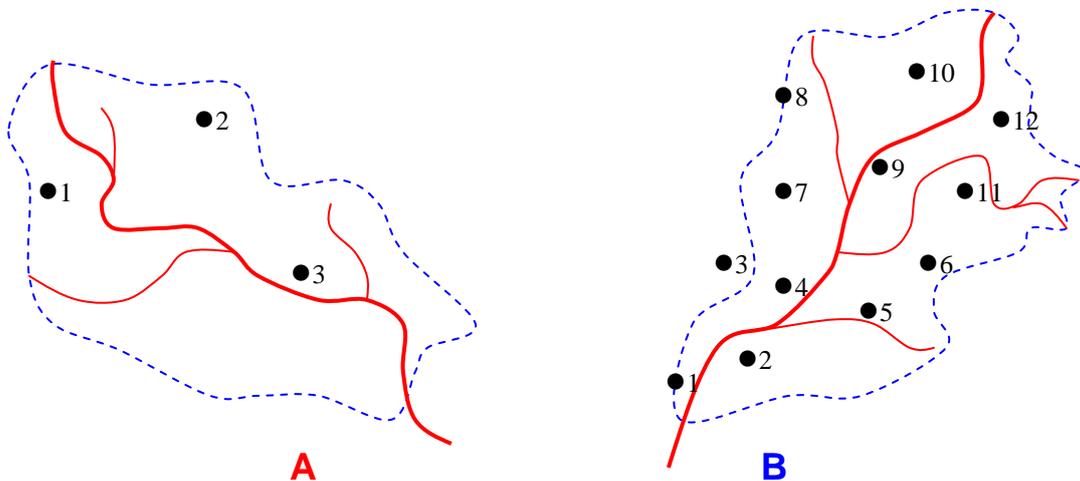
Jaringan Pengamatan Hidrologi

Pengertian :

Jaringan adalah satu sistem yang terorganisasi untuk mengumpulkan data (hidrologi) secara optimum untuk berbagai kepentingan

Dibutuhkan :

- Kerapatan jaringan yang optimum
- Perolehan informasi maksimum
- Ketelitian yang cukup



Kasus A → cukup teliti tidak ?
→ seberapa tingkat ketelitian ?

Kasus B → untuk optimasi, berapa stasiun yang dapat dipakai ?
→ stasiun yang cukup representatif yang mana saja ?

Sistem jaringan pengamatan hidrologi :

- Jumlah stasiun cukup
- Penyebaran (tempat) memadai
- Kerapatan cukup (ekonomis) → instalasi, operasi & pemeliharaan
- Representatif (variabilitas data DAS dapat teramati dengan baik)
- Perencanaan di dasarkan atas ketelitian yang dikehendaki

Kriteria jaringan optimal :

- Teknik : Ketelitian yang dicapai
Parameter dasar (koefisien korelasi)
Kerapatan jaringan (N/km²) ditentukan oleh *standard error estimate*
Variabilitas ruang DAS
- Ekonomis : Antara peroleh data/informasi dan biaya seimbang

Beberapa pertimbangan dalam pemasangan stasiun pengamatan :

- Faktor hidraulik
Untuk jaringan hidrometri, misalnya :
 - a. dekat dengan inflow dari anak sungai penting
 - b. dekat dengan percabangan sungai
 - c. di hulu dan di hilir bangunan (bendung)
 - d. di lokasi proyek yang akan dilaksanakan
- Faktor politik, misalnya daerah perbatasan administrasi
- Faktor sosio-ekonomi dan psikologik, misalnya perhatian terhadap aspirasi daerah.

Pertimbangan lain dalam penetapan jaringan hidrologi :

- Rencana pengembangan sumber daya air
- Tujuan pemakaiannya di kemudian hari, baik untuk tujuan operasional maupun perencanaan
- Kebijakan pengembangan yang akan datang
- Penelitian-penelitian mendatang yang akan dilaksanakan

Komponen biaya yang perlu diperhatikan, antara lain:

- Biaya pengadaan dan pemasangan alat
- Gaji operator
- Biaya operasi dan pemeliharaan
- Biaya penulisan, penyimpanan dan penerbitan data

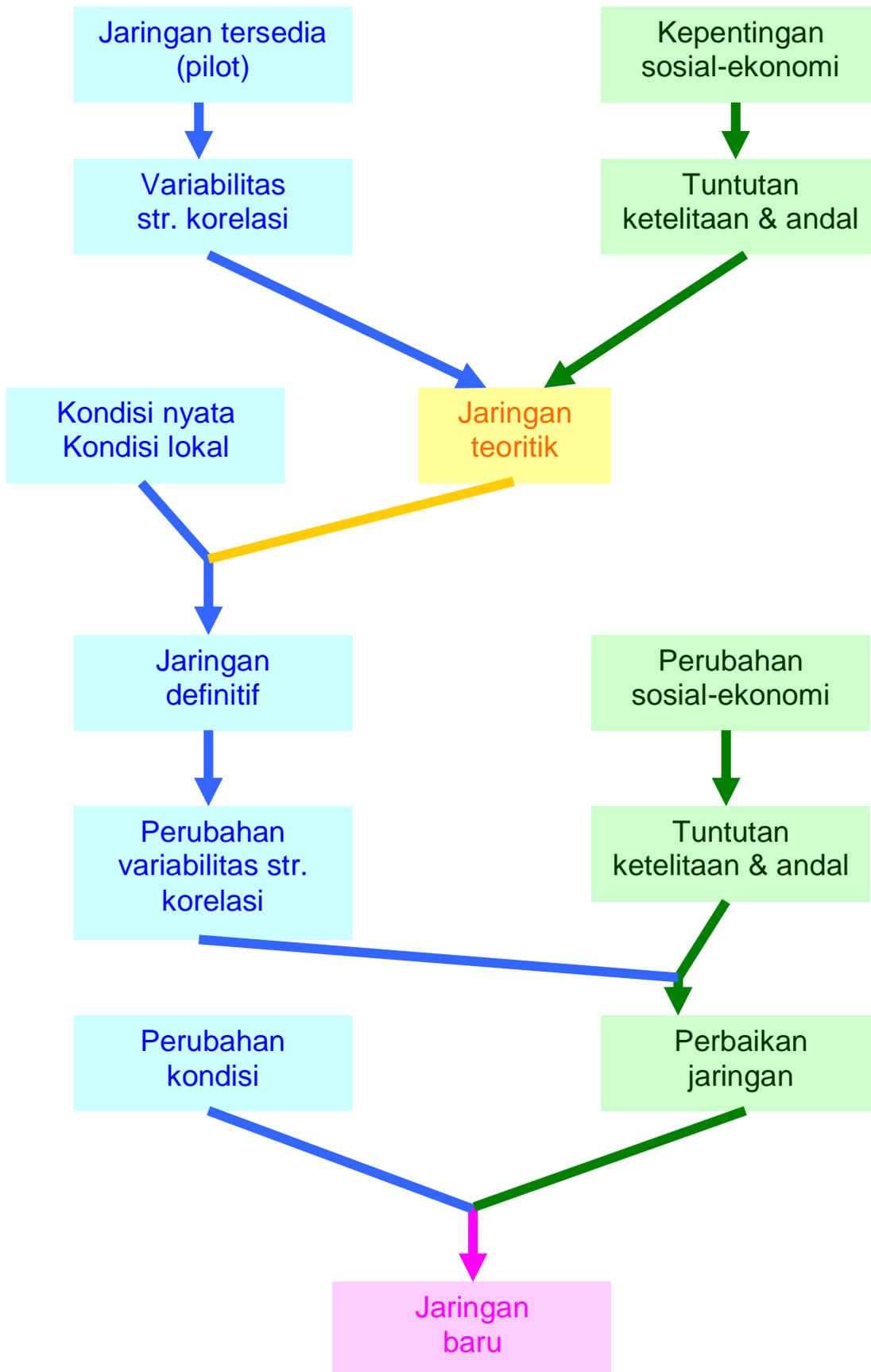


Diagram perencanaan jaringan (Made, 1987)

Jenis dan luas daerah untuk penentuan jaringan hidrologi

Jenis daerah	Luas dalam Km ² per 1 Stasiun		
	Hujan	Penguapan	Hidrometri
Daerah datar di iklim sedang, mediteran dan tropis	600 – 800	50.000	1000 – 2000 (pengukuran sedimen pada 15% dari jumlah sta.
Daerah pegunungan di iklim sedang, mediteran, tropis.	100 – 250	50.000	300 – 1000
Pulau kecil yang bergunung dan hujan tida merata	25		140 – 300 (pengukuran sedimen pada 15% dari jumlah sta.
Daerah kering	30.000	1500 – 10.000	5000 – 20.000 (pengukuran sedimen pada 10% dari jumlah sta.

Guide to Hydrometeorological Practices (WMO)

• Jaringan Pengukuran Hujan

Dasar penetapan stasiun :

- kedalaman hujan pada suatu titik tertentu dengan mudah dapat diperoleh,
- luasan berlakunya kedalaman hujan itu tidak dapat diketahui secara pasti,
- perubahan sesuai waktu dan ruang.

Jenis jaringan stasiun :

1. Jaringan pengamatan hujan primer (*primery network*)
 - Dipasang dalam jangka waktu yang lama
 - Diamati secara teratur
 - Pemilihan tempat yang seksama
2. Jaringan pengamatan hujan sekunder (*secondary network*)
 - Lebih mendapatkan variasi ruang (*spatial variation*)
 - Dapat dipindahkan
3. Stasiun hujan istimewa proyek
Untuk keperluan proyek
Penelitian dan penyelidikan

Faktor-faktor yang berpengaruh :

- Sifat hujan
- Ketersediaan tenaga pengamat yang baik
- Dioperasikan sendiri atau berhubungan dengan jaringan lain
- Kemampuan keuangan pengelola

Faktor-faktor teknis :

- Bagaimana pengukuran akan dilaksanakan
- Berapa tempat yang akan diukur
- Di mana tempat yang diukur
- Jaringan tetap atau sementara

Langkah-langkah pemilihan stasiun hujan yang mewakili :

- a. Hitung hujan rata-rata tahunan (Arithmetic mean, Thiessen polygon, Isohyet)
- b. Hitung hujan rata-rata keseluruhan stasiun (jumlah stasiun yang ada)

$$\bar{X}_I = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

- c. Hitung hujan rata-rata yang dipilih

$$\bar{X}_{II} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

- d. Cari prosentase perbedaannya

$$\frac{(\bar{X}_{II} - \bar{X}_I)}{\bar{X}_{II}} \times 100\% = Y\%$$

Contoh perhitungan :

Kondisi awal 8 stasiun hujan, dibandingkan dengan kondisi setelah dikurangi menjadi 4 stasiun hujan.

1. Bangkir	= X_1	= 1789
2. Dumiat	= X_2	= 1948
3. Bangodua	= X_3	= 1682
4. Jatitujuh	= X_4	= 1980
5. Jatiwangi	= X_5	= 2433
6. Conggeang	= X_6	= 2078
7. Kadipaten	= X_7	= 2682
8. Tomo	= X_8	= 2295
Jumlah	=	16887
Rata-rata	=	16887 : 8 = 2111 mm

1. Bangkir	= X_1	= 1789
2. Jatitujuh	= X_2	= 1980
3. Conggeang	= X_3	= 2078
4. Kadipaten	= X_4	= 2682
Jumlah	=	8529
Rata-rata	=	8529 : 4 = 2132 mm

Perbedaan :

$$2132 - 2111 = 21$$

$$\frac{21}{2132} \times 100\% = 0,98\% \Rightarrow 0,98\% < 6\% \Rightarrow \text{OK}$$

• Jaringan Pengukuran Hidrometri

Pertimbangan umum penempatan stasiun hidrometri :

- Lokasi perubahan drastis landai sungai
- Pertemuan sungai
- Pengambilan air
- Masuknya air danau
- Tempat pengembangan

Pertimbangan khusus penempatan stasiun hidrometri

- Di bagian sungai yang lurus
- Di tempat dengan arus sejajar
- Penampang sungai yang stabil
- Bebas dari pengaruh gelombang balik (back water)
- Di bagian sungai yang cukup peka

Hujan

Proses Kejadian Hujan

Pengukuran Hujan

Jenis alat ukur hujan :

1. Penakar hujan biasa (*manual raingauge*)
2. Pencatat hujan otomatis (*automatic raingauge*)
 - a. Pencatat jungkit (*tipping bucket*)
 - b. Pencatat pelampung (*tipping float*)

Persyaratan dalam penempatan Stasiun hujan :

1. Hindari kecepatan angin yang terlalu besar, dengan memperhatikan :
 - a. Lokasi yang berada pada kecepatan angin kecil
 - b. Mengatur Aliran angin yang melewati corong
 - c. Standar pemasangan
2. Jarak rintangan tidak boleh kurang dari 4X tinggi rintangan terdekat
3. Hindari penempatan pada lereng
4. Disekitar lokasi ditanami rumput atau kerikil
5. Dipasang tirai (*windshield*)

Cara pengukuran :

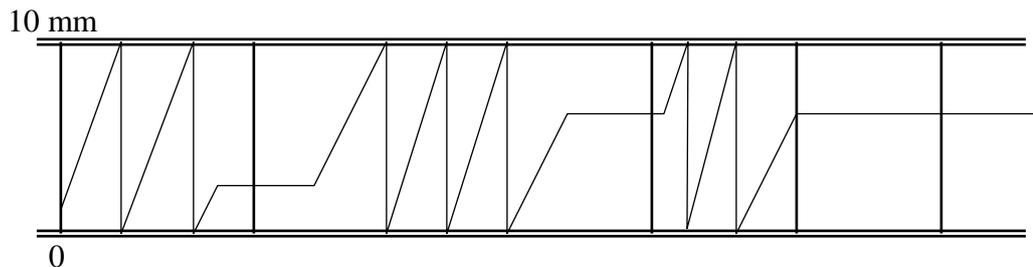
1. Penakar hujan biasa :
 - a. Dilakukan pengamatan secara teratur setiap hari (24 jam), dan pada jam pengamatan yang sama (jam 9 pagi).
 - b. Data yang diperoleh dalam bentuk harian.
 - c. Air hujan terkumpul dalam gelas ukur (dalam 24 jam)
 - d. Dihitung : $d = V/A$, dengan V = volume air hujan, A luas permukaan corong.
2. Pencatat hujan otomatis
 - a. Pencatat jungkit (*tipping bucket*)

Alat ukur tipe jungkit ini dibagi dalam 2 ruangan yang diatur sedemikian rupa, apabila satu terisi kemudian menjungkit dan menjadi kosong. Hal ini menyebabkan ruangan yang satunya berada pada posisi yang akan diisi oleh corong. Setiap jungkit menunjukkan suatu tinggi hujan (d), kemudian tercatat secara otomatis dan bertahap.
 - b. Pencatat pelampung (*tipping float*)

Proses pencatatan curah hujan yang masuk dalam alat pencatatan tipe pelampung adalah: (1) curah hujan yang tertangkap tertumpah ke dalam pelampung, (2) pelampung

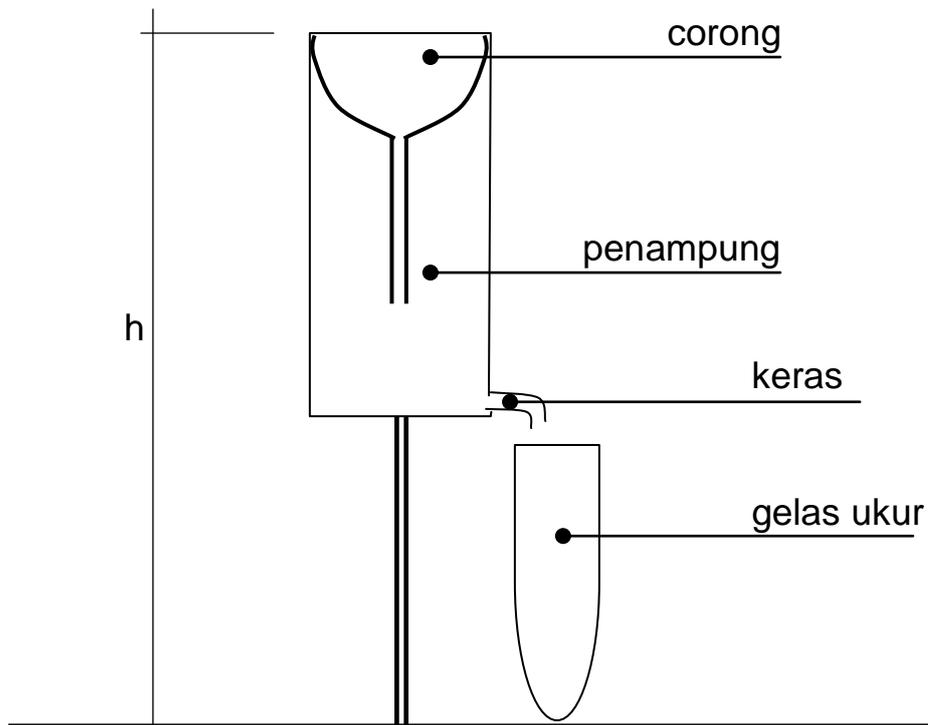
akan terangkat, (3) pelampung dihubungkan dengan alat pencatat grafis, dan (4) apabila pencatatan mencapai (d) = 10 mm, air dalam pelampung akan tersedot keluar yang mengakibatkan alat penulis turun ke posisi nol (Soemarto, 1995).

Hasil pencatatan hujan otomatis.



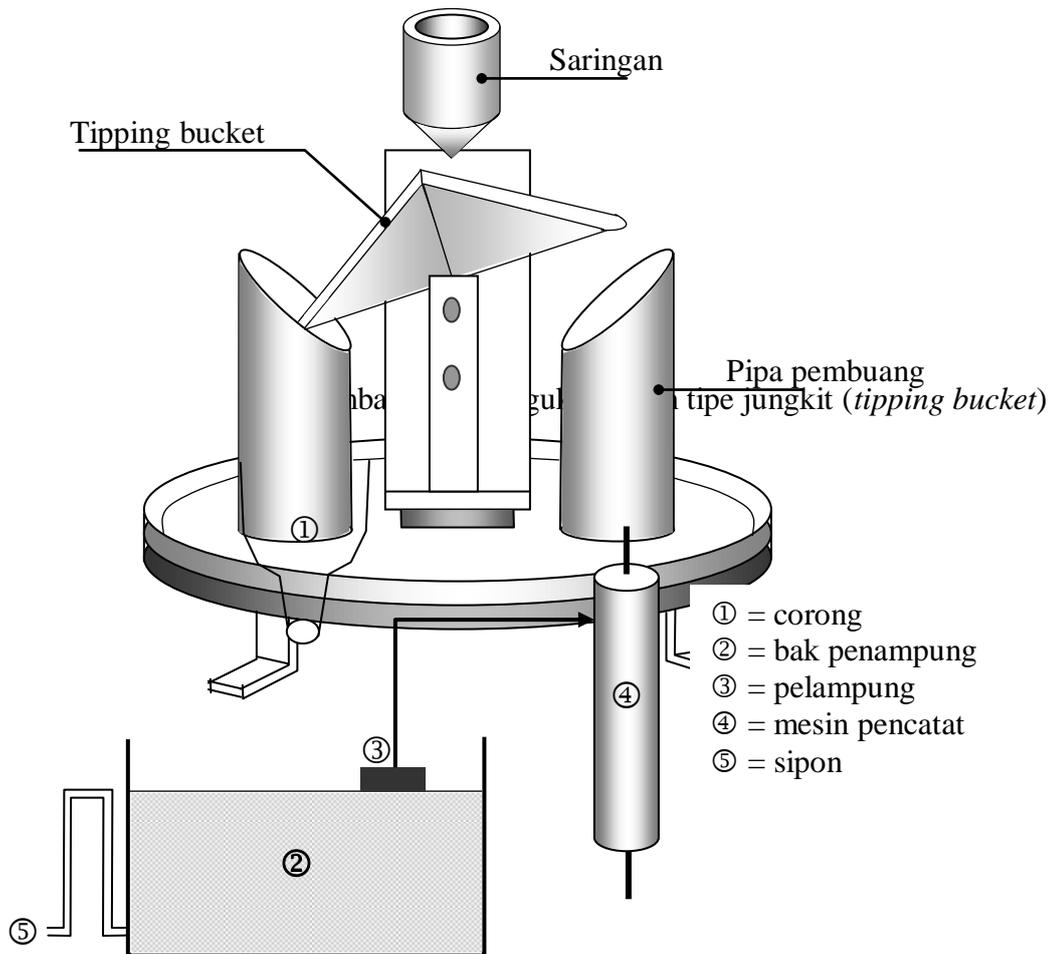
Alat ukur :

1. Penakar hujan biasa



Corong dengan luas permukaan 4 dm^2 dan dengan :
 Tinggi $h = 1,50 \text{ m}$, \rightarrow penangkapan 84 – 96%
 Tinggi $h = 0,40 \text{ m}$, \rightarrow penangkapan 93 – 97%

2. Pencatat hujan otomatis

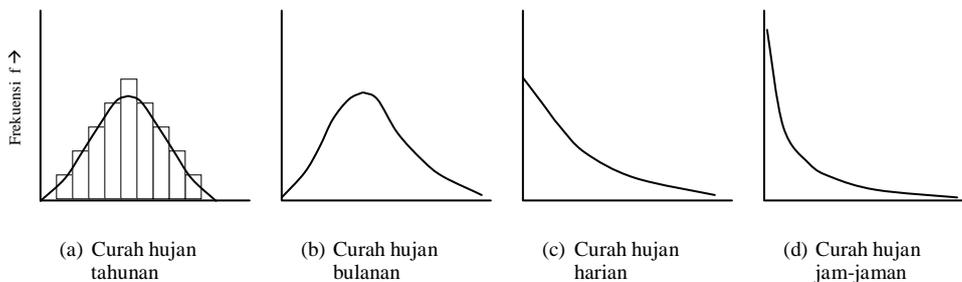


Gambar. Alat pengukur hujan tipe pelampung (*tipping float*)
(Sumber: Soemarto, 1995).

Frekuensi Pengukuran :

Pola frekuensi hujan menurut waktu pencatatan, yaitu tahunan, bulanan, harian dan jam-jaman.

Beberapa distribusi dapat digambarkan seperti di bawah ini.



Gambar 2.3 Distribusi frekuensi curah hujan
(Sumber: Suyono Sosrodarsono, 1987)

Analisis Hujan

A. Analisis Hujan Daerah

1. Rata-rata Aljabar

Didapat dari rata-rata hitung untuk semua stasiun yang ada di dalam DAS

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$$

d = tinggi curah hujan rata-rata (mm)

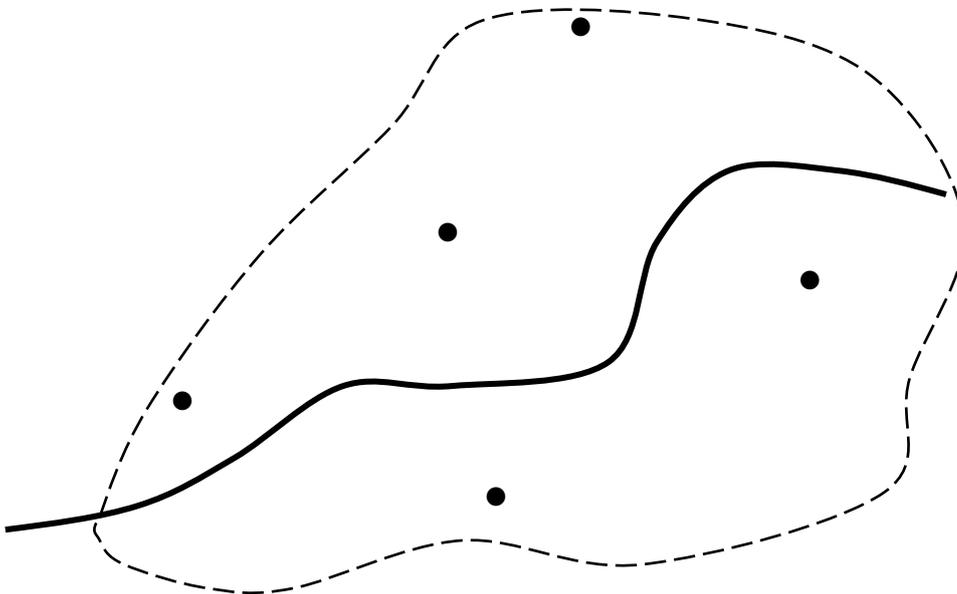
d_1, d_2 = tinggi curah pada stasiun hujan 1, 2, n.

n = banyaknya stasiun hujan

Hasil yang baik (dipercaya)

Stasiun hujan ditempatkan secara merata di dalam DAS

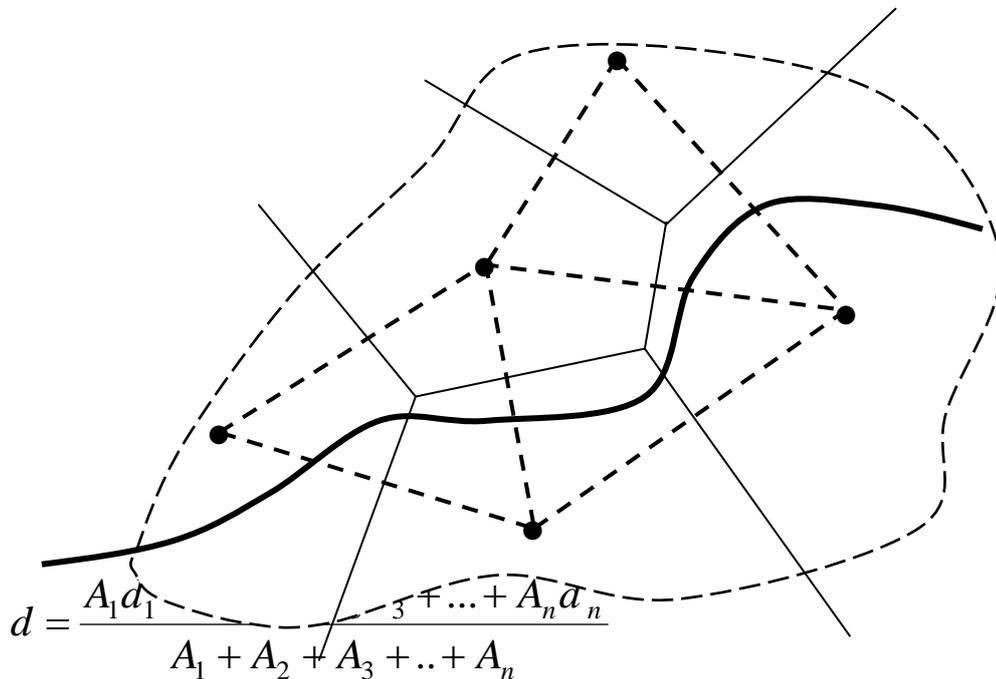
2. Poligon Thiessen



Langkah pengerjaan :

1. Bentuk jaringan segitiga dengan menghubungkan setiap stasiun dengan garis.
2. Tarik garis sumbu (garis berat) untuk setiap segitiga
3. Luas daerah hujan dianggap diwakili oleh salah satu stasiun hujan bersangkutan yang dibatasi oleh garis-garis poligon

4. Luas relatif berbanding dengan luas DAS merupakan koefisien pengalinya.



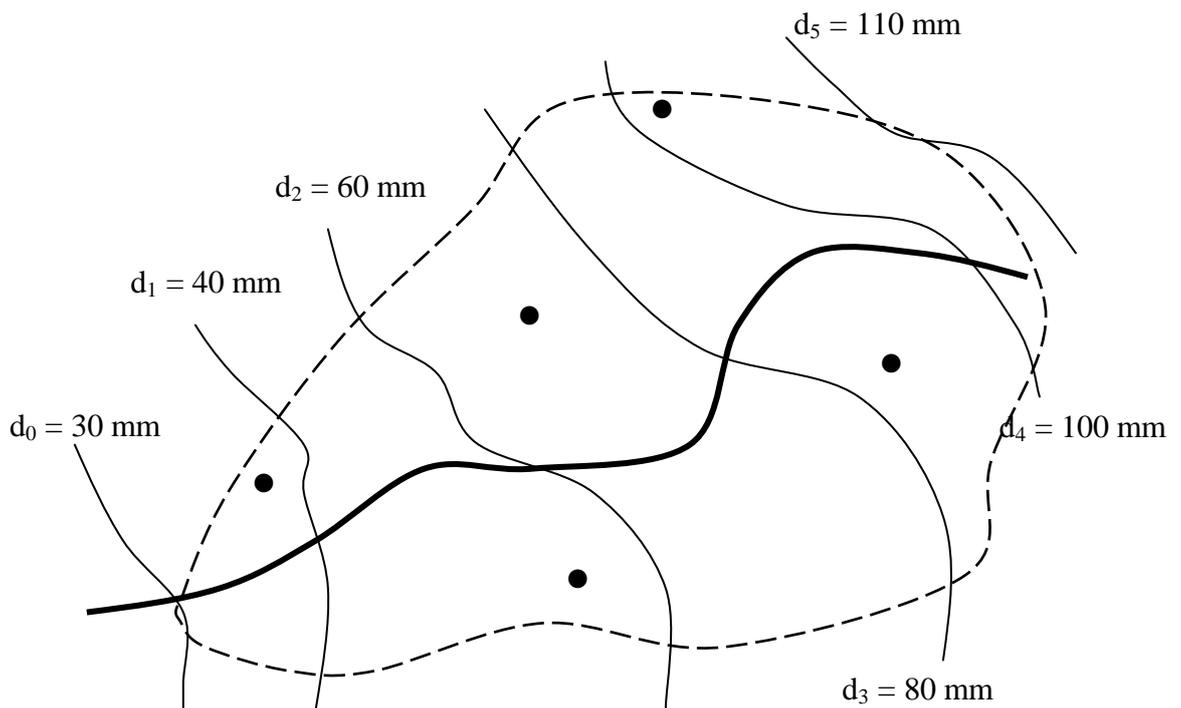
$$d = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A}$$

5. Perhitungan dilakukan secara tabelaris

Sta	Hujan (d)	Luas	Koefisien	d x K (2) x (3)
1	2	3	4	5
1	d_1	A_1	$\alpha_1 = A_1/A$	$\alpha_1 \times d_1$
2	d_2	A_2	$\alpha_2 = A_2/A$	$\alpha_2 \times d_2$
3	d_3	A_3	$\alpha_3 = A_3/A$	$\alpha_3 \times d_3$
n	d_n	A_n	$\alpha_n = A_n/A$	$\alpha_n \times d_n$
	Jumlah	A		d

3. Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai kedalaman hujan sama pada saat bersamaan.



$$d = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{A}$$

Hasil lebih teliti

Diperlukan jaringan stasiun hujan yang relatif lebih padat
Subyektifitas dalam penggambaran isohyet.

Penguapan (E)

Molekul air di permukaan menjadi molekul uap air di atmosfer
Faktor : Radiasi matahari (Rn), Angin (U), Temperatur (T) dan Kelembaban (RH)

Transpirasi (T)

Penguapan dari tanaman sebagai suatu proses metabolisme tanaman.
Faktor : musim, usia tanaman, jenis tanaman.

Evapotranspirasi

P
O
S
T
E
R
S
E

Penguapan yang terjadi dari permukaan tanah dan permukaan bertanaman.

Evapotranspirasi potensial

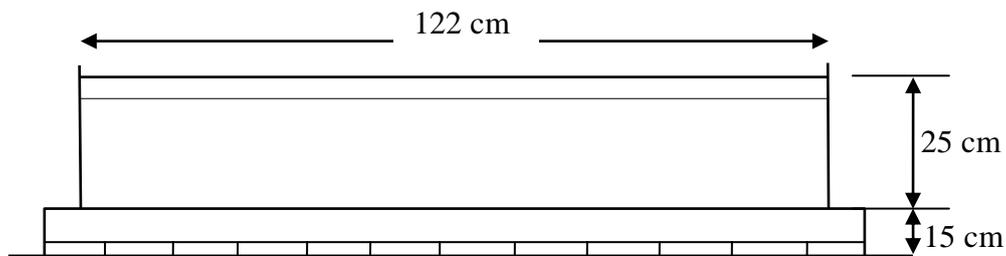
Evapotranspirasi yang terjadi apabila kandungan air tidak terbatas.

Pengukuran dan Perkiraan

1. *Atmometer*

Alat standar untuk mengukur evaporasi dari permukaan basah. Jenisnya terdiri Piche, Livingstone, Black Bellani.

2. *Panci Penguapan*



Panci penguapan dikembangkan oleh WMO (World Meteorological Organisation), dengan standar panci penguapan kelas A.

Jenis dan ukuran beberapa panci penguapan

Jenis Panci	Spesifikasi	Keterangan
US Weather Bureau Class A	Diameter 4 ft (\pm 122 cm) Kedalaman 10 inc (\pm 25,5 cm)	Dipasang di atas tanah setinggi 15 cm, dengan rangka kayu. Muka air sedalam 5 – 7,5 cm di bawah bibir panci. Koefisien panci 0,7.
US Bereau of Plant Industry (BPI), <i>Sunken pan</i>	Diameter 6 ft (\pm 183 cm) Kedalaman 2 ft (\pm 60 cm)	Ditanam di tanah, nampak di permukaan 10 cm. Muka air \pm 1,25 cm Koefisien panci 0,95
Colorado sunken pan	Bujur sangkar, luas 3 ft ² Kedalaman 18 inc	Koefisien panci 0,75 – 0,86 (\pm 0,78)
US Geological Floating Pan	Luas 3 ft ² Kedalaman 18 inc Apron 14 x 16 ft	Koefisien panci 0,7 – 0,8
British Standard	Luas ft ²	Kofiesien panci 0,93 – 1,07

(MO) sunken pan	Kedalaman 2 ft	
-----------------	----------------	--

3. Pendekatan Teoritis

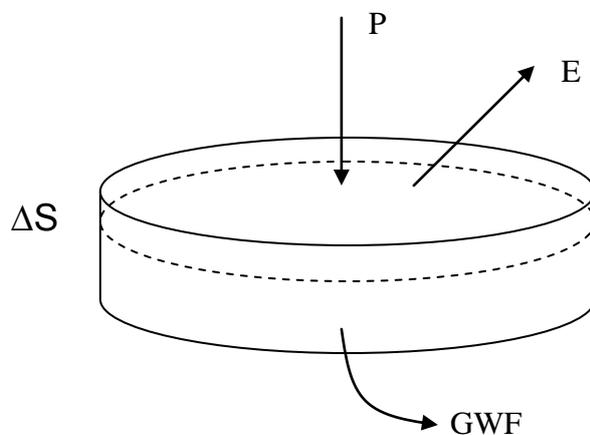
a. Keseimbangan air (water balance)

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

I = masukan/*inflow* (hujan, limpasan permukaan, aliran antara, aliran air tanah)

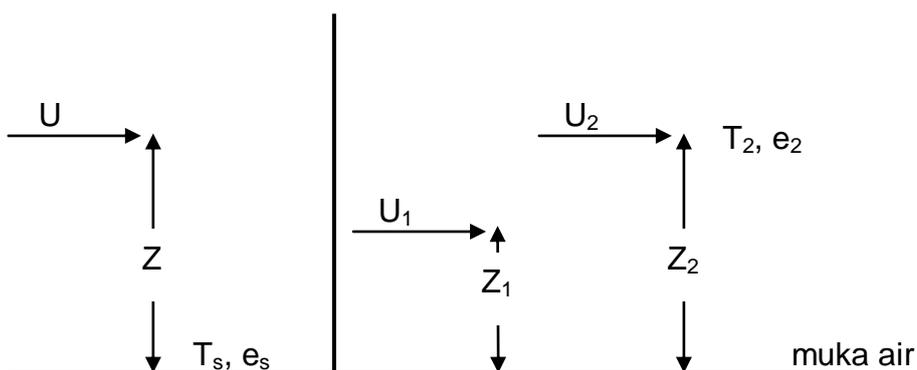
O = keluaran/*outflow* (listrik, irigasi, penggelontoran, air minum, penguapan, bocoran)

ΔS = perubahan tampungan



b. Metode transfer massa

Proses aerodinamik pada penguapan



Dalton : $E_0 = f(U) (e_s - e_d)$
 E_0 = penguapan muka air bebas (mm/hari)
U = kecepatan angin
= $a (b + u)$ atau $Nu \rightarrow$ konstanta

e_s = tekanan uap air jenuh
 e_d = tekanan uap air nyata

Penman : $E_0 = 0,35 (0,5 + U_2/100) (e_s - e_d)$

Harbeck dan Meyers : $E_0 = N \cdot U_2 (e_s - e_d)$
 $N = 0,01 - 0,012$

Harback, kehilangan air di waduk :

$E_0 = 0,291 A^{-0,05} U_2 (e_s - e_d)$

A = luas waduk

Contoh :

Diketahui : luas waduk 5 km^2 , $U_2 = 10,3 \text{ km/jam}$, e_s dan e_d berturut-turut $14,2$ dan $11,0 \text{ mmHg}$.

Penyelesaian :

$A = 5 \text{ km}^2 = 5 \times 1000^2 \text{ m}^2 = 5 \times 10^6 \text{ m}^2$

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

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

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

$E_0 = 0,291 A^{-0,05} U_2 (e_s - e_d)$

$E_0 = 0,291 (5 \times 10^6)^{-0,05} (2,86) (18,9 - 14,6)$
 $= 1,66 \text{ mm/hari}$

$= 606 \text{ mm/tahun (anggapan laju } E_0 \text{ tetap)}$

Jadi total kehilangan air tahunan (penguapan)

$= 0,606 \times 5 \times 1000^L = 3,03 \text{ juta m}^3$

c. Penman

$E_0 = E_1 + E_2 + E_3$

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

$h = e_a/e_s$ (e_a = diukur ; e_s = dihitung)

n/D = lama penyinaran relatif per hari \rightarrow diukur
(tabel \rightarrow $f(\text{waktu dan lokasi})$)

t = suhu udara \rightarrow diukur

$E_2 = f(t, n/D, R_A)$

R_A = nilsi ANGOT (tabel)

$E_3 = f(t, U_2, h)$

U_2 = kecepatan angin 2 m di atas muka tanah \rightarrow diukur

Contoh :

$$\begin{array}{ll}
 U_2 & = 5 \text{ m/det} & n/D & = 0,4 \\
 t & = 20^\circ\text{C} & R_A & = 550
 \end{array}$$

Dengan menggunakan nomogram Penman, di dapat :
 $E_0 = -1 + 2,3 + 1,8 = 3,1 \text{ mm}$

d. Thorntwaite

$$E_p = 1,6 \left(\frac{10t}{J} \right)^a$$

$$J = \sum_i^{12} j$$

$$j = \left(\frac{t_n}{5} \right)^{1,514}$$

$$j = 0,09t_n^{3/2} \text{ (Serra)}$$

$$a = 675 \times 10^{-9} J^3 - 771 \times 10^{-7} J^2 + 178 \times 10^{-4} J + 0,498$$

$$a = 1,6 \times 10^{-2} J + 0,5 \text{ (Serra)}$$

untuk bulan yang jumlah hari \neq 30 hari dan jumlah jam per hari terangnya \neq 12 jam :

$$E_p^* = E_p \left(\frac{STx}{30 \times 12} \right)$$

Contoh :

Hitung evapotranspirasi pada bulan Juli 1999, suhu rata-rata 30° .
 Dari pengamatan di dapat suhu rata-rata bulanan, dengan demikian dapat dihitung indeks panansnya (j).

Bulan	t °C	j
Januari	-5	0,00
Februari	0	0,00
Maret	5	1,00
April	9	2,43
Mei	13	4,25
Juni	17	6,38
Juli	19	7,55
Agustus	17	6,38
September	13	4,25
Oktober	9	2,43

Nopember	5	1,00
Desember	0	0,00
	J	35,67

Dengan $J = 35,67$ didapat $a = 1,065$

$$Ep = 1,6 \left(\frac{10t}{J} \right)^a = 1,6 \left(\frac{10 \times 30}{35,67} \right)^{1,065} = 15,46 \text{ cm/hari}$$

$$= 154,6 \text{ mm/hari}$$

Ep untuk bulan Juli, dengan 31 hari dan 14 jam/hari :

$$Ep^* = 154,6 \frac{31 \times 14}{30 \times 12} = 186,3 \text{ mm/hari}$$

e. Blaney Criddle

$$E_{T_0} = U_c = k \cdot F$$

U_c = penggunaan air konsumtif

$$F = \frac{t p}{100}$$

t = suhu rata-rata tahunan ($^{\circ}F$)

p = persentase rata-rata penyinaran matahari tahunan dalam bulan yang ditinjau

k = faktor tanaman, tergantung dari jenis tanaman dan masa pertumbuhan.

Proyek Irigasi (Prosida) :

$$u = \frac{K p (45,7 t + 813)}{100}$$

$$K = K_t + K_c$$

$$K_t = 0,0311 t + 0,240$$

u = transpirasi bulanan (mm)

t = suhu udara rata-rata bulanan ($^{\circ}C$)

K_c = koefisien tanaman bulanan (tabel)

p = persentase bulanan, jam hari terang dalam tahun

f. Turc – Langbein – Wundt

$$ET = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{\bar{P}}{I} \right)^2}}$$

- ET = evaporasi tahunan (mm)
- P = hujan tahunan rata-rata (mm)
- $I = 300 + 25t + 0,05t^3$
- t = suhu rata-rata tahunan ($^{\circ}\text{C}$)

g. Doorenbos dan Pruitt

$$E_{T_o} = C [P (0,46 \cdot T + 8)]$$

- E_{T_o} = evapotranspirasi tetapan (mm/hari)
- T = temperatur rerata harian ($^{\circ}\text{C}$)
- C = faktor (RH min, jam penyinaran, U)
- P = prosentasi jumlah jam terang tahunan (f(letak,bln))

Pengertian Umum

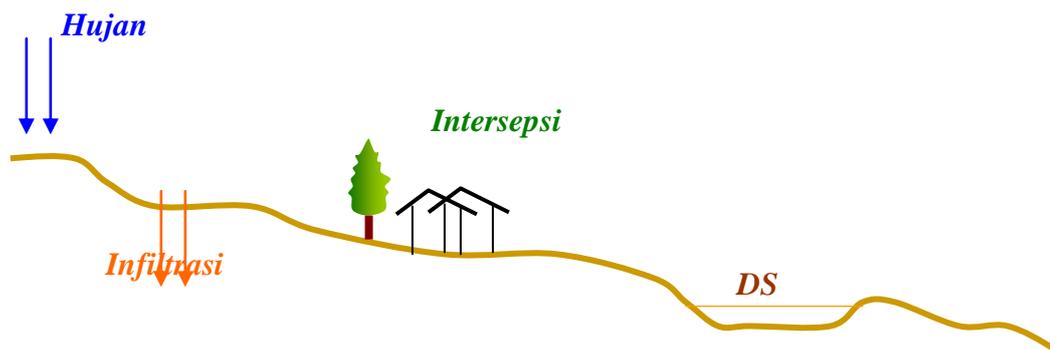
Infiltrasi : aliran air yang masuk ke dalam tanah melalui permukaan tanah.

Perkolasi : aliran air dalam tanah secara vertikal akibat gaya berat.

Kapasitas infiltrasi : laju infiltrasi maksimum

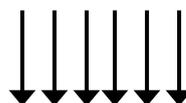
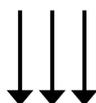
Laju infiltrasi : kecepatan infiltrasi pada saat tertentu (t).

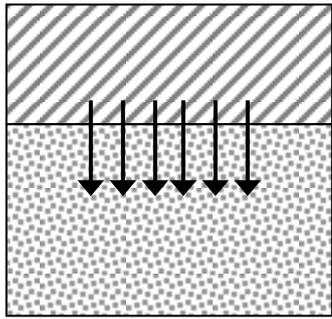
Proses Infiltrasi



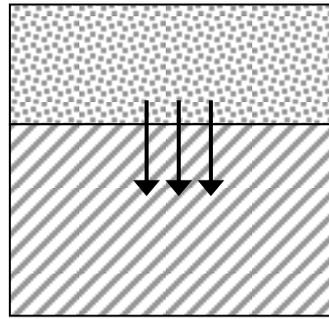
Faktor-faktor yang berpengaruh :

1. Jenis tanah : f(tanah pasir), f(tanah liat)
2. Kepadatan tanah : makin padat $\rightarrow f \ll$
3. Tutup tumbuhan (vegetal cover) : $f \gg$
4. Kelembaban tanah :





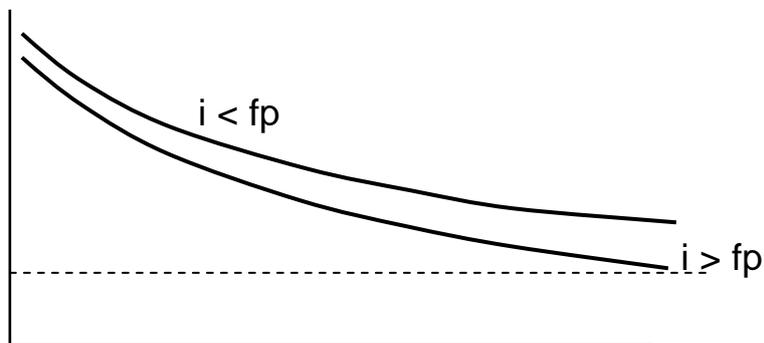
$f < p$



$f > p$

Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi, $f \leq f_p$ (kapasitas infiltrasi), tergantung intensitas hujan (i)



Laju infiltrasi menurut

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \rightarrow i \geq f_p \text{ (Horton, 1930)}$$

$$f_2 = f_1 - k (f_0 - f_c) \Delta t \rightarrow i < f_p$$

Pengukuran dan Perkiraan

Pengukuran infiltrasi dimaksudkan untuk memperoleh gambaran tentang besaran dan laju infiltrasi serta variasinya sebagai fungsi waktu.

Cara pengukuran yang dapat dilakukan :

1. pengukuran lapangan
2. analisis hidrograf

Pengukuran infiltrasi lapangan :

1. single ring infiltrometer
2. double ring infiltrometer
3. rainfall simulator

Analisis hidrograf :

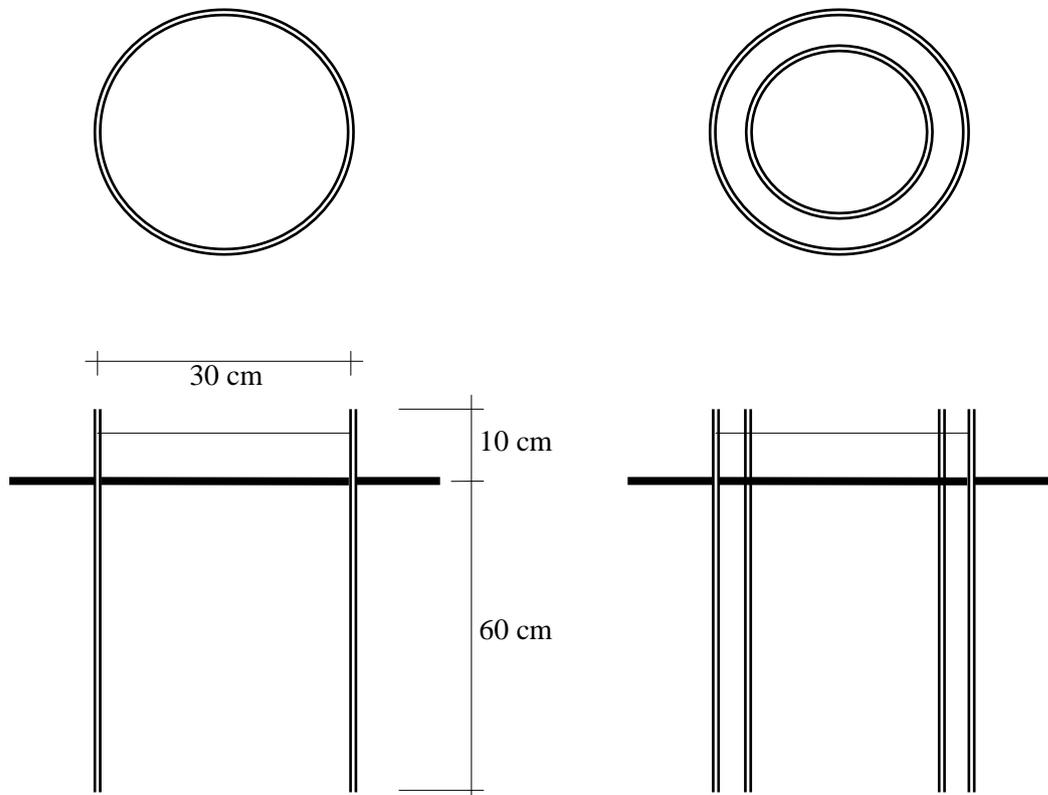
Sebagai pendekatan untuk memperoleh besaran infiltrasi rata-rata selama terjadi hujan.

Debit terukur → hujan, al. permukaan, al. antara, dan al. Dasar

Vol. aliran dasar = jumlah air yang terinfiltrasi

Infiltrasi konstan → laju infiltrasi disebut indeks phi (Φ)

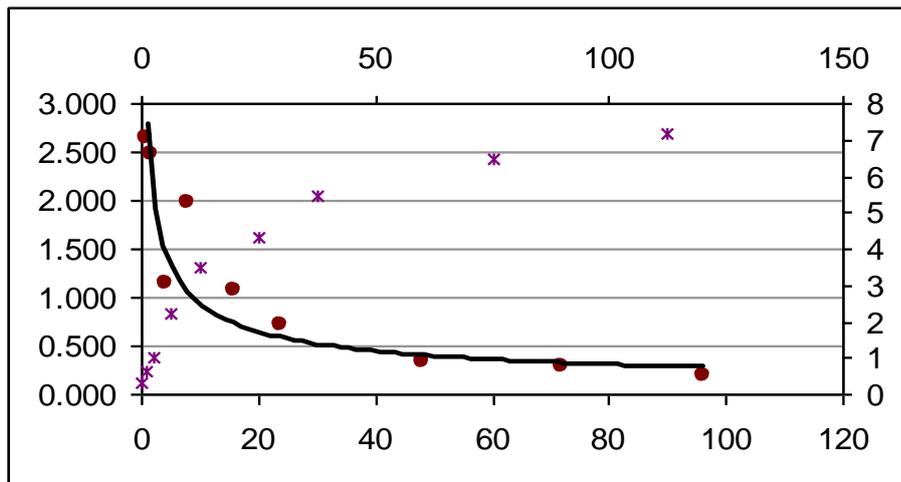
Single dan double infiltrometer



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

Waktu (menit)	Δt jam	Vol. air yg ditambah	ΔF (cm)	ΣF (cm)	f (cm/jam)
1	2	3	4	5	$6 = 4 : 2$
0	0.0000		0	0	
1	0.0167	94	0.118	0.118	7.050
2	0.0167	182	0.110	0.228	6.600

5	0.0500	305	0.154	0.381	3.075
10	0.0833	658	0.441	0.823	5.295
20	0.1667	1041	0.479	1.301	2.873
30	0.1667	1298	0.321	1.623	1.928
60	0.5000	1647	0.436	2.059	0.873
90	0.5000	1952	0.381	2.440	0.763
120	0.5000	2160	0.260	2.700	0.520



Fungsi hutan dalam proses infiltrasi

Sampah hutan (forest litter) sebagai sumber humus :

- penahan (splashing)
- laju infiltrasi dapat dipertahankan
- V kecil dapat memperbesar infiltrasi

Sistem perakaran

- gambut $f \gg$ besar

Laju infiltrasi berbagai vegetasi :

Vegetasi	f (mm/menit)
Tanah gundul	5.5
Hutan tanpa lapisan sampah	17.5
Hutan dengan lapisan sampah	72

Pengertian Umum

Ilmu yang mempelajari cara-cara pengukuran air (permukaan dan bawah permukaan).

Macam-macam pengukuran :

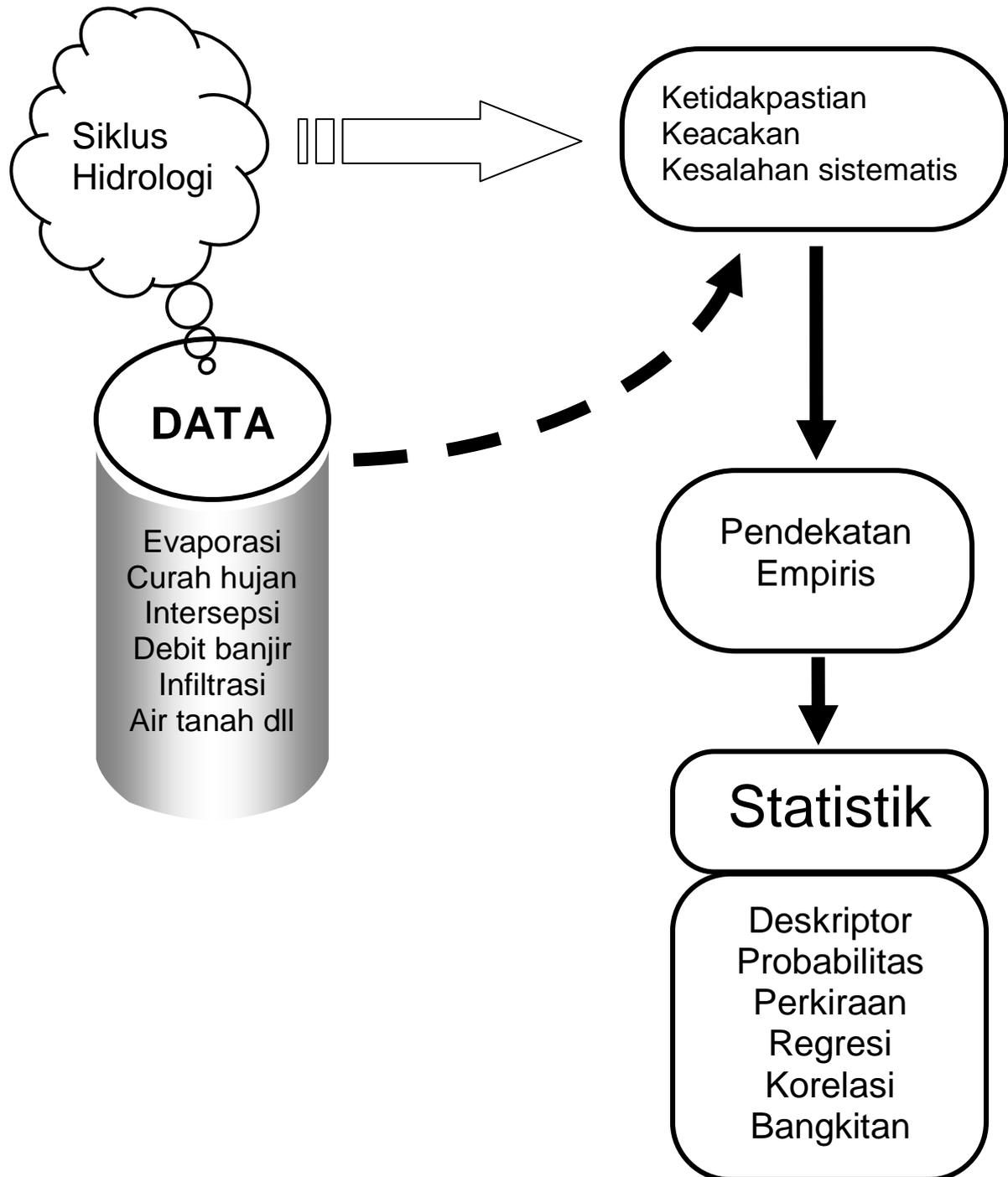
1. pengukuran ultrasonik (*ultrasonic flow metering*)
2. pengukuran elektromagnetik (*electromagnetic f . m*)
3. pengukuran optik (*optical velocity measurement*)
4. pemakaian "*frictionless contacts*" dan "*electronic counter*" dalam current meter
5. pengukuran dengan perahu bergerak (*moving boat technique*)
6. pemanfaatan telemetri
7. pemakaian *transducers*, *digital recorders* dan *remote sensing*.

Stasiun Hidrometri

Peralatan dan Sarana

1. Papan duga (*staff gauge, peil schaal*)
Digunakan untuk mengetahui tinggi muka air pada saat tertentu.
2. *Water level recorder*
Untuk merekam semua perubahan tinggi muka air yang terjadi pada stasiun hidrometri tertentu
 - a. pneumatic type
 - b. float type
3. Kecepatan aliran
Untuk memperoleh kecepatan rata-rata penampang sungai di suatu tempat yang ditetapkan.
Secara tidak langsung dimaksudkan sebagai sarana untuk memperoleh debit aliran.
 - a. pelampung
 - b. velocity head rod
 - c. trupp's ripple meter
 - d. current meter
4. Pengukuran debit
5. Sounding

Statistik dalam Hidrologi



Istilah-istilah statistik

- ❖ **Populasi**
Seluruh kemungkinan pengamatan yang dapat dikumpulkan lengkap dari seluruh besaran yang mewakili sesuatu proses acak (random) tertentu.
- ❖ **Sampel**
Sejumlah pengamatan yang terbatas yang merupakan bagian dari sebuah populasi.
- ❖ **Variabel**
Karakter suatu sistem yang dapat diukur dan besarnya dapat berbeda apabila diukur pada saat yang berbeda (fungsi waktu).
Continuos variable → variabel yang dapat diukur secara menerus (waktu)
Descrete variable → variabel yang dapat diukur secara stasioner
- ❖ **Parameter**
Besaran yang menandai suatu sistem dan tidak berubah dengan waktu.
- ❖ **Variat**
Besaran variabel yang diukur pada satu saat.

Deskriptor dalam analisis statistik adalah rerata (*mean*), variansi, deviasi standar, median, modus, koefisien kemencengan (*skewness*), dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*).

1. Rerata (mean)

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

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

Tidak dikelompokkan

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

dikelompokkan

dimana :

\bar{X} = rerata hitung

f_i = jumlah frekuensi ke-i untuk setiap interval kelas

X_i = nilai data ke-i

n = jumlah data

2. Variansi dan Deviasi Standar

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

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

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

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

dimana :

\bar{X} = rerata hitung

X_i = nilai data ke-i

n = jumlah data

3. Koefisien Kemencengan (skewness) dan Kepuncakan (kurtosis)

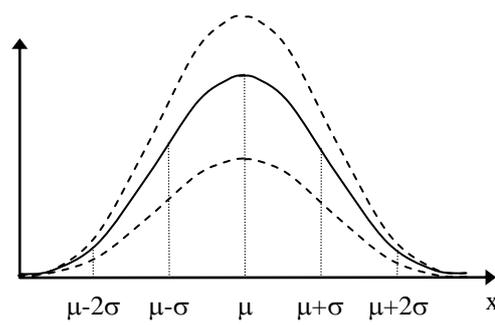
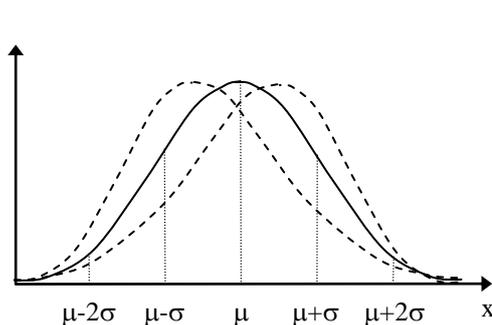
$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad \text{Koefisien kemencengan}$$

$$C_k = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad \text{Koefisien kurtosis}$$

dimana :

C_s = koefisien kemencengan

C_k = koefisien kurtosis



koefisien kemencengan

koefisien kurtosis

4. Koefisien Autokorelasi

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} (X_i - \bar{X}_i) (X_{i+j} - \bar{X}_{i+j})}{\left[\sum_{i=1}^{n-j} (X_i - \bar{X}_i)^2 \sum_{i=1}^{n-j} (X_{i+j} - \bar{X}_{i+j})^2 \right]^{1/2}}$$

dengan:

r_j = koefisien autokorelasi antar hari/bulan/tahun pengamatan

X_i = data ke- i

\bar{X}_i = rerata hitung

\bar{X}_{i+j} = rerata hitung hari/bulan/tahun ke $i+j$

N = jumlah data

j = bulan ke j

Mempercepat perhitungan :

Manual → Tabelaris

Komputer → Excel, SPSS, Software lain, program

Cara tabelaris :

No.	Tahun	X_i	$(X_i - \bar{X}_i)$
1			
2			
3			
n			
Jumlah			

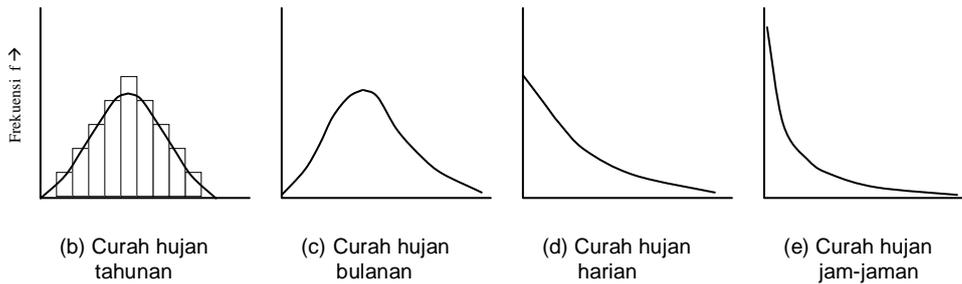
Contoh Latihan :

1984	124	1989
1985	96	1990
1986	158	1991
1987	166	1992
1988	102	1993

DISTRIBUSI Probabilitas

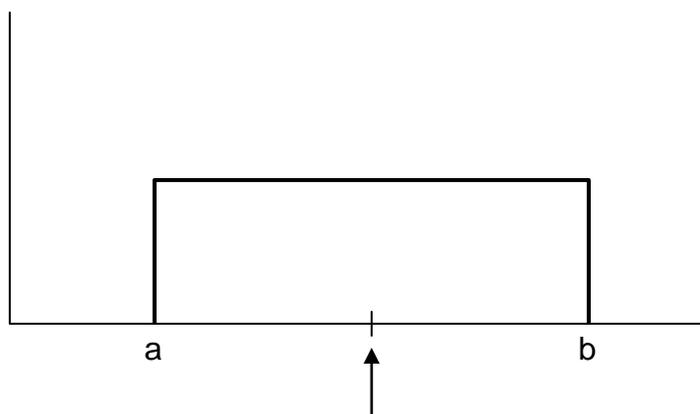
- Distribusi seragam
- Distribusi normal
- Distribusi eksponensial
- Distribusi gamma
- Distribusi log normal
- Distribusi nilai ekstrim (Gumbel)

Beberapa distribusi dapat digambarkan seperti di bawah ini.



Gambar 2.3 Distribusi frekuensi curah hujan
(Sumber: Suyono Sosrodarsono, 1987)

Distribusi seragam



rerata =
tengah-tengah antara a dan b

$$p_x(X) = \frac{1}{b-a}, a \leq x \leq b$$

Distribusi normal

Distribusi normal dapat dirumuskan sebagai berikut (Haan, 1979):

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Rumus di atas biasa disebut dengan distribusi normal standar dengan nilai $\mu = 0$ dan $\sigma = 1$. Sedangkan untuk kumulatif distribusi normal standarnya dapat dituliskan dengan :

$$P_x(x) = \int_0^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

dimana:

p_x = fungsi kerapatan probabilitas kurva normal

P_x = fungsi distribusi kumulatif kurva normal

X = data ke-i

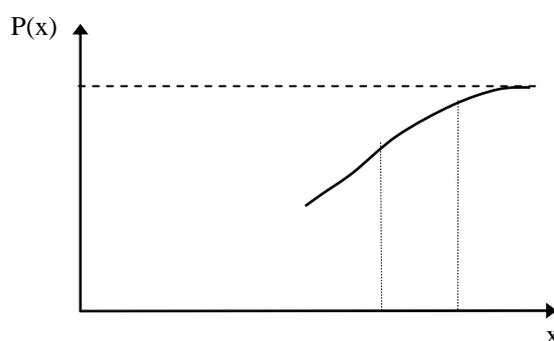
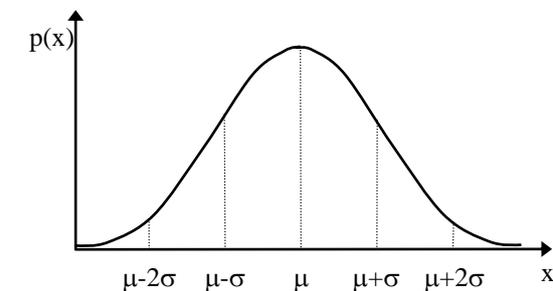
μ = parameter rerata (rerata X)

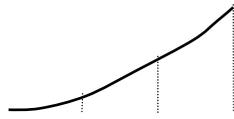
σ = parameter deviasi standar (deviasi standar X)

e = 2,71828

π = 3,14156

Secara umum grafik dari distribusi normal dapat digambarkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.





Gambar 3.1 Grafik Distribusi Normal
(Sumber: Haan, 1977)

Distribusi eksponensial

Suatu data yang diilustrasikan sebagai hubungan antara waktu dan kejadian hujan dapat digambarkan mengikuti garis eksponensial. Penyebaran data tersebut apabila dibuat distribusinya maka akan mengikuti bentuk distribusi eksponensial. Rumus probability density function dari distribusinya dituliskan dengan:

$$p_x(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

dan distribusi kumulatifnya dapat dirumuskan sebagai :

$$P_x(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda x} \quad x > 0$$

Nilai rata-rata dan variansi distribusi eksponensial adalah :

$$E(x) = 1/\lambda$$

$$\text{Var}(x) = 1/\lambda^2$$

dimana:

p_x = fungsi kerapatan probabilitas kurva eksponensial

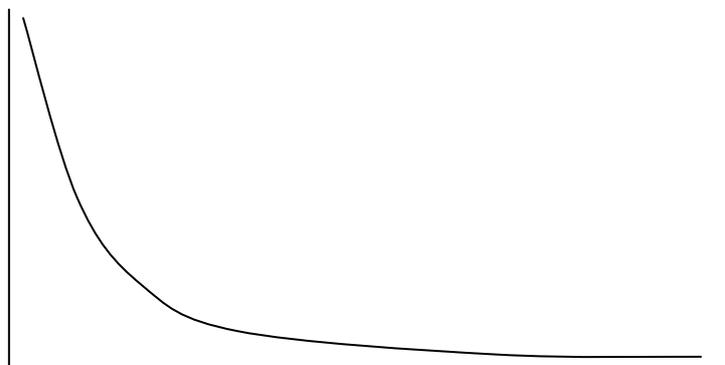
P_x = fungsi distribusi kumulatif kurva eksponensial

X = data ke-i

λ = parameter skala

$E(x)$ = rerata populasi

$\text{Var}(x)$ = variansi populasi



Distribusi gamma

Distribusi gamma merupakan distribusi yang dapat diatur bentuk dan skalanya, disebabkan distribusi ini mempunyai parameter bentuk dan parameter skala (Sudjarwadi, 1999). Fungsi kerapatan probabilitasnya dapat ditulis sebagai berikut :

$$p_x(x) = \frac{\lambda^\eta X^{\eta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\eta)}$$

sedangkan untuk kumulatif distribusinya adalah:

$$P_x(x) = 1 - e^{-\lambda x} \sum_{j=0}^{\eta-1} \frac{(\lambda X)^j}{j!}$$

Distribusi gamma memiliki parameter-parameter dengan hubungan sebagai berikut ini :

$$E(X) = \frac{\eta}{\lambda}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{\eta}{\lambda^2}$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\eta}}$$

dimana:

p_x = fungsi kerapatan probabilitas kurva gamma

P_x = fungsi distribusi kumulatif kurva gamma

X = data ke-i

λ = parameter skala

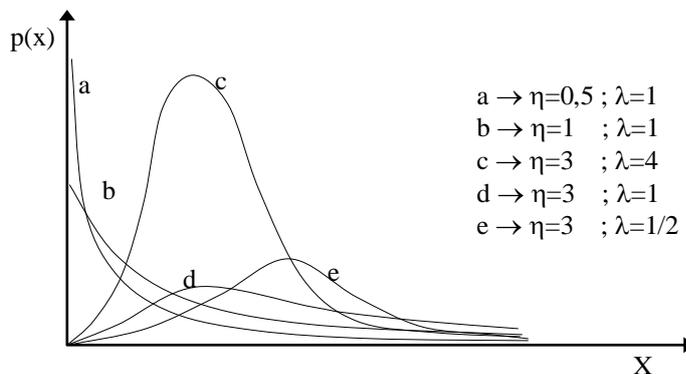
η = parameter bentuk

$E(x)$ = rerata populasi

$\text{Var}(x)$ = variansi populasi

γ = koefisien kemencengan untuk distribusi gamma

Secara umum grafik dari distribusi gamma dapat digambarkan pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Grafik distribusi gamma
(Sumber: Sudjarwadi, 1999)

Setiap jenis distribusi menunjukkan sifat hubungan dengan pola tetap antara *pdf* dan *cdf*. Walaupun demikian sifat distribusi umumnya memiliki watak dasar yang tetap yaitu luas di bawah kurva distribusi probabilitas (*pdf*) selalu sama dengan satu dan nilai kumulatif distribusi (*cdf*) selalu antara 0 dan 1.

Distribusi Spesifik yang Cocok

Untuk mengetahui kecocokan distribusi yang dipakai maka perlu dilakukan uji terhadap distribusi tersebut, yaitu dengan mengetahui penyimpangan kumulatif distribusinya antara data observasi dan teoritis.

Cara pengujian yang umum digunakan untuk hal tersebut adalah cara Chi-Kuadrat (χ^2) dan cara Kolmogorov Smirnov. Walaupun demikian langkah awal yang harus dilakukan sebelum menggunakan kedua cara tersebut adalah perlu diketahui fungsi distribusi teoritisnya. Rumusan uji Chi-kuadrat dapat ditulis sebagai:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dengan :

k = jumlah kelas interval

O_i = data hasil observasi

E_i = expected berdasarkan distribusi teoritis yang diasumsikan

χ_c^2 = distribusi Chi-kuadrat, dengan derajat kebebasan k-p-1

p = angka perkiraan dari jumlah data

Beranggapan bahwa distribusi teoritis berbentuk eksponensial, maka frekuensi relatif (f_{X_i}) dapat dirumuskan seperti berikut:

$$f_{X_i} = \Delta X_i \cdot P_A(X_i)$$

dengan

$$P_A(X_i) = \hat{\lambda} e^{-\hat{\lambda} X_i}$$

dan

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{X}}$$

dimana :

f_{X_i} = frekuensi relatif distribusi eksponensial teoritis

ΔX_i = $\frac{1}{2}$

X_i = titik tengah kelas interval

$P_A(X_i)$ = luasan

$\hat{\lambda}$ = distribusi teoritis

\bar{X} = data rerata

Sedangkan untuk pengujian distribusi probabilitas dengan Kolmogorov Smirnov digunakan rumusan seperti berikut:

$$D = \text{maks} [P_x(x) - S_n(x)]$$

dengan :

D = simpangan maksimum

$P_x(x)$ = distribusi kumulatif dari data observasi

$S_n(x)$ = distribusi kumulatif dari fungsi teoritis