

Debit Limpasan Aliran Permukaan

Surface Runoff Flow
Kuliah -3

Limpasan (runoff)

- ▶ **Limpasan** (*runoff*) gabungan antara aliran permukaan, aliran yang tertunda ada cekungan-cekungan dan aliran bawah permukaan (subsurface flow)
- ▶ Air hujan yang turun dari atmosfer jika tidak ditangkap oleh vegetasi atau oleh permukaan-permukaan buatan seperti atap bangunan atau lapisan kedap air lainnya, maka akan jatuh ke permukaan bumi dan sebagian akan menguap, berinfiltrasi, atau tersimpan dalam cekungan-cekungan.
- ▶ Interception, depression storage, infiltration and evapo-transpiration → **INITIAL LOSSES**
- ▶ Apabila kehilangan tersebut telah terpenuhi, maka sisa air hujan akan mengalir langsung di atas permukaan tanah menuju alur aliran terdekat.
- ▶ Drainase → **aliran permukaan** (*surface runoff*)

INITIAL LOSSES (1)

Interception and wetting losses

- ▶ Interception terdiri dari pengumpulan dan retensi curah hujan oleh vegetasi penutup
- ▶ Interception rate cepat menurun menjadi nol.
- ▶ Angka interception untuk daerah kedap < 1 mm.
- ▶ Interception sering diabaikan atau digabungkan dengan depression storage.

INITIAL LOSSES (2)

- ▶ **Depression storage** adalah curah hujan yang terjebak dalam cekungan-cekungan kecil pada permukaan tangkapan, → mencegah air mengalir di permukaan. Air yang terjebak ini akan hilang melalui proses infiltrasi, evaporasi.
- ▶ Besarnya **depression storage** dipengaruhi (Buttler and Davies, 2000) :
 - Jenis permukaan
 - Slope
 - Kala ulang hujan
- ▶ Angka **depression storage**:
 - Daerah kedap : 0,5 - 2 mm
 - Atap yang datar (flat roofs) : 2,5-7,5 mm
 - Taman : 10 mm

INTIAL LOSSES (3)

- ▶ **Evapo-transpiration** adalah penguapan air dari tumbuhan dan badan air sehingga hilang dari limpasan permukaan
- ▶ Efek evapo-transpiratioon pada kejadian hujan dengan durasi pendek dapat diabaikan.

INTIAL LOSSES (4)

- ▶ **Infiltrasi** adalah proses air hujan mengalir melalui permukaan tanah ke pori-pori tanah.
- ▶ Kapasitas infiltrasi tanah : laju air berinfiltrasi kedalam tanah.
- ▶ Besarnya dipengaruhi: jenis, struktur dan kompaksi tanah, kelembaban tanah awal, penutup permukaan, dan tinggi muka air tanah
- ▶ Laju infiltrasi cenderung tinggi pada saat awal hujan kemudian menurun secara eksponensial sampai laju akhir yang quasi-steady ketika zona tanah bagian atas telah jenuh.

Faktor yang Mempengaruhi Limpasan

- ▶ **Meteorologi**
 - Intensitas hujan
 - Durasi hujan
 - Distribusi hujan

- ▶ **Karakteristik DAS (DPS)**
 - Luas dan bentuk DAS
 - Topografi
 - Tata guna lahan

Meteorologi (1)

- ▶ **Intensitas Hujan**
 - Pengaruh intensitas hujan tergantung pada laju infiltrasi.
 - Intensitas hujan $>$ laju infiltrasi \rightarrow limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan.
 - Limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan intensitas hujan karena adanya penggenangan di permukaan tanah.
 - Intensitas hujan mempengaruhi debit maupun volume limpasan

Metorologi (2)

► Durasi Hujan

- Total limpaan dari suatu hujan berkaitan dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu.
- Setiap DAS mempunyai satuan durasi hujan atau lama hujan kritis (t_e)

$$t_e = 0,9 R^{0,92}$$
- Bila hujan terjadi lamanya kurang dari lama hujan kritis, maka lamanya limpasan akan sama dan tidak tergantung pada intensitas hujan

Meteorologi (3)

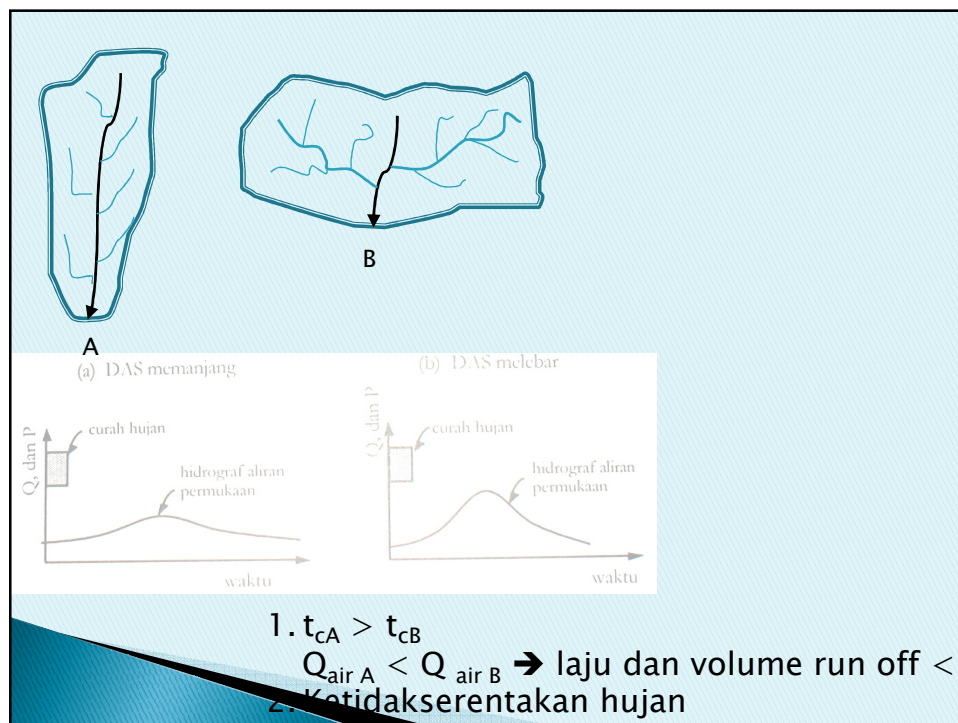
► Distribusi curah hujan

- Debit dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan di seluruh DAS.
- Debit dan volume limpasan akan bernilai maksimum apabila seluruh DAS telah memberi kontribusi aliran.
- Apabila kondisi topografi, tanah, dll di seluruh DAS seragam. Untuk hujan yang sama → curah hujan yang distribusinya merata menghasilkan debit puncak yang paling minimum.
- Karakteristik distribusi hujan : rasio hujan tertinggi di suatu titik di suatu titik dengan hujan rata-rata DAS

Karakteristik DAS (1)

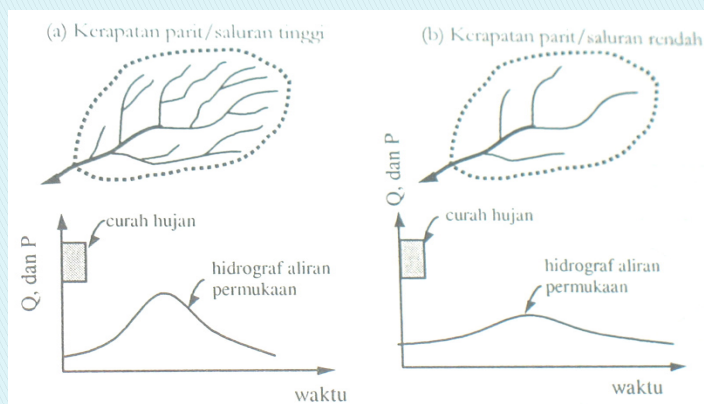
► Luas dan Bentuk DAS

- Debit dan volume aliran permukaan bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS
- Apabila debit dan volume aliran permukaan dinyatakan sebagai debit dan volume per satuan luas maka besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luasnya DAS
- Berkaitan dengan waktu konsentrasi dan penyebaran atau intensitas hujan.
- Bentuk DAS mempengaruhi pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan hidrograf pada DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas dan intensitas hujan yang sama.



Karakteristik DAS (2)

- ▶ Topografi (tampakan rupa muka bumi) meliputi: kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit dan/atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan → mempengaruhi debit dan volume aliran permukaan
- ▶ Kemiringan DAS curam disertai dengan kerapatan saluran yang tinggi → Q aliran permukaan >
- ▶ Kerapatan saluran akan memperpendek waktu konsentrasi → memperbesar debit aliran permukaan



Karakteristik DAS (3)

▶ Tata Guna Lahan

- Dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C) :
Perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya intensitas hujan.
- Angka koefisien aliran permukaan → indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS, ($0 < C < 1$).
 - DAS yang masih baik C mendekati 0
 - DAS yang semakin rusak C mendekati 1

Penentuan debit limpasan air hujan(surface run off)

- ▶ Penentuan debit limpasan air hujan → cukup sulit & tidak pasti → Perlu pendekatan untuk memudahkan proses desain.
- ▶ Beberapa teknik penentuan debit air limpasan air hujan:
 1. Formula empiris
 2. **Metoda rasional**
 3. Studi korelasi curah hujan - run off
 4. Metoda hydrograph
 5. Metoda inlet
 6. Metoda komputer digital
- ▶ Dasar pemilihan:
 - Kondisi lokal geografis dan hidrologi
 - Ketersediaan data curah hujan dan run off
 - Tingkat perlindungan yang harus disediakan

Metoda Rasional

- ▶ Memperkirakan laju aliran permukaan puncak
- ▶ Sifat:
 - Sangat simpel dan mudah penggunaannya
 - Terbatas untuk DAS < 300 ha
 - Tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hydrograph
- ▶ Data dasar yang diperlukan:
 - Relasi waktu - intensitas curah hujan → dasar desain
 - Prediksi kondisi mendatang daerah drainase
 - Koefisien run off (fraksi curah hujan yang akan lari pada area drainase)
 - t_c : waktu konsentrasi

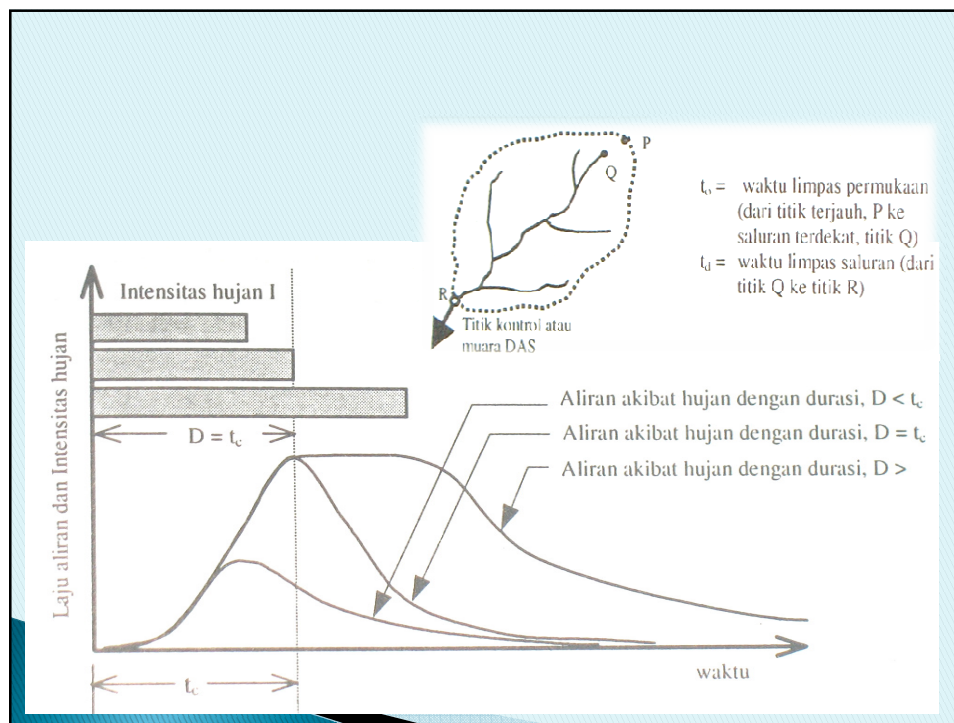
Metoda Rasional (2)

$$Q_p = f \cdot C \cdot I \cdot A$$

- ▶ Dimana:
 - Q_p = debit puncak (m³/detik)
 - C = koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$)
 - I = intensitas hujan (mm/jam) → pada t_c ; PUH T tahun
 - A = luas DAS (ha)
 - F = faktor konversi satuan = 0,002778

Metoda Rasional (3)

- ▶ Asumsi yang digunakan:
 - Hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c) DAS.
 - Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari t_c , maka debit puncak yang terjadi lebih kecil dari Q_{puncak} karena seluruh DAS tidak memberikan kontribusi aliran secara bersama pada titik kontrol (outlet)
 - Jika hujan yang terjadi lebih lama dari t_c maka debit puncak aliran permukaan akan tetap sama dengan Q_{puncak} .



Koefisien Aliran Permukaan

► Koefisien C :

Perbandingan antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan.

- Dipengaruhi:
 - Laju infiltrasi tanah, tingkat kepadatan tanah, porositas tanah, simpanan depresi
 - Prosentase lahan kedap air
 - Kemiringan lahan
 - Vegetasi penutup tanah
 - Intensitas hujan
- Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan C yang berbeda maka :

$$C_{DAS} = (\sum C_i A_i) / (\sum A_i)$$

Koefisien limpasan untuk metode rasional (Suripin, 2004)

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran , C
Bisnis	
Perkotaan	0,70 - 0,95
Pinggiran	0,50-0,70
Perumahan	
Rumah tunggal	0,30-0,50
Multiunit, terpisah	0,40-0,60
Multiunit, tergabung	0,60-0,75
Perkampungan	0,25-0,40
Apartment	0,50-0,70
Industri	
Ringan	0,50-0,80
Berat	0,60-0,90
Perkerasan	
Aspal dan beton	0,70-0,95
Batu bata dan paving	0,50-0,70

Koefisien limpasan untuk metode rasional (Hassing, 1995)

Koefisien aliran $C = C_t + C_s + C_v$					
Topografi (C_t)		Tanah (C_s)		Vegetasi (C_v)	
Datar (<1%)	0,03	Pasir & gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempung berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung&lanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Waktu Konsentrasi (t_c)

► Waktu konsentrasi:

Waktu yang diperlukan air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tang menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi.

$$t_c = t_0 + t_d$$

$$t_0 = (6,33 (nL_0)^{0,6} / [(C_0 I_e)^{0,4} (S_0)^{0,3}]) \rightarrow L \leq 300m$$

$$t_d = L_{da} / (60v_d)$$

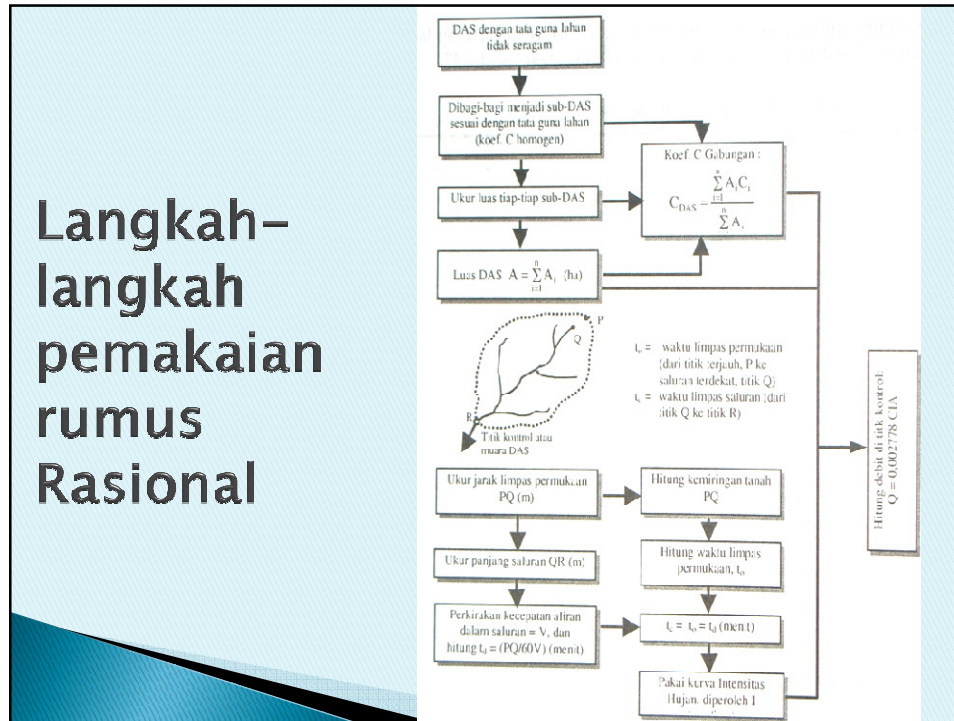
Terminologi Waktu

- ▶ t_o = **waktu merayap** : waktu yang diperlukan untuk air hujan merayap dipermukaan tanah
- ▶ t_d = **waktu mengalir** di saluran : waktu yang diperlukan air untuk mengalir dalam saluran dalam saluran dari inlet pertama ke suatu titik yang ditinjau
- ▶ t_c = **waktu konsentrasi** : waktu yang diperlukan untuk air hujan dari daerah yang terjauh dalam DPS untuk mengalir menuju ke suatu titik atau profil melintang saluran tertentu yang ditinjau $\rightarrow t_c = t_o + t_d$
- ▶ t_e = **durasi hujan**, lama hujan **minimum** atau lama hujan kritis

Intensitas hujan

- ▶ Intensitas hujan untuk t_c tertentu dihitung dengan persamaan intensitas atau dari lengkung IDF
- ▶ Intensitas hujan dipengaruhi oleh Kala Ulang Hujan (PUH) \rightarrow menentukan tingkat perlindungan terhadap banjir yang diberikan oleh sistem
- ▶ Asumsi: frekuensi hujan ekuivalen dengan frekuensi runoff.
- ▶ Contoh:
 - PUH 1–2 tahun : daerah pemukiman (terjal, datar)
 - PUH 5 tahun : daerah komersil
 - PUH > 25 tahun : daerah pusat kota

Langkah-langkah pemakaian rumus Rasional



DAS dengan beberapa Sub-DAS

- ▶ Digunakan pada DAS yang tidak seragam, dimana DAS dapat dibagi-bagi menjadi beberapa Sub-DAS yang seragam, atau pada DAS dengan sistem saluran bercabang-cabang.
- ▶ Metode Rasional digunakan untuk menghitung debit dari masing-masing Sub-DAS
- ▶ Aturan perhitungan:
 1. **Metode rasional** dipergunakan untuk menghitung **debit puncak** pada tiap-tiap daerah masukan (**inlet area**) pada ujung hulu Sub-DAS.
 2. Pada lokasi dimana **saluran drainase berasal dari dua masukan atau lebih daerah masukan**, maka **waktu konsentrasi terpanjang** yang dipakai untuk intensitas hujan rencana, koefisien dipakai C_{DAS} dan **total area** drainase dari **daerah masukan**.

Topik bahasan

- ▶ Limpasan hujan
 - Faktor–faktor yang mempengaruhinya
 - Meteorologi
 - Karakteristik DAS
- ▶ Metoda rasional
 - Koefisien aliran permukaan
 - Waktu Konsentrasi
 - Intensitas hujan
- ▶ Langkah–langkah perhitungan Metoda Rasional
- ▶ Perhitungan untuk DAS tidak seragam

Faktor yang berpengaruh pada limpasan (run off)

1. Faktor Meteorologi

- a. **Intensitas hujan**
Tergantung pada laju infiltrasi; bila intensitas > infiltrasi maka limpasan permukaan \propto intensitas curah hujan
Intensitas hujan berpengaruh pada debit dan volume run off.
- b. **Durasi hujan**
Total limpasan hujan berkaitan langsung dengan durasi dan intensitas tertentu
Setiap DAS mempunyai satuan durasi hujan/lama hujan kritis; bila lama hujan < lama hujan kritis \rightarrow limpasan akansama dan tidak tergantung pada intensitas hujan.
- c. **Distribusi curah hujan**
Laju dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan di seluruh DAS
Secara umum: laju dan volume run off maksimum bila seluruh DAS telah memberi kontribusi aliran
Karakteristik distribusi hujan = koefisien distribusi :
nisbah antara hujan tertinggi di suatu titik dengan hujan rata-rata DAS

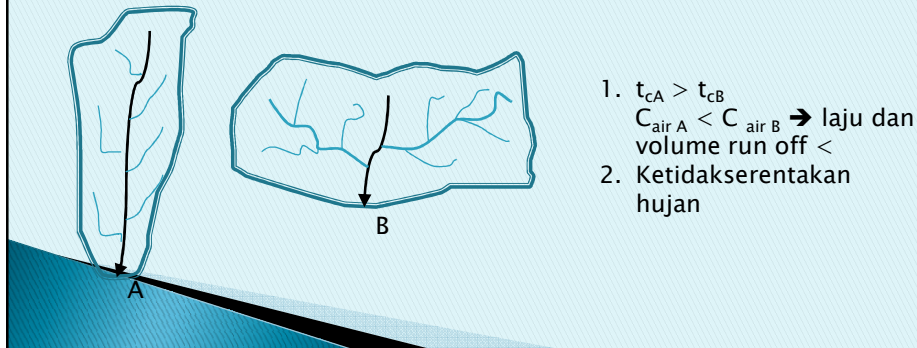
2. Karakteristik DAS

a. Luas dan Bentuk DAS

Surface run off: laju/volume per satuan luas

Besarnya ↓ dengan luas DAS ↑ berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran/intensitas hujan

Bentuk DAS → pengaruh pada pola aliran sungai



b. Topografi

Kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit/saluran

$S >$
 Kerapatan > } Laju & volume run off >



c. Tata guna lahan

Pengaruhnya pada surface run off → koefisien aliran permukaan (C) = bilangan yang menunjukkan perbandingan aliran permukaan dan besar curah hujan

C : indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS (nilai 0 - 1)

0 → semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah

1 → semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan