

KD 3

- Memahami dan menganalisis aliran di saluran alam dan debit rencana

Kuliah 3.1

- **Menjelaskan cara mengukur kecepatan dan cara menyajikan hasil pengukuran aliran**
- **Menjelaskan cara mendapatkan debit rencana**

**CARA MENGUKUR KECEPATAN DAN
CARA MENYAJIKAN HASIL
PENGUKURAN ALIRAN**

**CARA MENDAPATKAN DEBIT
RENCANA**

Kuliah 3.2

- Menjelaskan cara mendapatkan hidrograf satuan dari data observed
- Menjelaskan cara mendapatkan hidrograf satuan sintetis

CARA MENDAPATKAN HIDROGRAF SATUAN DARI DATA OBSERVED

Analisis Hidrograf

Definisi hidrograf

- grafik hubungan antara waktu dan distribusi run off

Analisis ICC

- berdasarkan basin berukuran besar dan kecil (< 10 ha)

DAS atau Basin

Basin kecil

- Basin kecil → data curah hujan → intensitas hujan
- data debit → akibat curah hujan (di atas)

Basin besar

- Periode ekstra kecil, dibanding dengan waktu terjadinya hujan lebih → diabaikan
- Hidrograf tidak sensitif mengikuti variasi hujan

Prosedur menentukan ICC

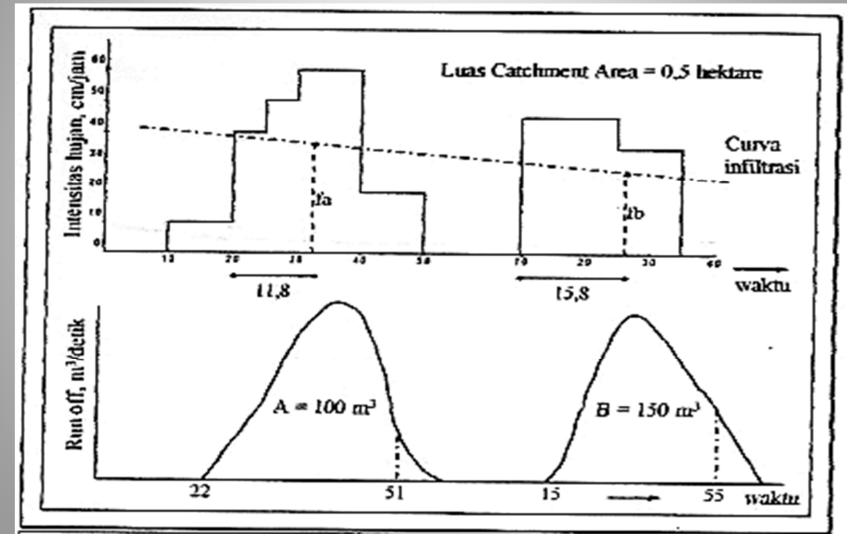
1. Data curah hujan → intensitas hujan dan pola intensitas hujan
2. Data pengukur debit → hidrograf (digambar di bawah dg skala sama)
3. Cari besar hujan yang menyebabkan limpasan → P
4. Cari besar limpasan → luas daerah di dalam hidrograf dibagi luas daerah → Q
5. Cari infiltrasi selama periode tersebut → F=P-Q
6. Cari lama waktu terjadi infiltrasi t:

$$t = \text{waktu selama hujan lebih} + \frac{\text{periode extra}}{3}$$

7. Cari $f = \frac{F}{t}$

plot sebagai ordinat pada jarak t/q dari saat terjadinya hujan lebih pada gambar intensitas hujan

Infiltrasi-hidrograf (basin kecil)



Perhitungan:

$$P_a = \left(40 \times \frac{5}{60}\right) + \left(50 \times \frac{5}{60}\right) + \left(60 \times \frac{10}{60}\right) = 17,5 \text{ cm}$$

$$P_b = \left(45 \times \frac{15}{60}\right) + \left(35 \times \frac{10}{60}\right) = 17,08 \text{ cm}$$

$$Q_a = 100 \text{ m}^3 = \frac{100}{5000} \times 100 = 2 \text{ cm}$$

$$Q_b = 150 \text{ m}^3 = \frac{150}{5000} \times 100 = 3 \text{ cm}$$

$$F_a = P_a - Q_a = 17,5 - 2 = 15,5 \text{ cm}$$

$$t_a = 20 + \frac{51 - 40}{3} = 23,67 \text{ menit} \quad ; t_a/2 = 11,84 \text{ menit}$$

$$f_a = \frac{F_a}{t_a} = \frac{15,5}{23,67} = 39,3 \text{ cm/jam}$$

$$F_b = P_b - Q_b = 17,08 - 3 = 14,08 \text{ cm}$$

$$t_b = 25 + \frac{55 - 35}{3} = 31,67 \text{ menit} \quad ; t_b/2 = 15,84 \text{ menit}$$

$$f_b = \frac{F_b}{t_b} = \frac{14,08}{31,67} = 0,445 \text{ cm/menit}$$

$$= 26,40 \text{ cm/jam}$$

Analisis basin besar

- Data hujan dan data aliran cukup
- Data hujan dan data aliran kurang cukup untuk analisis infiltrasi → indeks ϕ

$$\text{indeks } W = \frac{\text{basin recharge} - I_a}{\text{lama waktu hujan}}$$

(Memisahkan kehilangan permukaan dari infiltrasi)

$$t_a = 20 + \frac{51 - 40}{3} = 23,67 \text{ menit}$$

$$t_a/2 = 11,84 \text{ menit} \quad f_a = \frac{F_a}{t_a} = \frac{15,5}{23,67} = 39,3 \text{ cm/jam}$$

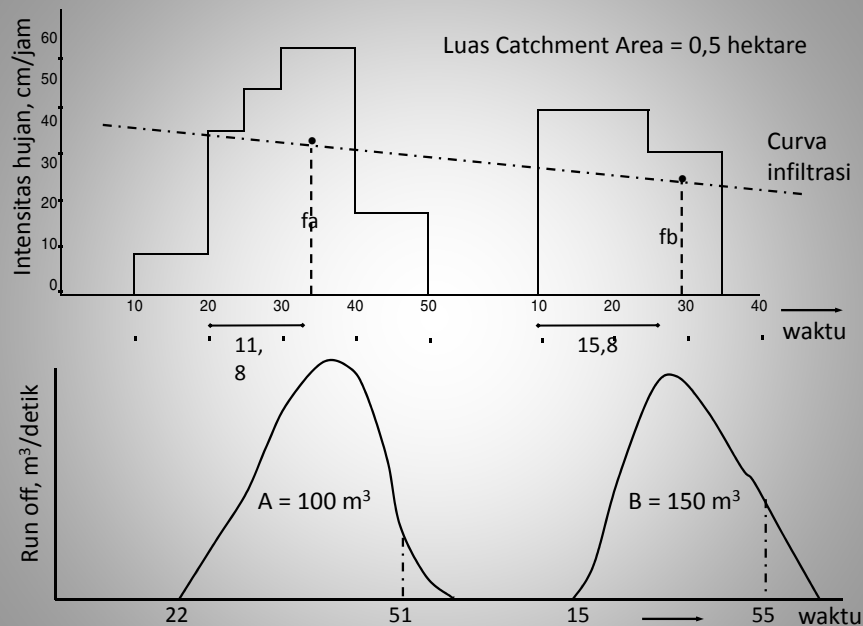
$$F_b = P_b - Q_b = 17,08 - 3 = 14,08 \text{ cm}$$

$$t_b = 25 + \frac{55 - 35}{3} = 31,67 \text{ menit}$$

$$t_b/2 = 15,84 \text{ menit}$$

$$f_b = \frac{F_b}{t_b} = \frac{14,08}{31,67} = 0,445 \text{ cm/menit}$$

$$= 26,40 \text{ cm/jam}$$



$$P_a = \left(40 \times \frac{5}{60} \right) + \left(50 \times \frac{5}{60} \right) + \left(60 \times \frac{10}{60} \right) = 17,5 \text{ cm}$$

$$P_b = \left(45 \times \frac{15}{60} \right) + \left(35 \times \frac{10}{60} \right) = 17,08 \text{ cm}$$

$$Q_a = 100 \text{ m}^3 = \frac{100}{5000} \times 100 = 2 \text{ cm}$$

$$Q_b = 150 \text{ m}^3 = \frac{150}{5000} \times 100 = 3 \text{ cm}$$

$$F_a = P_a - Q_a = 17,5 - 2 = 15,5 \text{ cm}$$

CARA INDEX ϕ

Langkah penyelesaian indeks ϕ :

- Dari data hujan, tentukan intensitasnya, dan gambar sebagai pola intensitas hujan
- Gambarkan hidrograf dari data aliran, tentukan base flow dan aliran langsung
- Jumlahkan aliran langsung, jumlahkan hujan yang ada
- Ubah aliran langsung \rightarrow tebal air
- Basin recharge = $R - \phi$
- Cari lama hujan yang mungkin menyebabkan aliran langsung \rightarrow misal t
- Indeks $\phi = (R - \phi)/t$

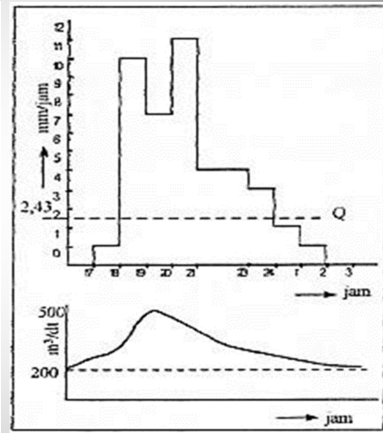
Cek t

- Kontrol apakah indeks $\phi \rightarrow$ hujan efektif yang terjadi – aliran langsung ?
- Jika tidak sama maka:
 - Trial t baru \rightarrow hujan efektif = aliran langsung
 - Gambarkan indeks ϕ pada pola intensitas hujan (sebagai kontrol)

CONTOH

Contoh: Luas CA=250 km²

hujan	mm	jam	m ³ /det	jam	m ³ /det
16-17	0	16	200	3	315
17-18	1	17	200	4	280
18-19	11	18	200	5	260
19-20	8	19	265	6	230
20-21	12	20	425	7	210
20-22		21	490	8	200
22-23	5	22	500	9	200
23-24	4	23	455	10	200
24-1	2	24	425		
1-2	1	1	390		
2-3	0	2	350		



Lanjutan:

Waktu (pk.)	Aliran (m ³ /det)	Aliran dasar (m ³ /det)	Aliran langsung (m ³ /det)
18	200	200	0
19	265	200	65
20	425	200	225
21	490	200	290
22	500	200	300
23	455	200	255
24	425	200	225
1	390	200	190
2	350	200	150
3	315	200	115
4	280	200	80
5	260	200	60
6	230	200	30
7	210	200	10
8	200	200	0
14			1770

- Aliran langsung:

$$\frac{1770 \times 3600}{250 \times 10^6} = 0,0254 = 25,4 \text{ mm}$$
- Trial t = 9 jam
- Basin recharge = 44-25,4 = 18,6 mm
- Indeks ϕ : $\frac{18,6}{9} = 2,1 \text{ m}^3 / \text{jam}$
- Hujan di bawah 2,1 mm/jam tidak efektif
- Kontrol hujan efektif = 40-6.12,1 = 40-12,6 = 27,4 \neq 25,4

Trial lagi:

- Trial t = 6 jam
- Basin recharge = 40 - 25,4 = 14,6 mm
- Indeks ϕ = 14,6/6 = 2,43 m³/jam
- Hujan di bawah 2,43 m³/jam tidak efektif
- Kontrol hujan efektif = 40 - 6.2,43
 - = 40 - 14,58
 - = 25,42 \approx 25,4 mm
- Indeks ϕ = 2,43 m³/jam dapat dipergunakan dengan hujan selama t = 6 jam. (sebagai kontrol plot pada pola intensitas).

CARA MENDAPATKAN HIDROGRAF SATUAN SINTETIS

Metode Unit Hidrograf

Dasarnya adalah karakteristik DAS dan iklim

Sherman (1932): UHG mewakili 1 inch (2,5 cm) limpasan.

Langkah:

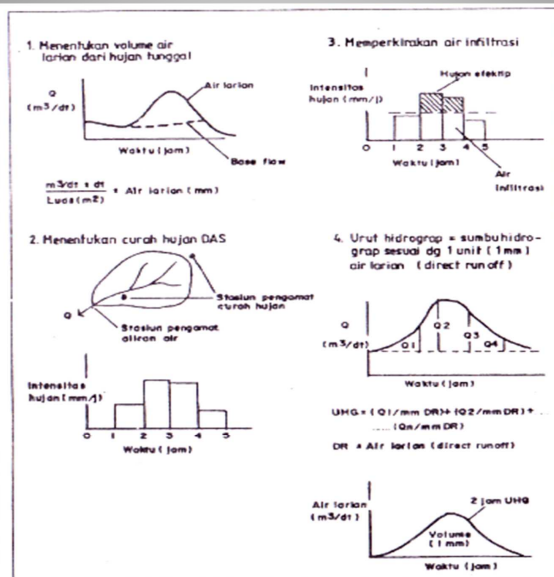
Pelajari debit puncak dengan intensitas merata untuk hujan jangka pendek

Tentukan hidrograf

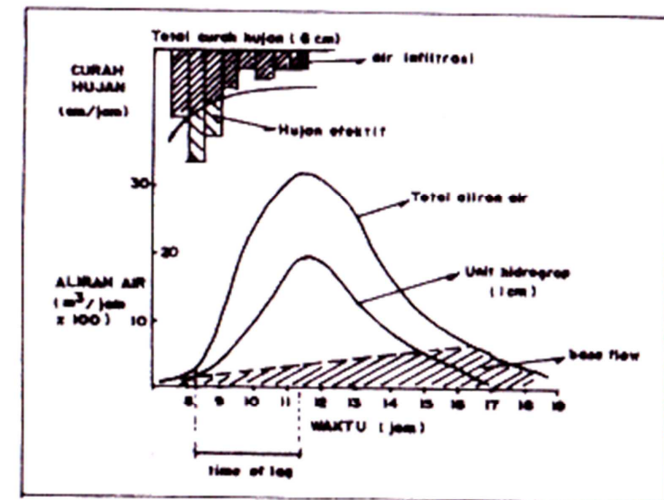
Pisahkan limpasan dan *baseflow*

Tentukan curah hujan merata DAS

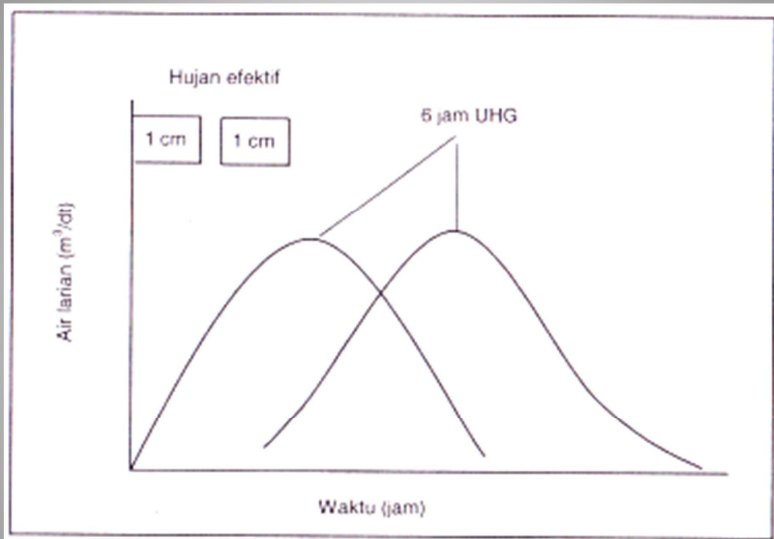
Hitung seluruh vol.



Gambar 4.12 Pembentukan UHG dengan pendekatan curah hujan tunggal (dimodifikasi dari Brooks et al., 1988)



Gambar 4.13 UHG dengan metoda hujan tunggal (dimodifikasi dari Hewlett, 1982, dan Linsley et al., 1975.)



Gambar 4.14 Perubahan satuan waktu UHG dengan teknik tumpang tindih.

Bagian hidrograf:

Kurva naik

- sisi puncak (*rising limb*)

Puncak (*crest*)

Kurva turun

- sisi resesi (*recession limb*)

3 sifat pokok hidrograf:

Waktu naik (*time of rise* atau *time to peak*), TR

Debit puncak (*peak discharge*), Q_p

Waktu dasar (*base time*), TB

Hidrograf satuan

Definisi

- Adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif merata di DAS dengan intensitas tetap (diambil 1mm/jam) dalam satuan waktu yang ditetapkan (diambil 1 jam)

3 prinsip

- (1) menaksir banjir rancangan, (2) mengisi data banjir yg hilang, dan (3) meramal banjir jangka pendek

3 macam hidrograf satuan

Hidrograf limpasan langsung

- hidrograf unit periode tunggal (dengan durasi hujan efektif tunggal).

Lengkung S

- → hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan menerus dengan intensitas hujan efektif konstan dan durasi tak terhingga.

Hidrograf satuan kejut (*Instantaneous Unit Hydrograf= IUH*)

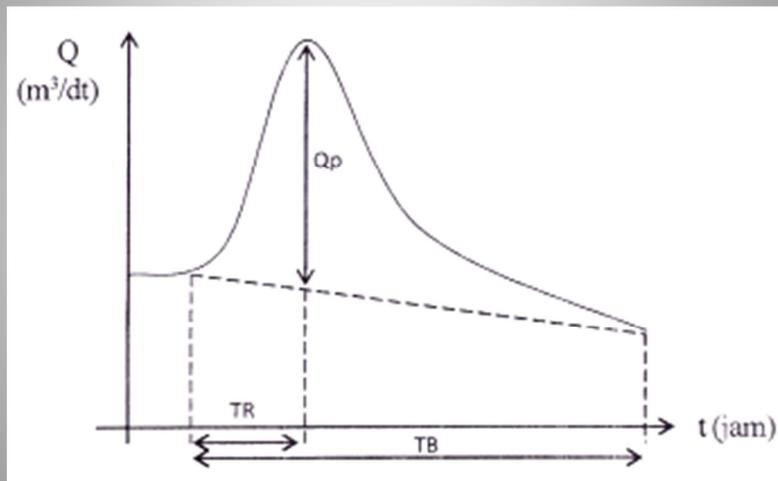
- → hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif setinggi d mm dan durasi nol (ada perubahan waktu yg spesifik).

HIDROGRAF LANGSUNG

Lengkung S

- Jika $d = 1$ mm, maka Q_{maks} : $Q_{maks} = \frac{2,78A}{t_1}$
 Q_{maks} = ordinat maks lengkung S (m^3/det)
 A = luas DAS (km^2)
 t_1 = durasi hujan hidrograf satuan (jam)
- Efek hujan menerus didapat dengan menjumlahkan ordinat-ordinat deretan hidrograf

Hidrograf aliran langsung didapat dengan memisahkan hidrograf aliran dasarnya dari *discharge hydrograph*.



HKS = IUH

- S_t = lengkung S akibat hujan menerus sebesar 1 mm/jam.
- Lengkung S_{t+T} = lengkung yang sama tetapi digeser T jam ke kanan. → ordinat hidrograf satuan periode T dan tinggi iT . Maka:

$$U(t, T)_{\text{tinggi } iT} = S_t - S_{t-T} \quad \text{atau}$$

$$U(t, T)_{\text{tinggi } d} = S_t - S_{t-T}$$

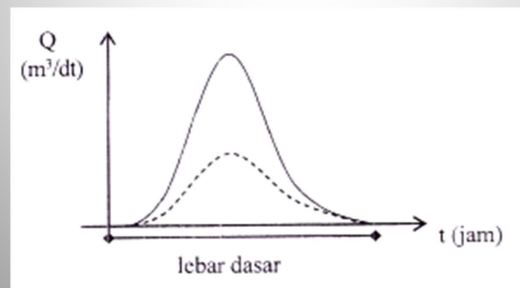
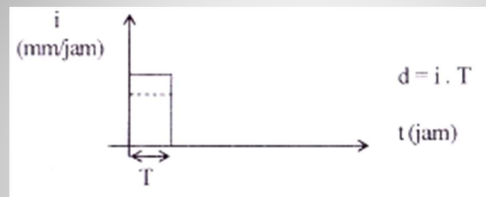
Konsep dasar Hidrograf Satuan

Lebar dasar konstan

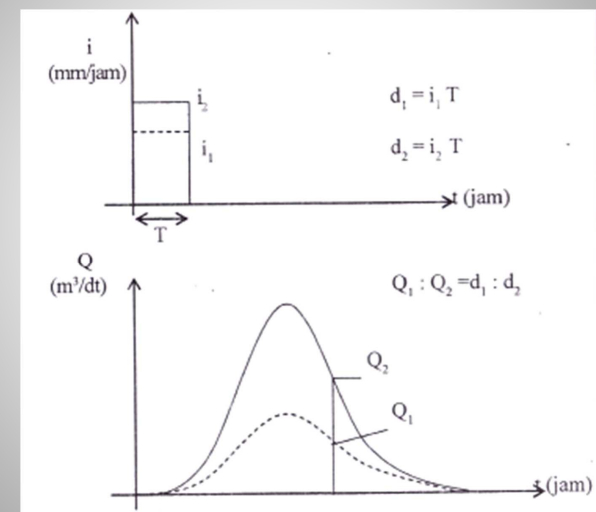
Prinsip linearitas

Prinsip Superposisi

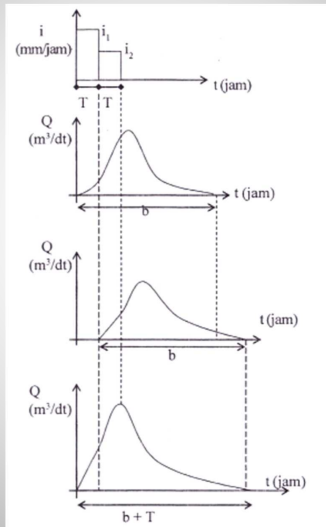
Lebar dasar konstan



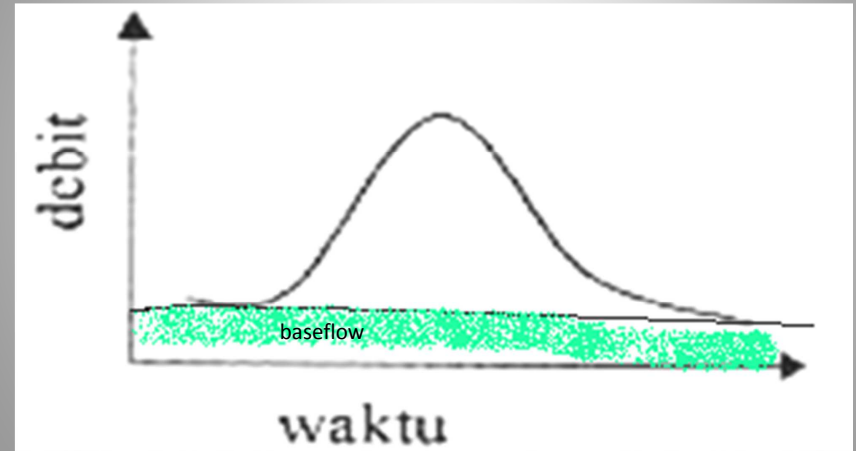
Prinsip linearitas



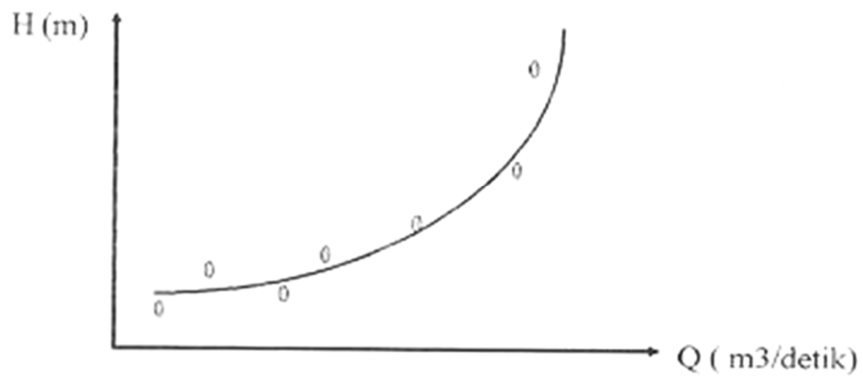
Prinsip superposisi



hidrograf



Rating curve:



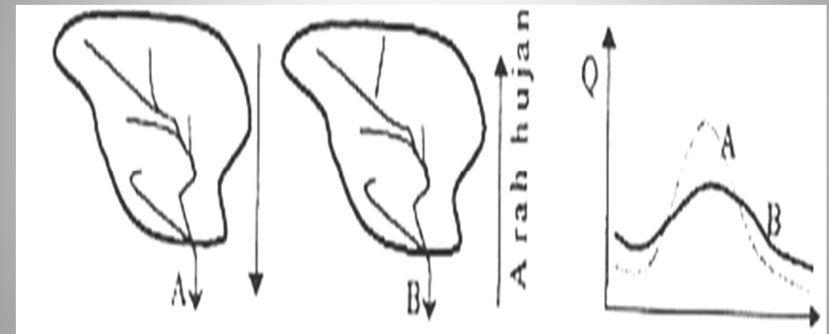
Hidrograf berdasarkan bentuk DAS



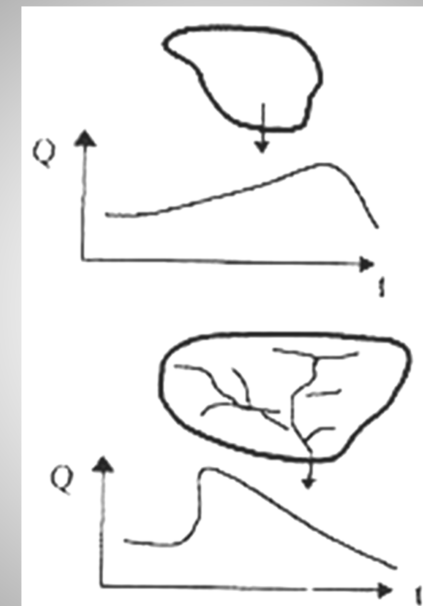
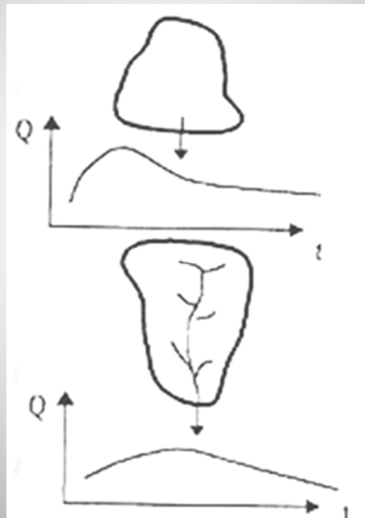
Keduanya dengan asumsi kemiringan sama

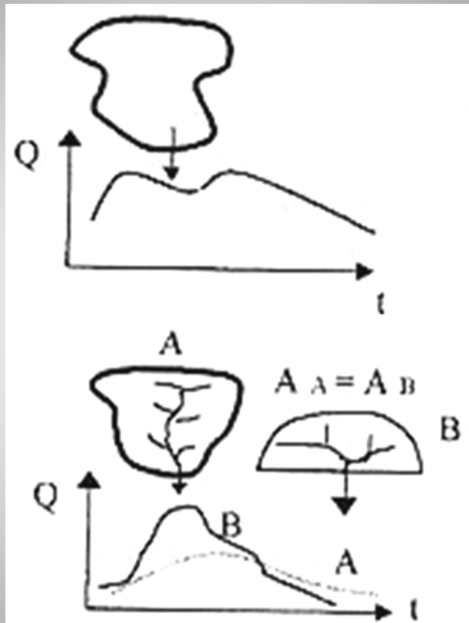


Perbedaan arah hujan berbeda juga hidrografnya

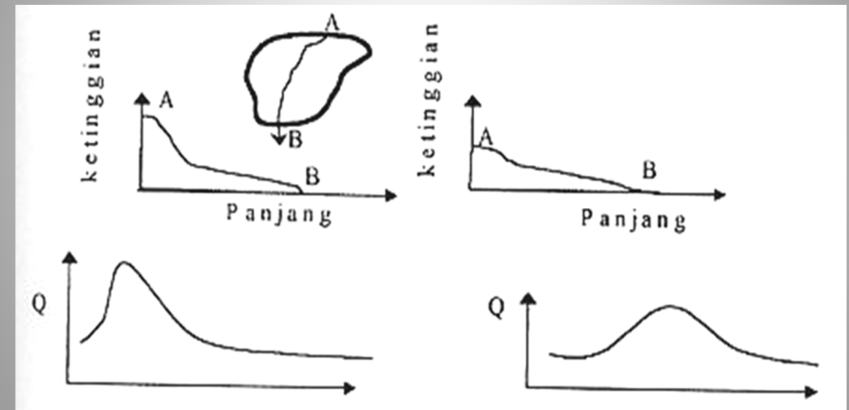


Bentuk hidrograf berbeda, hidrograf berbeda

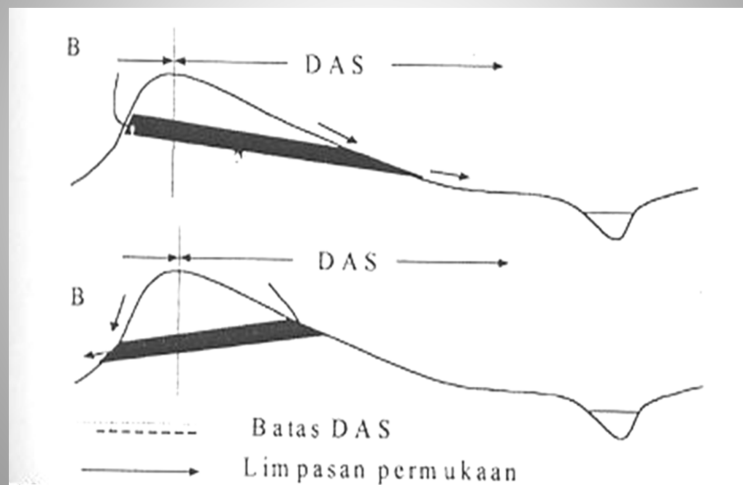




Curah hujan sama, DAS berbeda



Cross section pada batas DAS



Kuliah 3.3

- Menjelaskan jenis kegunaan debit rencana
- Menjelaskan cara mendapatkan hujan rencana

JENIS KEGUNAAN DEBIT RENCANA

Beberapa pengertian:

- Analisis hidrologi → proses pengalihragaman (transformasi) hujan → debit melalui sistem DAS
- Output : perkiraan besar Q atau R Rencana untuk suatu bangunan air tertentu

Q/R renana design flood

- → nilai kala ulang (return periode) yang ditetapkan → T
- Pada T → bangunan masih harus berfungsi baik, minimal selama T tahun (secara struktural/fungsional)

Besaran banjir untuk menentukan dimensi bangunan hidrolika sehingga kerusakan yang ditimbulkan tidak boleh terjadi selama besaran banjir itu tidak terlampaui.

Design flood

Debit puncak	Volume banjir	TMA	hidrograf
--------------	---------------	-----	-----------

Penetapan banjir rancangan (QR)



Analisis hidrologi (dalam praktek)

Teknis/cara penetapan dipengaruhi:

Data yang ada

Tingkat ketelitian

DAS yang ditinjau

Banjir maksimum terukur

Bila data tak ada sama sekali

Digunakan pada kondisi terpaksa

Digunakan pada tahap awal perencanaan (FS)

Rumus empirik → berdasarkan pengamatan percobaan

Digunakan bila: data sedikit, das kecil

Menghasilkan debit puncak yang tergantung parameter DAS

Misal Rumus Rasional: $Q=c.i.A$

Banyak kesalahan dibandingkan cara statistik → tergantung besaran C yang digunakan → subyektip

Biasanya diabaikan

	I	A	Q
Q = 1,008 C.i.A	Inci/jam	acre	cfs = f ³ /det
Q = 0,278 C.i.A	Inci/jam	Km ²	m ³ /det
Q = 0,278 C.i.A	Inci/jam	ha	l/det

CARA MENDAPATKAN INTENSITAS HUJAN

Rumus Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = waktu curah hujan (jam)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Rumus Talbot

$$I = \frac{a}{t + b}$$

$$a = \frac{[I \cdot t][I^2] - [I^2 \cdot t][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I \cdot t] - N[I^2 \cdot t]}{N[I^2] - [I][I]}$$

Rumus Sherman

$$I = \frac{a}{t^n}$$

$$\log a = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t \cdot \log I][\log t]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]}$$

$$n = \frac{[\log I][\log t] - N[\log t \cdot \log I]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]}$$

Rumus Ishiguro

$$I = \frac{a}{vt + b}$$

$$a = \frac{[I \cdot vt][I^2] - [I^2 \cdot vt][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I \cdot vt] - N[I^2 \cdot vt]}{N[I^2] - [I][I]}$$

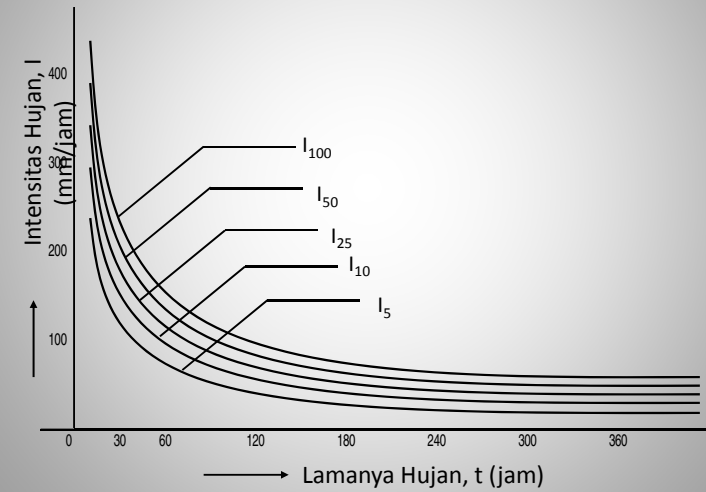
I = intensitas curah hujan
(mm/jam)

t = waktu curah hujan
(menit)

a, b, n = konstanta

N = jumlah data

Intensity Duration Frequency (IDF) (Halim Perdana Kusumah - Jakarta)



UJI KD 3

KD 4

- Memahami dan menganalisis penelusuran aliran permukaan, aliran di tampungan dan aliran sungai

Kuliah 4.1

- **Menjelaskan perjalanan air di permukaan bumi**
- **Menjelaskan cara untuk mengetahui kecepatan dan aliran permukaan dengan cara penelusuran aliran**

PERJALANAN AIR DI PERMUKAAN BUMI → ALIRAN SUNGAI

istilah

- Debit: volume per satuan waktu di sungai
- Limpasan: air yang keluar dari *outlet*
- Limpasan permukaan: limpasan yang lewat atas permukaan tanah.
- limpasan bawah permukaan: limpasan yg lewat bawah permukaan tanah ke *outlet* → aliran permukaan.
- limpasan bulanan: debit rerata bulanan.
- limpasan tahunan: debit rerata tahunan
- Hidrograf: hubungan aliran vs waktu (*stage* atau *discharge hydrograph*)
- aliran dasar: debit minimum sungai (dr akuifer)

- waktu konsentrasi: waktu yang diperlukan dari titik terjauh DAS mencapai *outlet* atau stasiun pengukur debit.
- kurva massa: grafik aliran kumulatif terhadap waktu.
- *stage hydrograf*: hidrograf pengamatan.
- *discharge hydrograf*: merupakan *rating curve* (hidrograf debit) yang diubah dari *stage hydrograph*.

Aliran Dasar (*baseflow*)

- Straight line method
- Fixed based line method
- Variable slope method

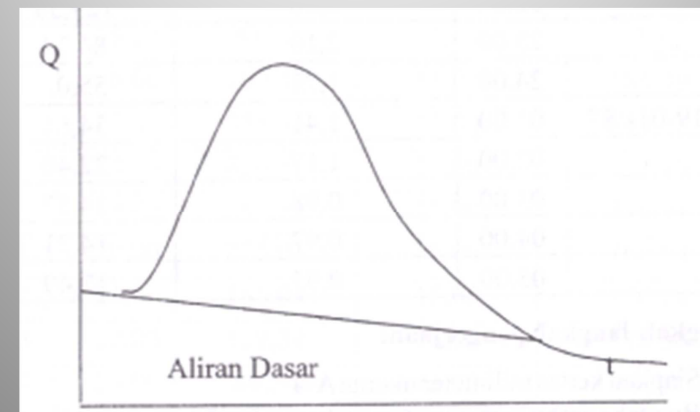
Aliran Dasar (*baseflow*)

Straight line method

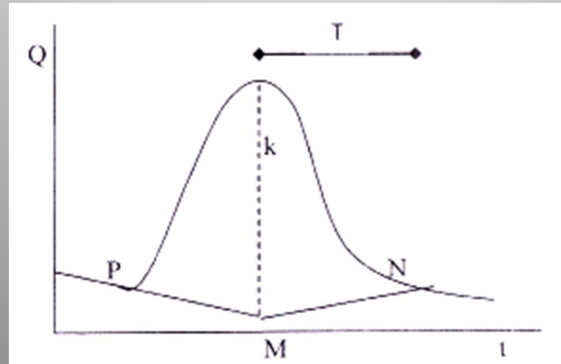
Fixed based line method

Variable slope method

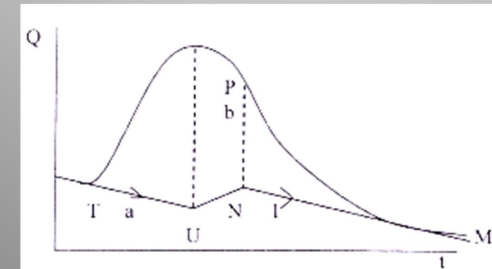
Straight line method → menghubungkan titik saat limpasan mulai (pada titik belok atau *inflection point*) dengan titik pemisahan aliran dasar (pada titik belok atau *inflection point*).



Fixed based line method → dimulai dari garis singgung pada saat limpasan (titik belok P atau *inflection point*), berpotongan dengan garis vertikal yg melalui puncak dan sejajar sumbu Q, di titik M, kemudian dihubungkan dengan perpotongan antara grs vertikal sejauh T dari puncak dan sejajar sumbu Q dengan akhir hidrograf.



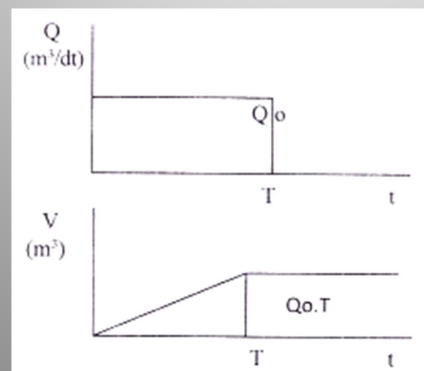
Variable slope method → aliran dasar dimulai dari garis singgung pada awal periode limpasan (titik belok: T. *inflection point*) hingga memotong garis vertikal yang melalui puncak hidrograf dan sejajar dengan sumbu Q (vertikal), yaitu titik U. Kemudian dibuat garis singgung pada akhir resesi (M, titik belok di akhir hidrograf yang memotong garis yang melalui titik belok (titik P) di bagian kurva turun sejajar sumbu Q di titik M.



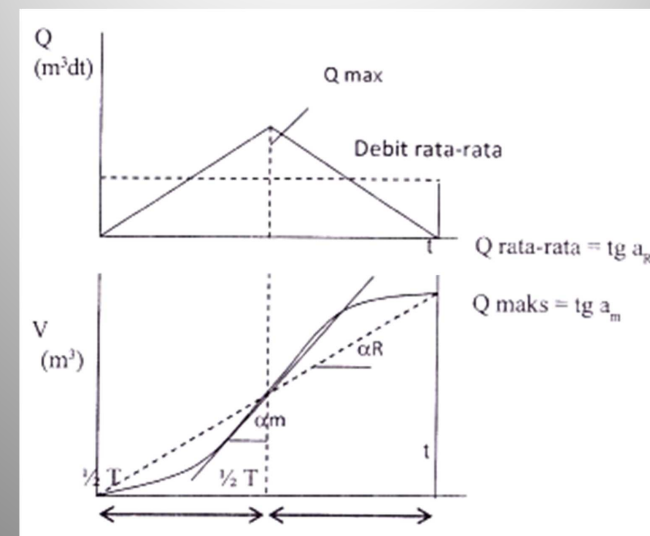
Kurva massa → penyajian grafis aliran komulatif terhadap waktu.

→ vol.air dari t=0 sampai t=t → kurva massa=f(t)

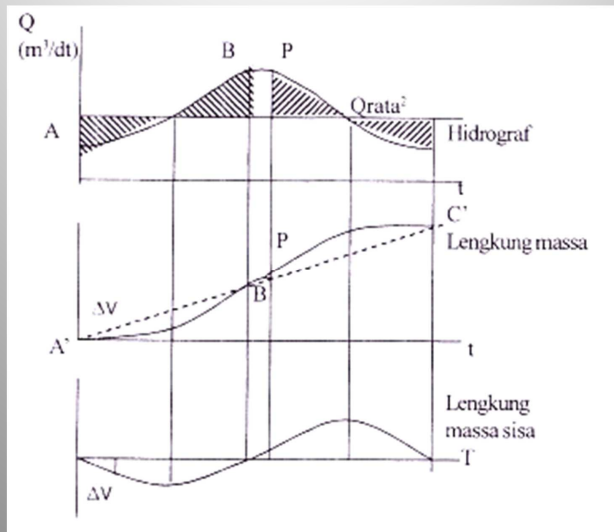
- $Q=Q_0$ (konstan) $V = \int_0^t Q dt \rightarrow Q = \frac{dV}{dt}$



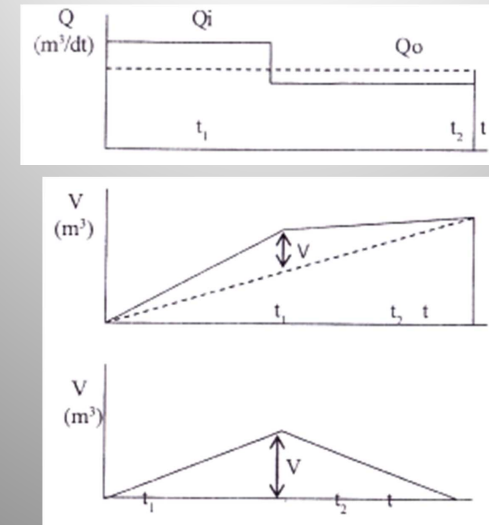
Jika debit berbentuk segitiga maka $V(t)=0,5 \cdot Q_{maks} \cdot T$



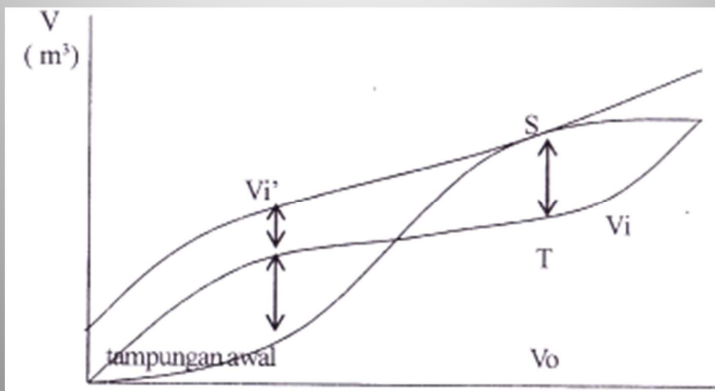
Jika debit sebarang



Kurva massa dengan Q_i dan Q_o konstan \rightarrow waduk



Kurva massa dengan Q_i dan Q_o tertentu \rightarrow waduk



pengukuran

- hidrometri

sungai

- Dibagi ada/tidaknya aliran sepanjang tahun

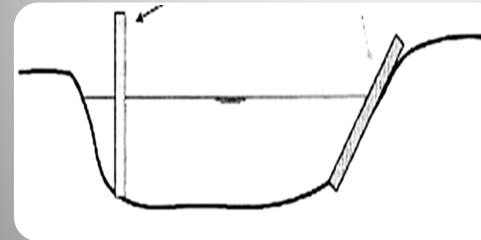
hidrometri

- Mengukur el. ma / tinggi ma
- Mengukur debit

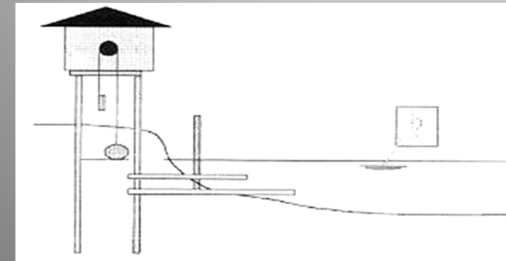
Jenis sungai

- Ephemeral river
- Intermitten river
- Perennial river

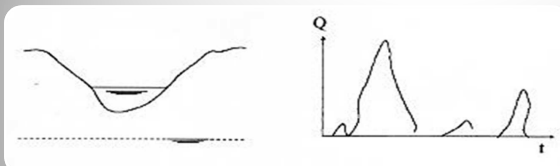
Pengukuran m.a



Manual: papan duga

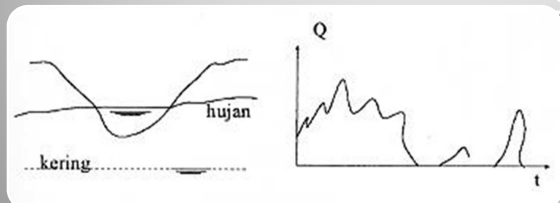


Otomatis: AWLR
(automatic water level recorder)



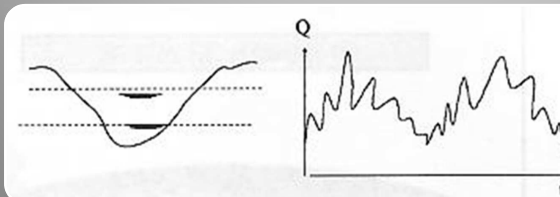
Ephemeral rivers

- Ada aliran bila hujan saja
- El.mat < el.dasar sungai



Intermitten rivers

- Ada aliran musim hujan, musim kemarau
- El.mat < el.dasar sungai, hanya pd musim kemarau



Perennial rivers

- Ada aliran sepanjang tahun
- El.mat > el.dasar sungai

istilah

Time of concentration (Tc): waktu yang dibutuhkan oleh air mengalir dari titik terjauh sampai sta. pengukuran)

Hidrograf: grafik/diagram hubungan antara **waktu** dan **debit**

Aliran dasar (base flow): aliran yang masih ada pada musim kemarau yang merupakan **debit minimum** (biasanya dari akuifer)

Rating curve: grafik hubungan antara **kedalaman** air (h) dan **debit** (Q)

Debit aliran

Pengukuran debit

Bangunan pengukur debit

Prakiraan debit empiris

Pengukuran debit (Gordon et al, 1992)

Vol.air sungai

- $Q = \text{Vol}/t$

Mengukur kec.aliran sungai

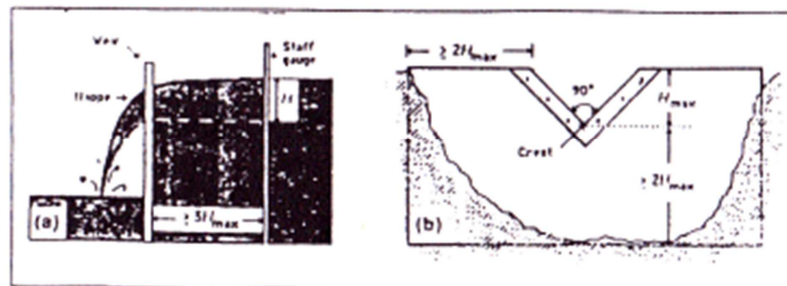
- Luas penampang sungai \rightarrow current meter

Bhn kimia berwarna (*substance tracing method*)

- \rightarrow pada aliran turbulen

Bangunan pengukur debit

Bangunan pengukur debit



Gambar 4.9 Contoh weir tipe V-notch dengan ujung tajam; (a) gambar tampak samping dan (b) gambar tampak depan. H_{max} adalah kedalaman maksimum melalui notch sedang H adalah kedalaman air dari dasar "V".



Prakiraan debit empiris

- RU:

$$Q = A.V$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} . S^{1/2}$$

**CARA UNTUK MENGETAHUI KECEPATAN
DAN ALIRAN PERMUKAAN DENGAN
CARA PENELUSURAN ALIRAN**

Kuliah 4.2

- Menjelaskan komponen yang terkait dalam analisis penelusuran di tampungan
- Menjelaskan cara analisis penelusuran di tampungan

**KOMPONEN YANG TERKAIT DALAM
ANALISIS PENELUSURAN DI
TAMPUNGAN**

CARA ANALISIS PENELUSURAN DI TAMPUNGAN

Kuliah 4.3

- **Menjelaskan komponen yang terkait dalam penelusuran aliran di sungai**
- **Menjelaskan cara melakukan analisis penelusuran aliran di sungai**

KOMPONEN YANG TERKAIT DALAM PENELUSURAN ALIRAN DI SUNGAI

CARA MELAKUKAN ANALISIS PENELUSURAN ALIRAN DI SUNGAI

UJI KD 4