

NERACA AIR

Prof. Dr. Ir. Sari Bahagiarti, M.Sc.



**Universitas Pembangunan Nasional
"Veteran" Yogyakarta**

**Jl. SWK 104 (Lingkar Utara)
Condongcatur Depok Sleman DIY, 55283
Telp. +62 274 486733
Website. www.upnyk.ac.id**

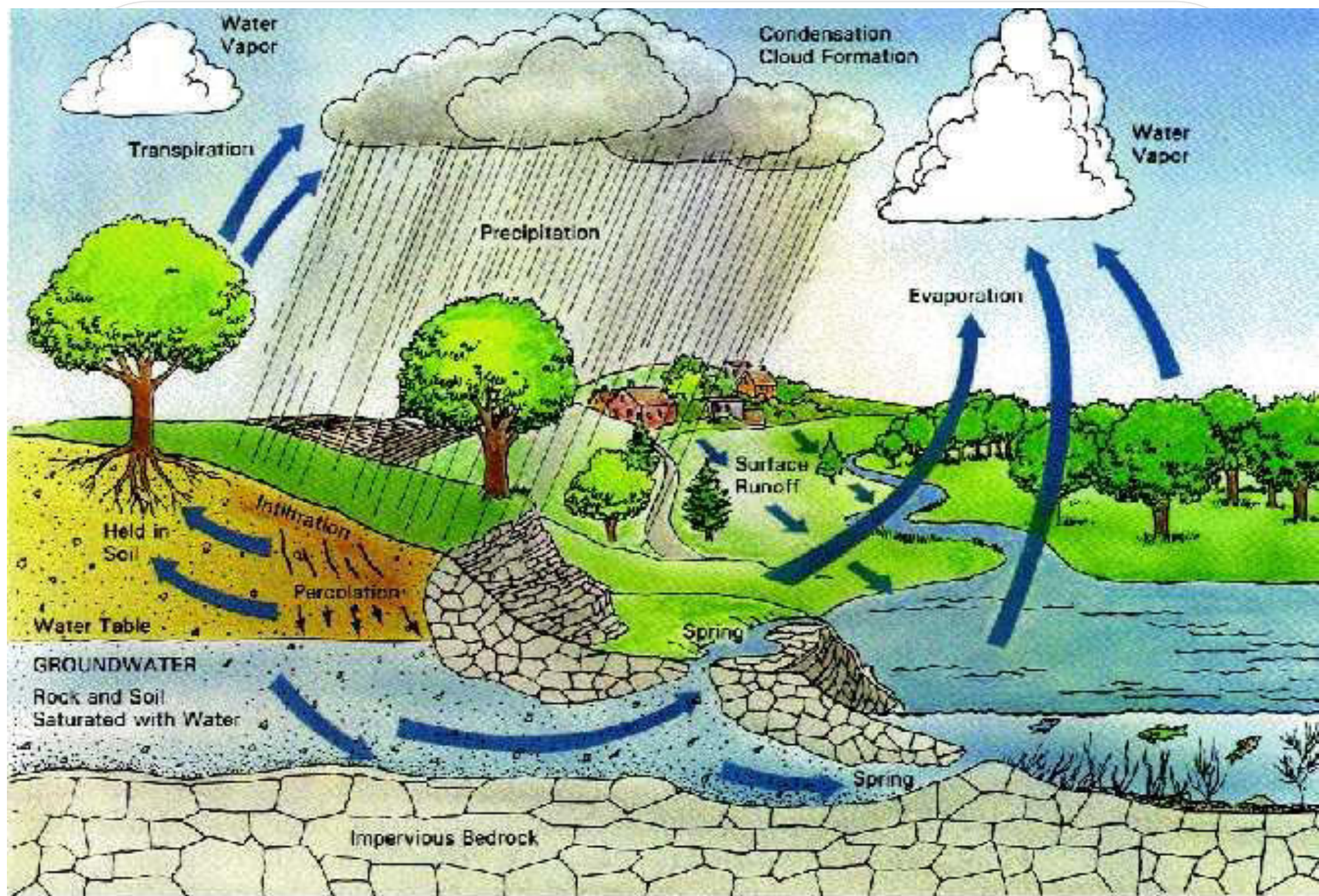
Teknik Geologi

Neraca air di suatu daerah merupakan perimbangan antara jumlah air yang masuk, keluar, dan yang tersimpan oleh tanah/batuan di daerah tersebut

UNTUK MENGHITUNG NERACA AIR DI SUATU DAERAH, BATAS-BATAS HIDROLOGIS DAERAH TERSEBUT HARUS DAPAT DITENTUKAN DG JELAS.

BIASANYA DIGUNAKAN BATAS-BATAS DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS)





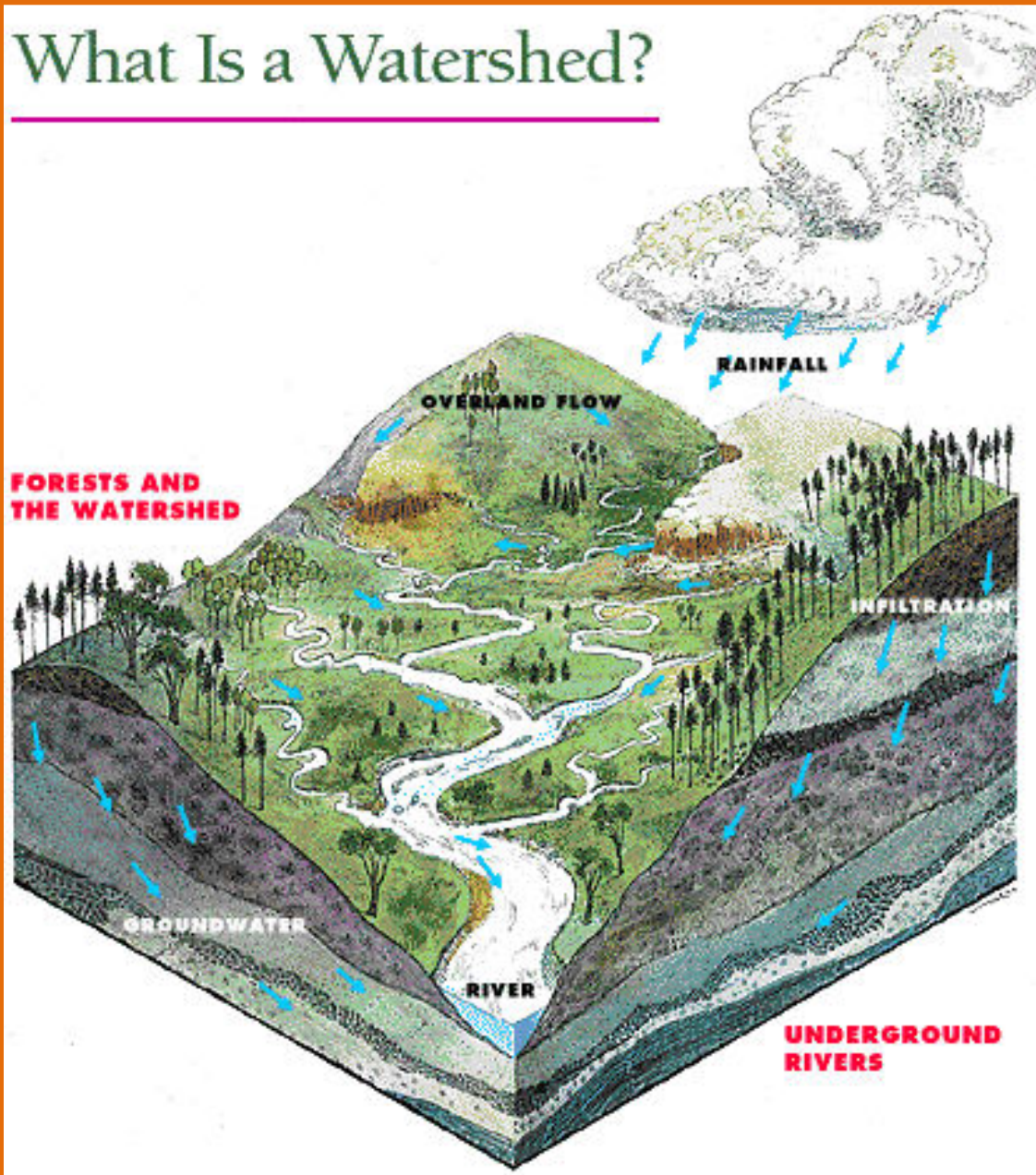


Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) atau *watershed* merupakan satu kesatuan area pada sistem pengeringan yang utuh.



What Is a Watershed?



Suatu DAS pada umumnya membentuk pola aliran tertentu

Suatu DAS dibatasi oleh *waterhed divide* terhadap DAS lainnya.





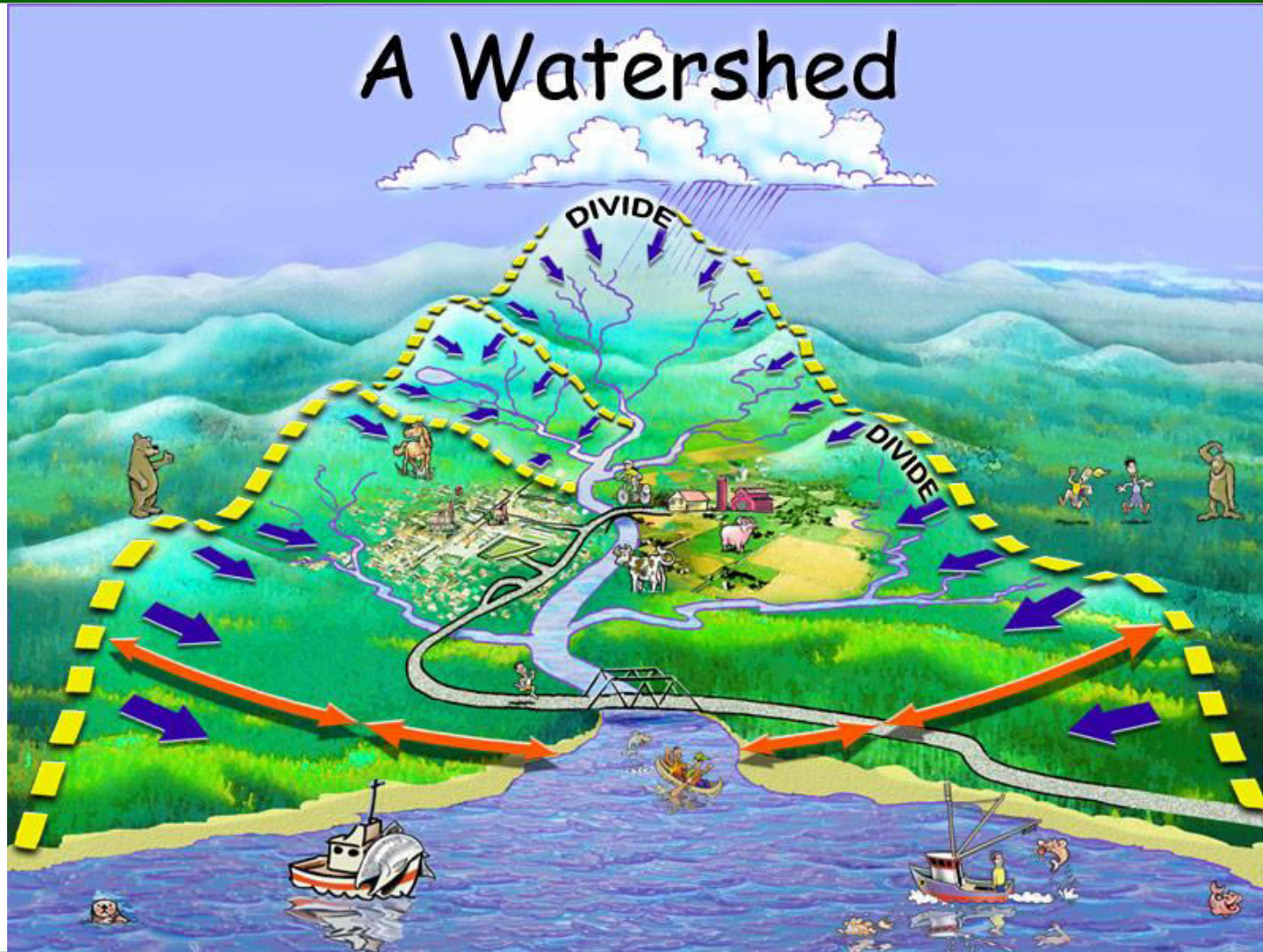
Watershed divide dapat berupa:

- Punggungan
- Pegunungan/perbukitan
- Topografi yang lebih tinggi

Suatu DAS tidak mengenal batas-batas administrasi



Watershed Divide



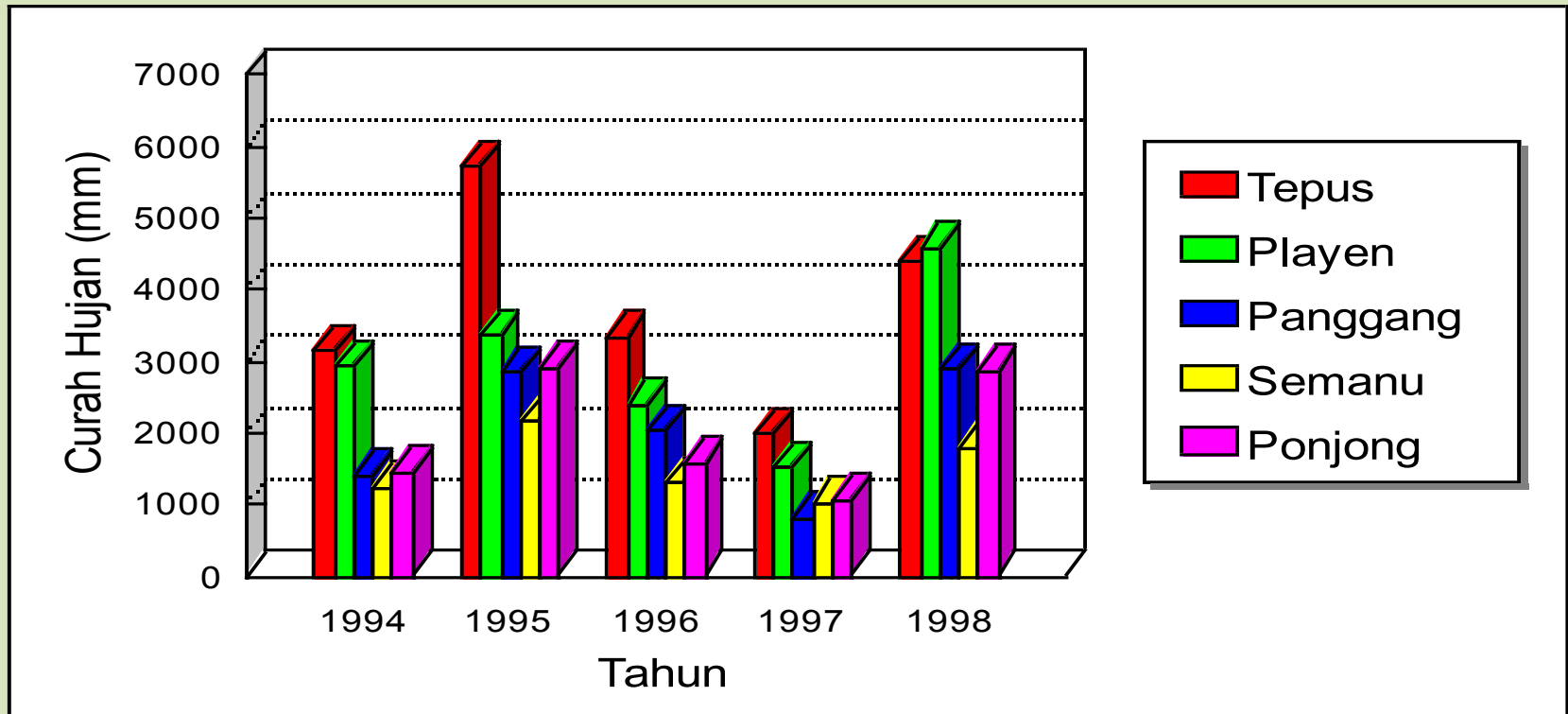


Untuk keperluan penghitungan neraca air di suatu daerah diperlukan data-data mengenai

- Curah hujan (presipitasi) rata-rata setidaknya dalam 1 tahun (P).
- Aliran permukaan rata-rata dalam 1 tahun (Q)
- Evapotranspirasi rata-rata dalam 1 tahun (E).

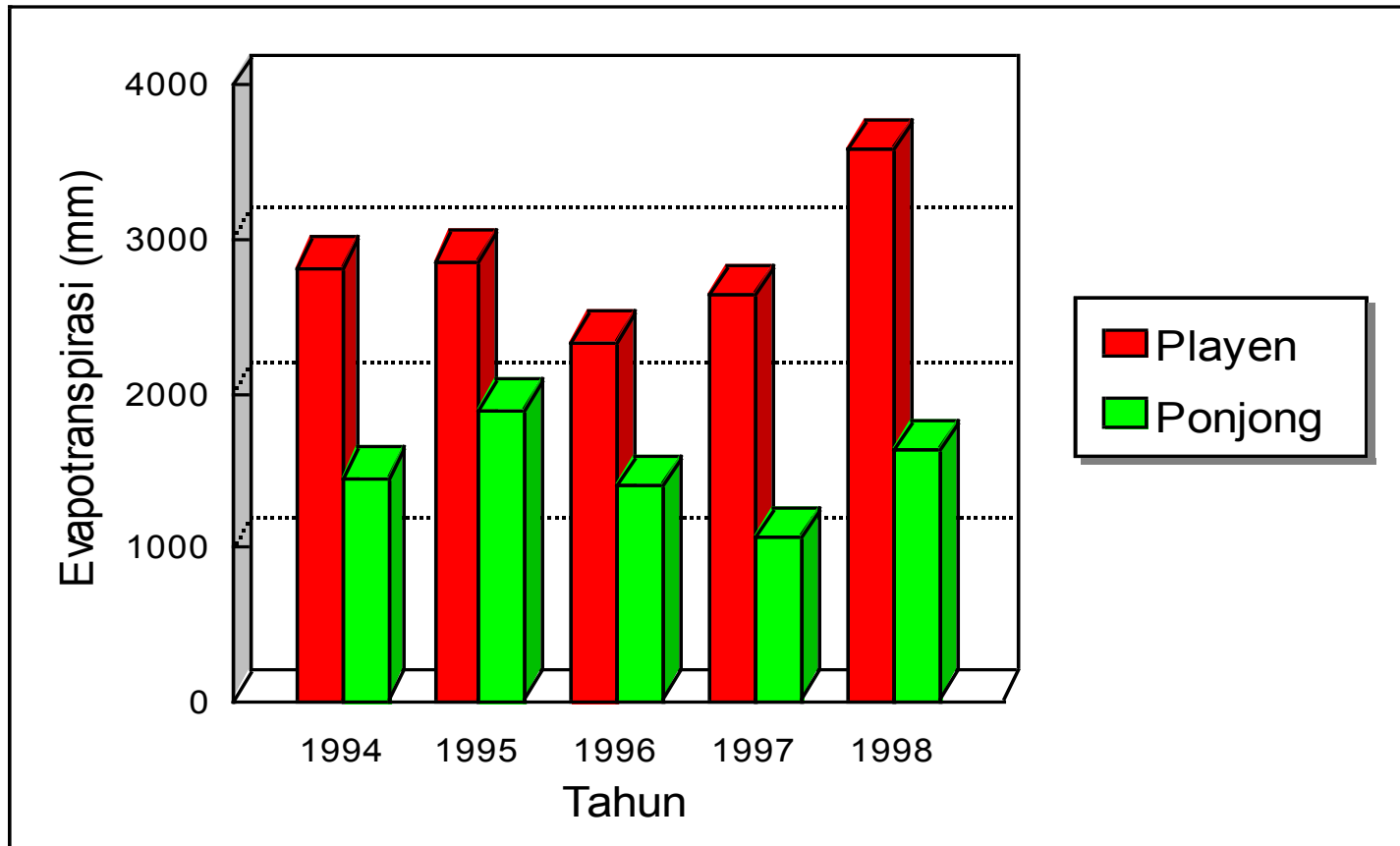
Satuan untuk P, Q, dan E masing-masing adalah volume/luas area/tahun : cm/th (m/th).

Data Curah Hujan Tahunan





Data Evapotranspirasi Tahunan



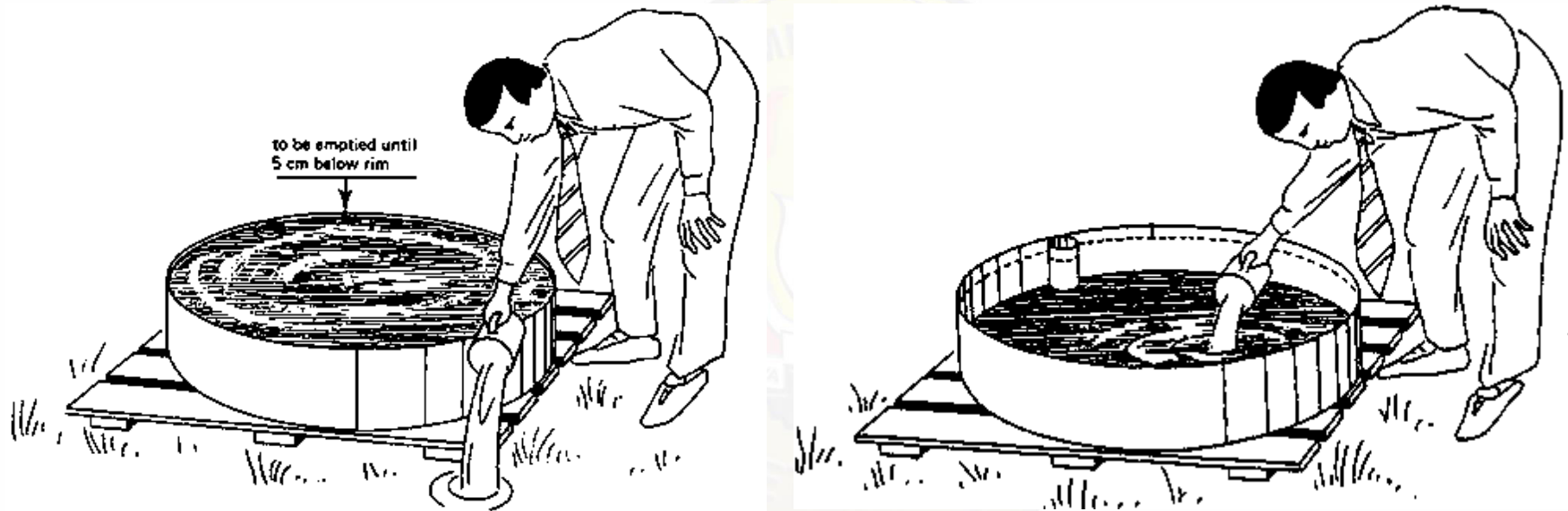


Metode untuk mengukur evapotranspirasi:

- Thornthwaite (1948)
- Penman (1948)
- Blaney & Criddle (1950)
- Holmes & Robertson (1959)
- Pelton et. al. (1960)
- Van Bavel (1966)
- Gray et. al. (1970)



Bejana Evaporasi



Neraca Air (Freeze & Cherry, 1979)

$$P = Q + E + \Delta S_s + \Delta S_G$$

P = Presipitasi (curah hujan)

E = Evapotranspirasi

Q = Stream flow = Aliran permukaan

ΔS_s = Perubahan (selisih) simpanan air permukaan

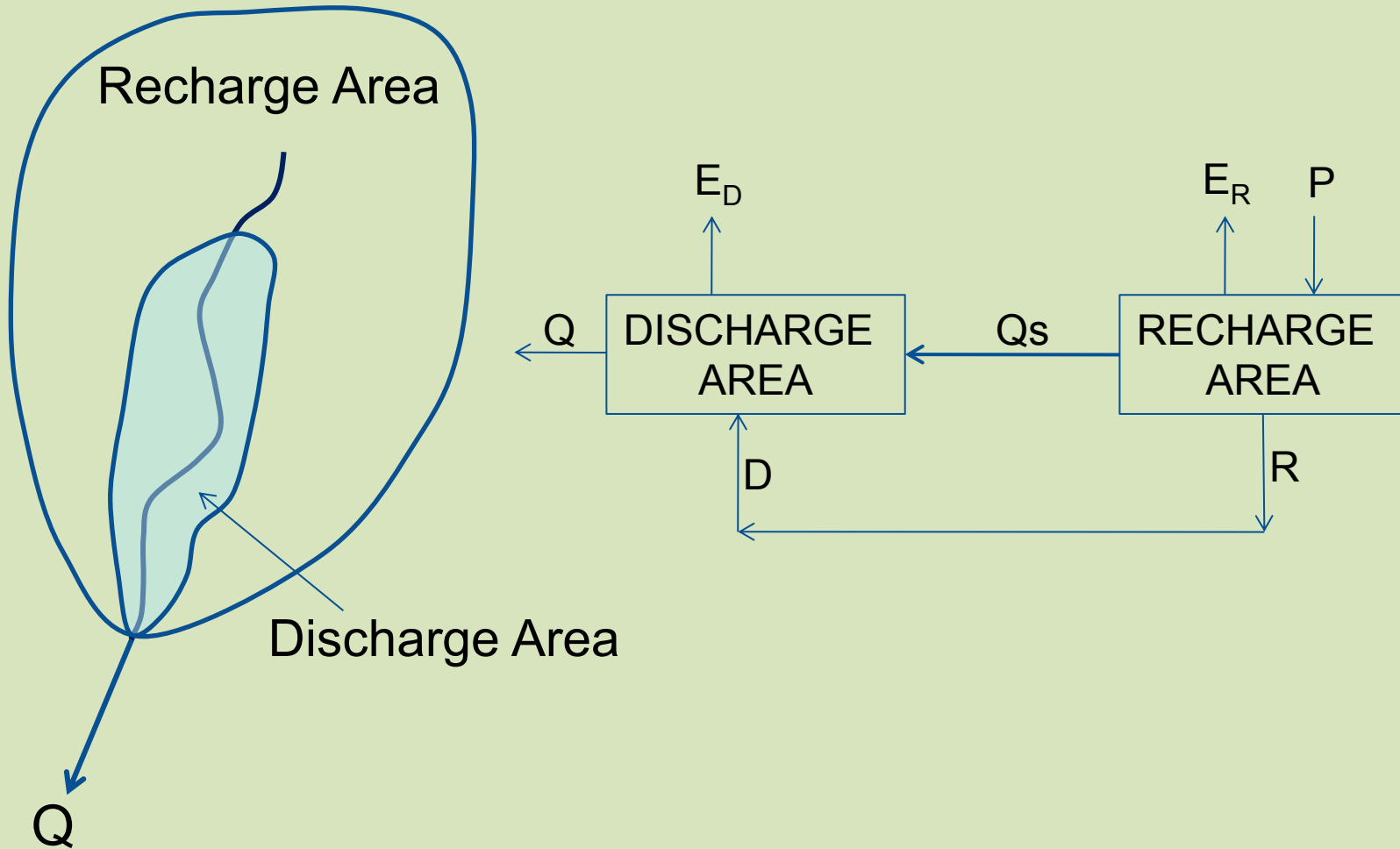
ΔS_G = Perubahan (selisih) simpanan airtanah

Apabila dilakukan rerata dalam beberapa tahun pencatatan, maka dapat diasumsikan bahwa $\Delta S_s = \Delta S_G = 0$
Dengan demikian, persamaan neraca menjadi:

$$P = Q + E$$



Neraca Air pada Sebuah DAS





Perhitungan Neraca Air

Pada daerah resapan : $P = Q_s + R + E_R$

Pada daerah luahan : $Q = Q_s + D - E_D$

Untuk suatu daerah luahan yang sangat sempit, maka P tidak harus ada (dapat diabaikan).

Jika dianggap : $Q_G = D - E_D$

Persamaan berubah menjadi : $Q = Q_s + Q_G$

P = Presipitasi (curah hujan) rerata dlm setahun

R = Recharge (resapan) rerata dlm setahun

D = Discharge (luahan) rerata dlm setahun

E_R = Evapotranspirasi di daerah resapan

E_D = Evapotranspirasi di daerah luahan

Q = Aliran permukaan (runoff)

Q_s = Aliran permukaan rerata dalam setahun

Q_G = Aliran airtanah (baseflow) rerata dalam setahun



Rumus (lain) Neraca Air (*Water Balance*):

$$dS = CH - ET - RO - BF$$

Dimana :

- dS : Banyaknya air hujan yang mengisi airtanah
- CH : Besarnya Curah hujan
- ET : Besarnya Evapotranspirasi
- RO : *Run Off* (aliran air permukaan)
- BF : *Base Flow* (Aliran dasar sungai)

1. CURAH HUJAN

1. Apa yang diamati bila terjadi hujan?
2. Siapa / instansi apa yang mengukur curah hujan?
3. Bagaimana cara mengukur curah hujan?
4. Bagaimana menyajikan data curah hujan?
5. Bagaimana menghitung curah hujan rata-rata suatu daerah?





5 unsur yang harus ditinjau bila terjadi hujan :

1. Intensitas (i)

Yaitu laju curah hujan = tinggi hujan per satuan waktu (mm/hari)

2. Lama (t)

Yaitu waktu atau lama terjadinya hujan (detik, menit, jam, hari)

3. Tinggi Hujan (d)

Yaitu banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air di atas bidang datar (mm)

4. Frekwensi

Adalah waktu ulang terjadinya hujan (1 kali sehari, 3 hari seminggu)

5. Luas (A)

Adalah luasan geografis terjadinya hujan (km²)



Teknik Geologi



CURAH HUJAN STASIUN 25, KETAPANG, KEC. KENDAL, KAB. KENDAL, TAHUN 1987 - 1994
 (SUMBER : BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA, STASIUN KLIMATOLOGI KLAS I SEMARANG)

No.	Tahun	Curah hujan (mm)												Jumlah
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
1	1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	283	-
2	1988	190	325	306	25	56	59	48	5	40	170	85	550	1950
3	1989	96	569	-	70	132	-	47	38	3	151	373	418	-
4	1990	1011	111	361	201	90	59	80	369	100	45	144	343	2914
5	1991	992	912	109	162	29	2	31	0	6	0	47	399	2689
6	1992	165	156	159	84	231	30	11	25	44	127	227	68	1327
7	1993	785	293	113	242	53	79	4	4	95	37	144	169	2018
8	1994	560	194	507	165	27	-	0	0	0	8	195	433	-
Rata-rata		542.7	365.7	259.2	135.6	88.3	45.8	31.6	63.0	41.1	76.9	173.6	332.9	2,156.3

Keterangan : - Lokasi pengukuran : Ketinggian : 4 meter di atas muka air laut.

CURAH HUJAN STASIUN 25a, BRANGSONG, KEC. BRANGSONG, KAB. KENDAL, TAHUN 1987 - 1994
 (SUMBER : BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA, STASIUN KLIMATOLOGI KLAS I SEMARANG)

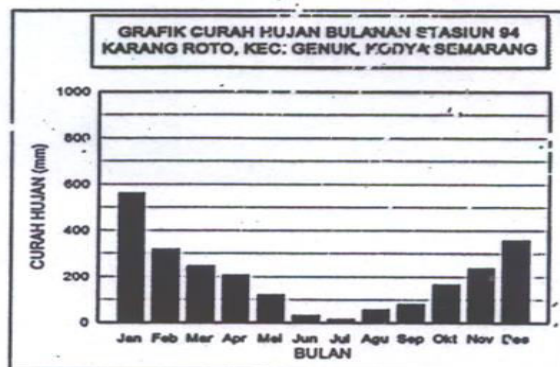
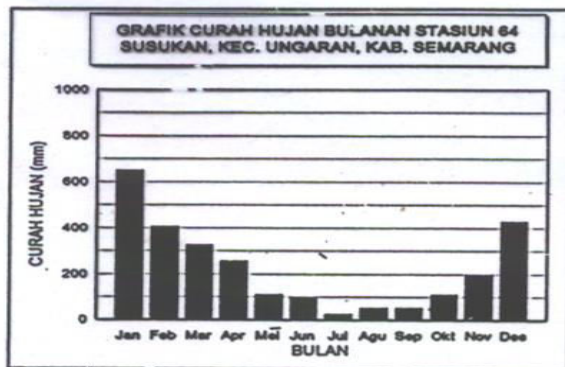
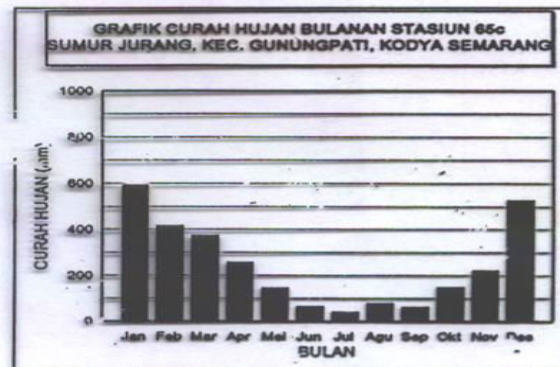
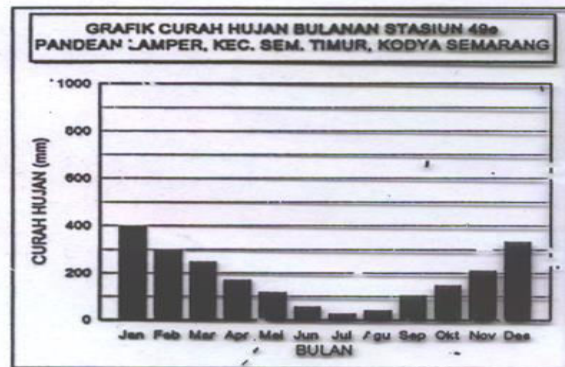
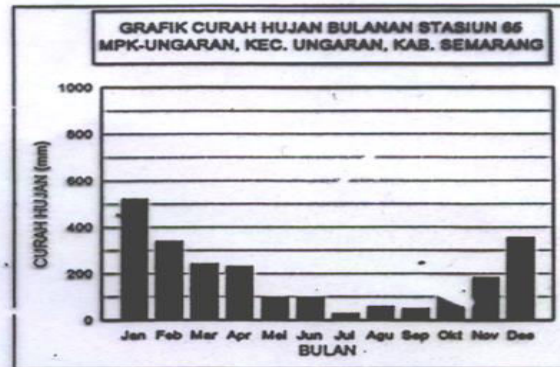
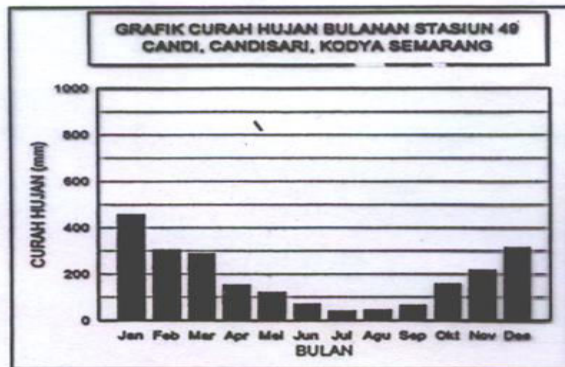
No.	Tahun	Curah hujan (mm)												Jumlah
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
1	1987	-	124	-	-	41	0	-	-	-	-	-	-	-
2	1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1990	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
5	1991	367	674	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1993	849	347	86	190	88	93	0	2	137	26	73	121	1992
8	1994	416	148	445	138	27	39	0	0	0	21	82	383	1699
Rata-rata		544.9	323.3	255.5	164.0	52.0	44.0	0.0	1.0	45.7	15.7	77.5	252.0	1,774.8

Keterangan : - Lokasi pengukuran : Ketinggian : 4 meter di atas muka air laut.

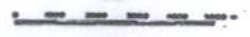
CURAH HUJAN STASIUN 25b, SIKOPEK, KEC. KALIWUNGU, KAB. KENDAL, TAHUN 1987 - 1994
 (SUMBER : BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA, STASIUN KLIMATOLOGI KLAS I SEMARANG)

No.	Tahun	Curah hujan (mm)												Jumlah
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
1	1987	-	293	-	-	76	7	-	-	-	-	-	84	-
2	1988	34	252	187	32	149	13	76	18	47	157	90	562	1647
3	1989	164	692	99	91	177	141	43	24	0	95	295	365	2186
4	1990	1107	164	337	205	130	-	-	-	97	34	79	294	-
5	1991	368	715	143	176	47	0	4	4	0	0	57	498	2010
6	1992	141	79	160	108	170	23	12	60	130	144	135	62	1217
7	1993	840	341	111	214	102	85	0	7	112	10	60	93	1975
8	1994	431	164	397	108	33	45	0	0	0	15	145	300	1638
Rata-rata		447.6	326.3	204.9	133.4	110.5	44.9	22.5	18.8	55.1	65.0	100.0	376.3	1,927.0

Keterangan : - Lokasi pengukuran : Ketinggian : 4 meter di atas muka air laut.



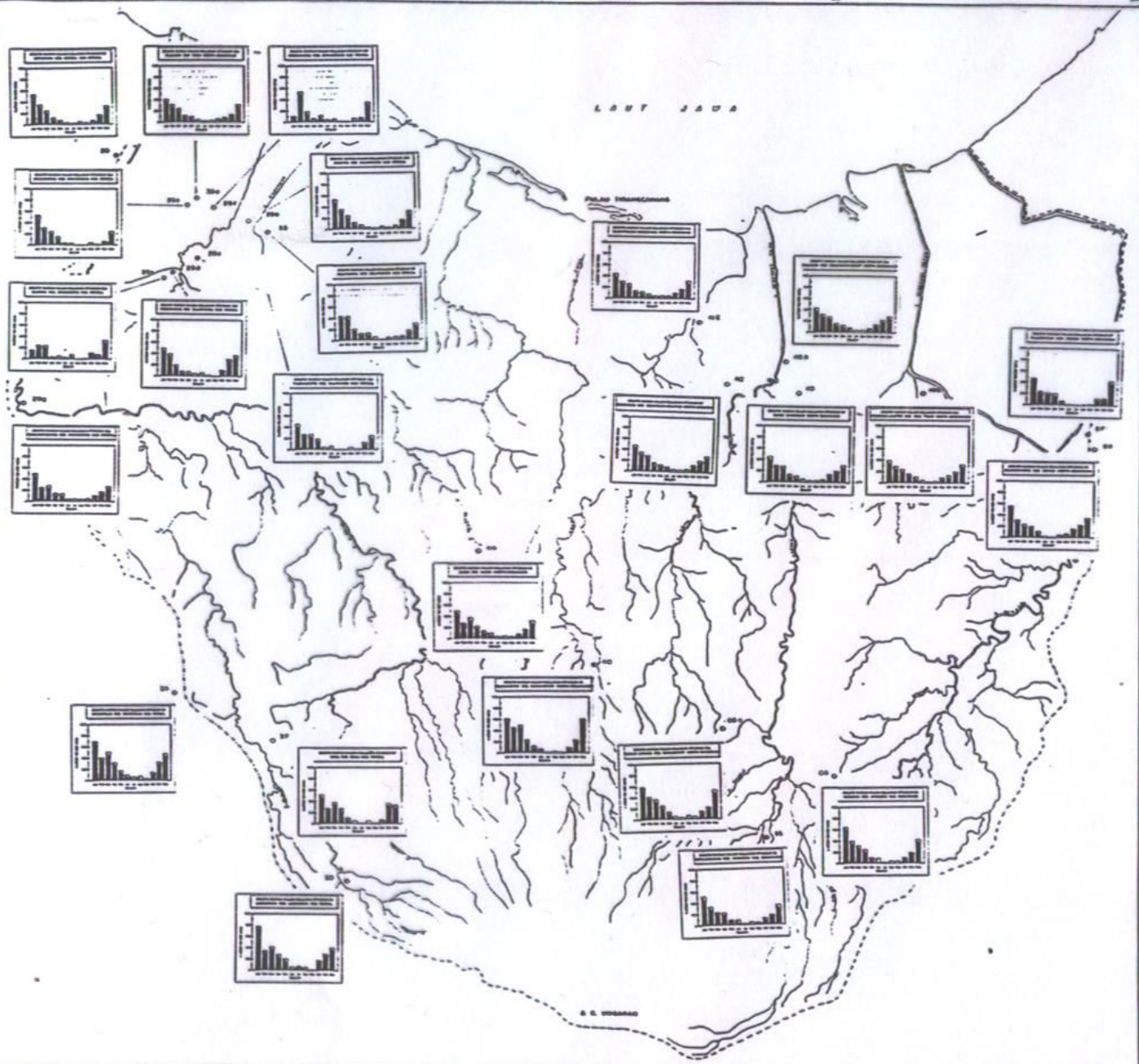
PETA GRAFIK CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN DAERAH SEMARANG DAN SEKITARNYA (Batas : Daerah Rebasan Sungai 1000-1000)

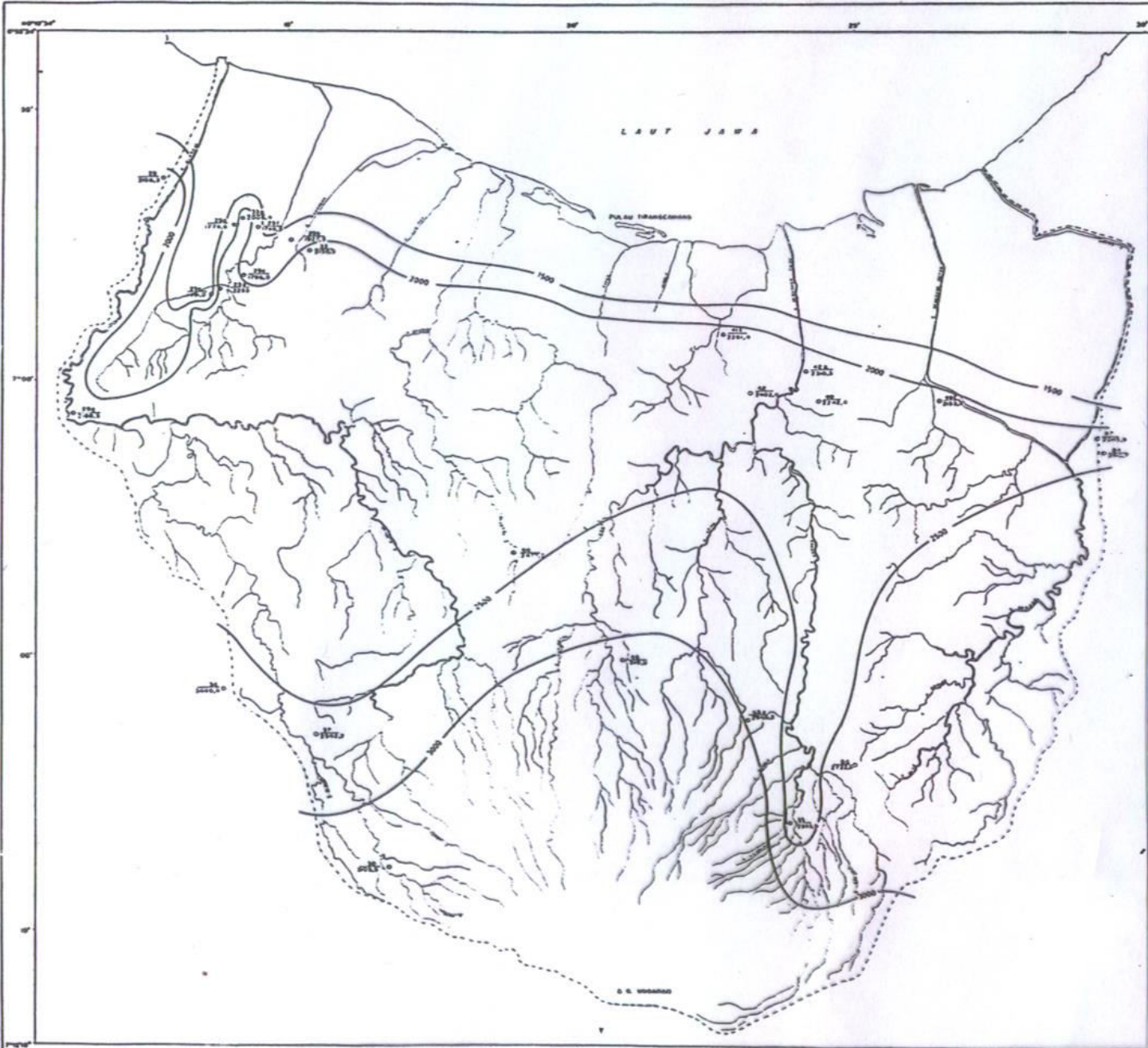


SKALA:
1:250.000

KETERANGAN

- BAWA BENTANG PENGLINTAS
- BAWAJAR
- STASIUN HUKUM





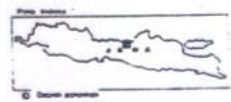
**PETA ISOHET
DAERAH SEMARANG DAN SEKITARNYA
RATA-RATA TAHUNAN**
(SRTS - Tahun 1964/1965)



1:50,000
Tahun 1964/1965
SRTS

KEY

- Batas Daerah Persebaran
- Sungai
- 2000' Contour interval 200' north
- Contour interval





MENENTUKAN CURAH HUJAN SUATU DAERAH :

1. Metode Aritmathic Mean:

Tinggi curah hujan rata-rata didapat dari harga rata-rata curah hujan dari beberapa stasiun penakar curah hujan yang dekat.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n}$$

Dimana :

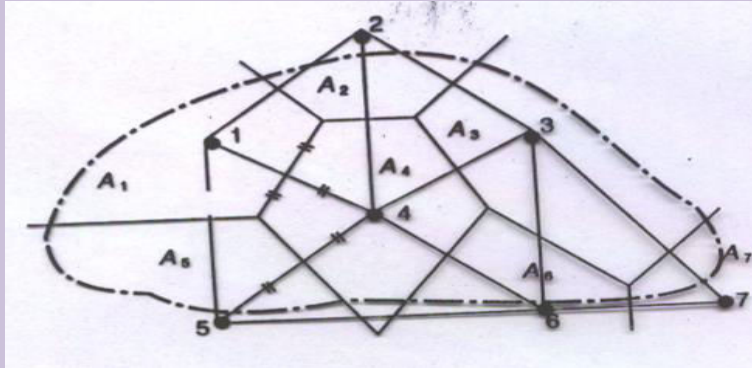
d = Curah hujan rata-rata daerah yang ditentukan.

d₁, d₂, d₃, ..., d_n = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, 3, ..., n.

n = Banyaknya pos penakar curah hujan.

2. Metode Poligon Thiessen:

Metode ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus dengan garis penghubung di antara 2 pos penakar yang terdekat.



$$d = \frac{A_1.d_1 + A_2.d_2 + A_3.d_3 + \dots + A_n.d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

Dimana :

d = Curah hujan rata-rata daerah yang ditentukan.

d₁, d₂, d₃, ..., d_n = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, 3, ..., n.

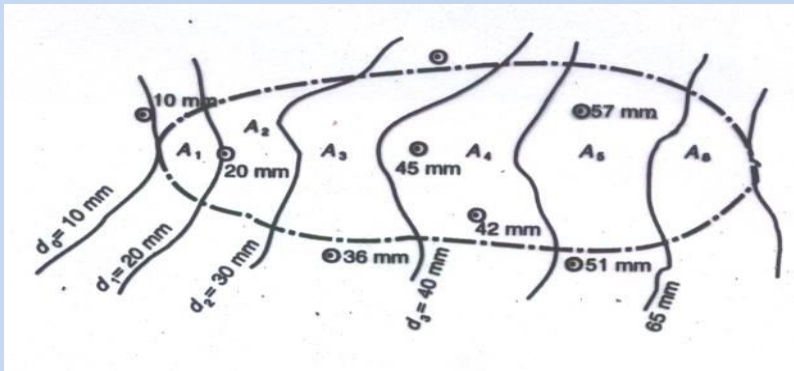
A₁, A₂, A₃, ..., A_n = Luas daerah pengaruh pos penakar 1, 2, 3, ..., n.

n = Banyaknya pos penakar curah hujan.



3. Metode Isohiet:

- Metode ini dilakukan dengan cara membuat peta kontur isohiet berdasarkan data tinggi curah hujan (bisa berdasarkan data curah hujan bulanan dan atau tahunan).
- Dalam menarik garis kontur isohiet harus memperhatikan pola kontur topografinya karena suatu titik di permukaan yang mempunyai ketinggian yang sama dan berdekatan akan mempunyai tinggi curah hujan yang relatif sama.
- Luas bagian di antara isohiet diukur dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang nilai kontur.



$$d = \frac{\frac{d_0+d_1}{2} A_1 + \frac{d_1+d_2}{2} A_2 + \frac{d_2+d_3}{2} A_3 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

Dimana :

d = Curah hujan rata-rata daerah yang ditentukan.

$d_0, d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Tinggi curah hujan pada kontur isohiet 0, 1, 2, 3, ..., n.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah yang dibatasi kontur isohiet 0 dan 1, 1 dan 2, ..., n-1 dan n.

n = Banyaknya pos penakar curah hujan.



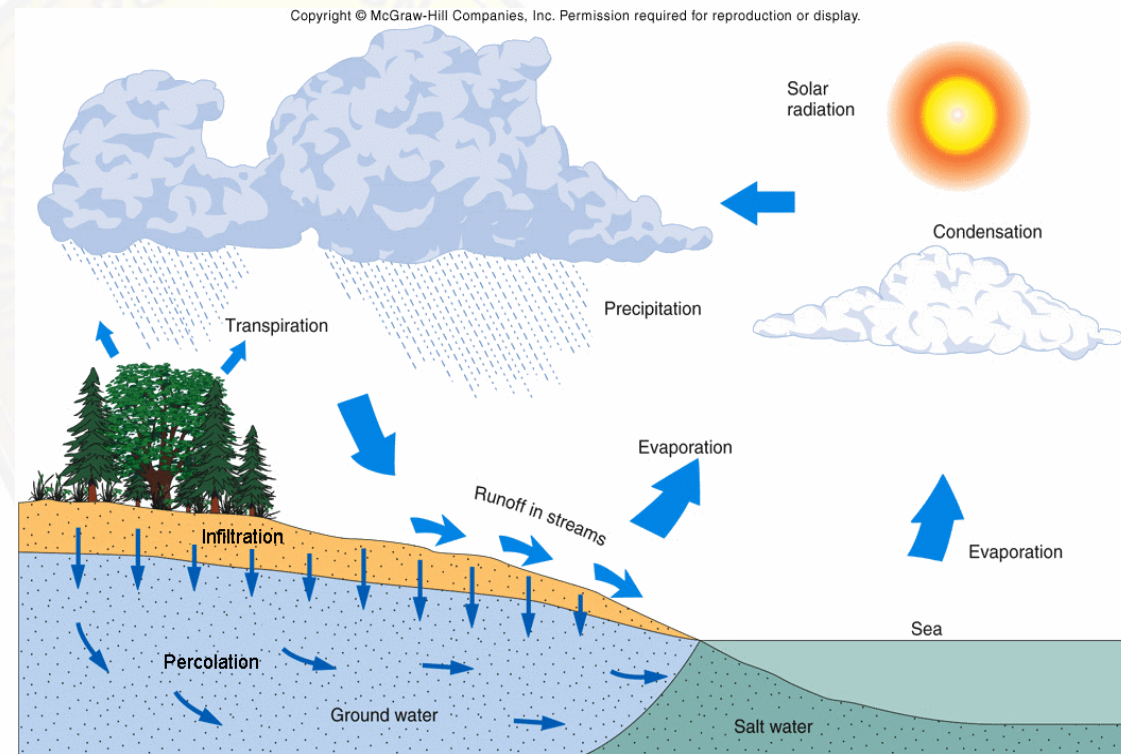
Resapan

- Merupakan aliran tak jenuh (*unsaturated groundwater movement*)
- Gerakan air secara vertikal, dominan.
- Air bergerak menuju ke tempat dengan harga K (konduktifitas hidrolika) lebih besar.
- Gerakan air terjadi segera setelah dan selama hujan (presipitasi).



Gerakan air permukaan ke bawah permukaan secara vertikal: Infiltrasi

- Infiltrasi dipengaruhi oleh:
 - Gaya gravitasi
 - Porositas tanah/batuan
 - Permeabilitas tanah/batuan
 - Vegetasi



Mengukur Infiltrasi menggunakan Ring Infiltrometer (Metode Bouwer)

- Single ring
- Double ring
- Alat berupa silinder bergaris tengah 1 m
- Dalam metode ini air dianggap hanya bergerak secara vertikal ke bawah
- Untuk meminimalkan gerakan horizontal, digunakan double ring infiltrometer





Persamaan Horton, untuk mengukur besarnya infiltrasi

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\beta t}$$

- f_p = infiltrasi dalam waktu t (cm/det)
- f_0 = infiltrasi dalam waktu 0 (cm/det)
- f_c = kapasitas infiltrasi akhir (cm/det)
- β = parameter empirik tetap



Persamaan Green-Ampt

$$f = A/F + B$$

f = besarnya infiltrasi

F = infiltrasi akumulatif

A dan B = parameter tetap yang tergantung pada kandungan air awal, kondisi permukaan, dan properti tanah



Single ring & Double ring infiltrometer



- Dalam suatu percobaan menggunakan *double ring infiltrometer*, hitunglah besarnya infiltrasi dalam cm/det, jika diketahui 10 liter air bergerak ke bawah dari *central ring* yang berdiameter 10 inci dalam waktu 1 jam, sementara garis tengah *double ring infiltrometer* adalah 30 inci.





Luahan

- Merupakan aliran jenuh (*saturated movement*).
- Gerakan air secara horizontal lebih dominan.
- Airtanah bergerak menuju ke tempat dengan harga K lebih kecil.
- Gerakan terjadi sepanjang waktu, selama head (muka airtanah masih berada di atas permukaan tanah).

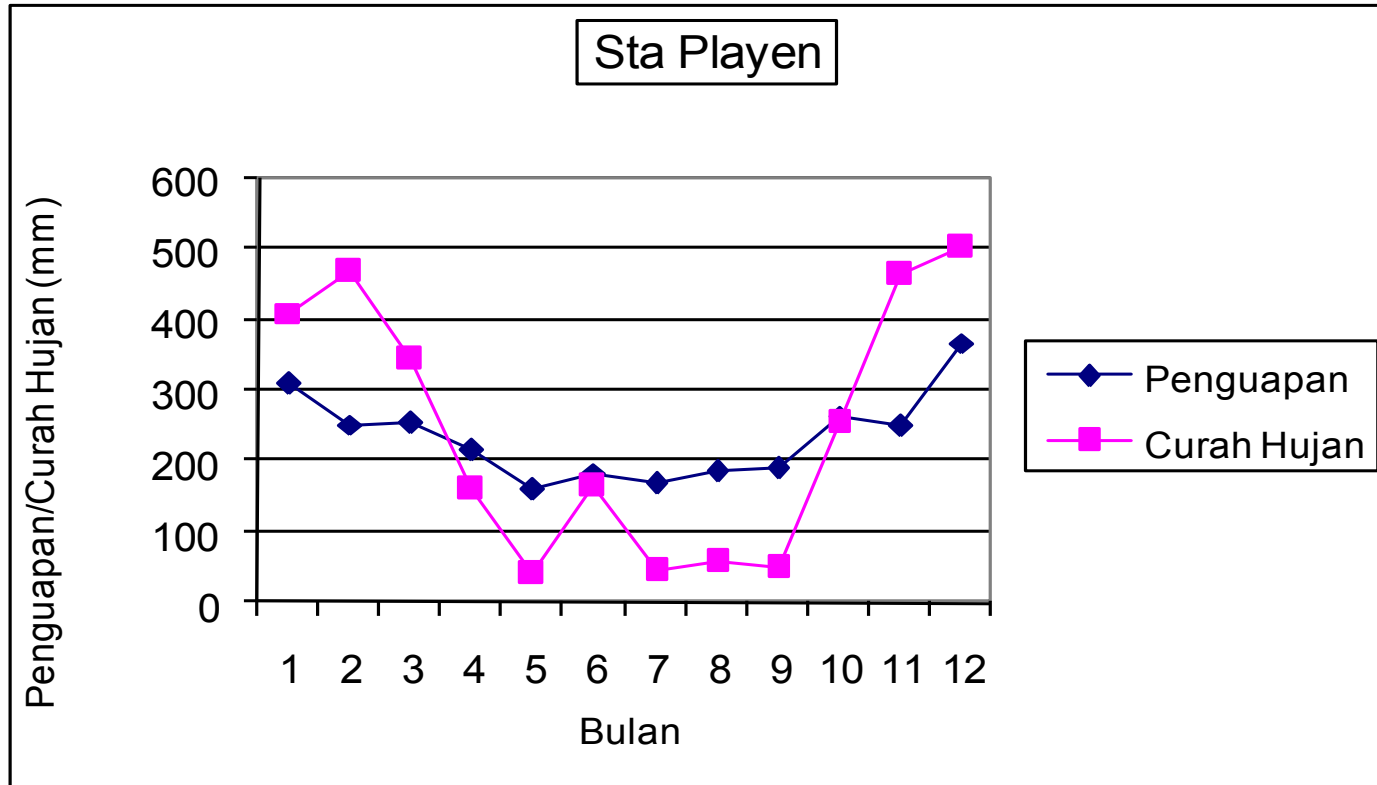


Contoh Neraca Air Daerah Wonosari

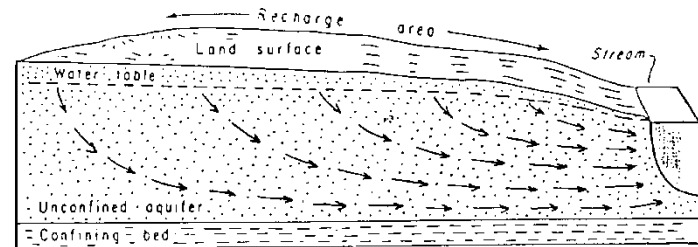
Jumlah air yang meresap (m ³)	Jumlah air yang meluahkan (m ³)	Selisih simpanan (m ³)
Plato Wonosari: 11.328.187 Gunungsewu : 170.169.000	Muara Baron : 24.872.432 Ngobaran : 867.240 Sili : 214.444 Sundak : 867.240 Semurup : 914.544	154.385.688
Jumlah : 181.497.187	Jumlah : 27.111.499	



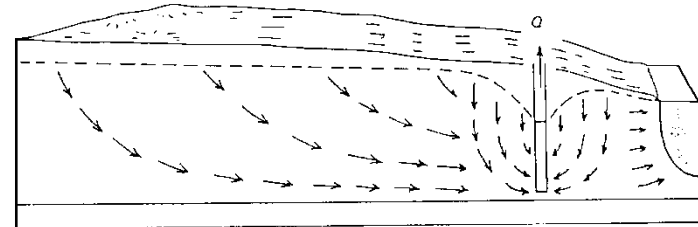
Neraca Air secara kasar: Curah Hujan vs Penguapan



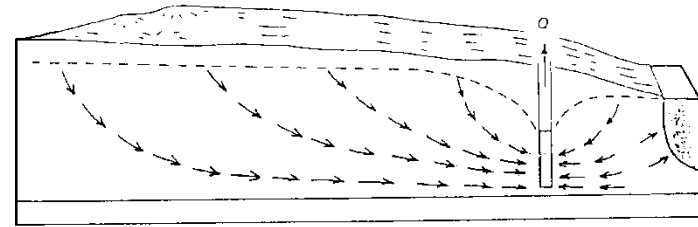
Water Budget antara Resapan dan Luahan



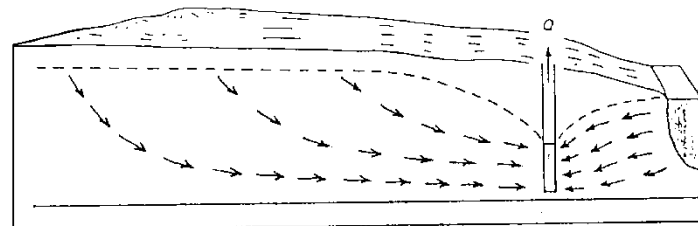
$$\text{Discharge (D)} = \text{Recharge (R)} \quad (1)$$



$$\text{Withdrawal (Q)} = \text{Reduction in storage } (\Delta S) \quad (2)$$



$$\text{Withdrawal (Q)} = \text{Reduction in storage } (\Delta S) + \text{Reduction in discharge } (\Delta D) \quad (3)$$



$$\text{Withdrawal (Q)} = \text{Reduction in discharge } (\Delta D) + \text{Increase in recharge } (\Delta R) \quad (4)$$





Water Budget

Bila suatu saat ada perbedaan antara besarnya *discharge* dan *recharge*, maka akan terjadi perubahan dalam simpanan airtanah (S) sebesar ΔS .

$$D = R + \Delta S$$

$$D - S = \Delta S$$

Bila resapan $>$ luahan, maka S bertambah sebesar ΔS

$$D = R - \Delta S$$

$$R = D + \Delta S$$



Water Budget

Bila pemompaan melalui suatu sumur dimulai, maka akan terbentuk kerucut penurunan. Airtanah yang semula tersimpan, berkurang sebesar Q .

$$Q = \Delta S$$

Q = volume air yang dipompa keluar per satuan waktu
= debit pemompaan.

Bila pemompaan dilanjutkan, dan kerucut penurunan meluas ke arah daerah luahan, maka luahan alami akan berkurang sebesar ΔD .

Bila ΔD sama dengan Q , maka :

$$(D - \Delta D) + Q = R$$



Water Budget

Bila kerucut penurunan meluas ke arah daerah resapan, hal ini akan memberi kesempatan lebih banyak air untuk meresap (karena ada ruang kosong di dalam auifer), maka yang terjadi adalah penningkatan resapan alami sebesar ΔR .

$$\text{Jadi : } D + Q = R + \Delta R$$

Bila kerucut penurunan berhenti meluas, dengan kata lain terjadi aliran tunak (steady flow), maka debit pemompaan akan seimbang dengan penurunan resapan alami, dan atau seimbang dengan peningkatan luahan alami.

$$Q = \Delta D + \Delta R \quad \text{atau}$$

$$Q = \Delta D \quad \text{atau}$$

$$Q = \Delta R$$

•SOAL .

Berapa besar (dalam m^3) air hujan yang mengisi air tanah di DAS “P” pada bulan Januari 2004 apabila diketahui : Luas DAS “P” = $201,5 \text{ km}^2$; $CH = 662,66 \text{ mm}$; $ET = 101,04 \text{ mm}$; $BF = 1,3 \text{ m}^3/\text{dtk}$; $RO = 4,3 \text{ m}^3/\text{dtk}$.



•SOAL .

Berapa besar (dalam m³) air hujan yang mengisi air tanah di DAS “P” pada bulan Januari 2004 apabila diketahui : Luas DAS “P” = 201,5 km²; CH = 662,66 mm; ET = 101,04 mm; BF = 1,3 m³/dtk; RO = 4,3 m³/dtk.

JAWAB :

$$\text{Luas DAS} = 201,5 \text{ km}^2 = 201.500.000 \text{ m}^2.$$

$$\text{CH} = 662,66 \text{ mm/bl} = 0,66266 \text{ m/bl}.$$

$$\text{CH pada DAS "P"} = 0,66266 \times 201.500.000 \text{ m}^3 = 133.525.990 \text{ m}^3/\text{bl}.$$

$$\text{ET} = 101,04 \text{ mm/bl} = 0,10104 \text{ m/bl}.$$

$$\text{ET pada DAS "P"} = 0,10104 \times 201.500.000 \text{ m}^3 = 20.359.560 \text{ m}^3/\text{bl}.$$

$$\text{BF} = 1,3 \text{ m}^3/\text{dtk} = 1,3 \times 60 \times 60 \times 24 \times 31 \text{ m}^3/\text{bl} = 3.481.920 \text{ m}^3/\text{bl}.$$

$$\text{RO} = 4,3 \text{ m}^3/\text{dtk} = 4,3 \times 60 \times 60 \times 24 \times 31 \text{ m}^3/\text{bl} = 11.517.120 \text{ m}^3/\text{bl}.$$

$$\text{dS} = \text{CH} - \text{ET} - \text{RO} - \text{BF} = 98.167.390 \text{ m}^3/\text{bl}.$$



**TERIMA KASIH
ATAS PERHATIANNYA**