

Kompetensi Khusus

Setelah menyelesaikan perkuliahan pada bab ini mahasiswa dapat:

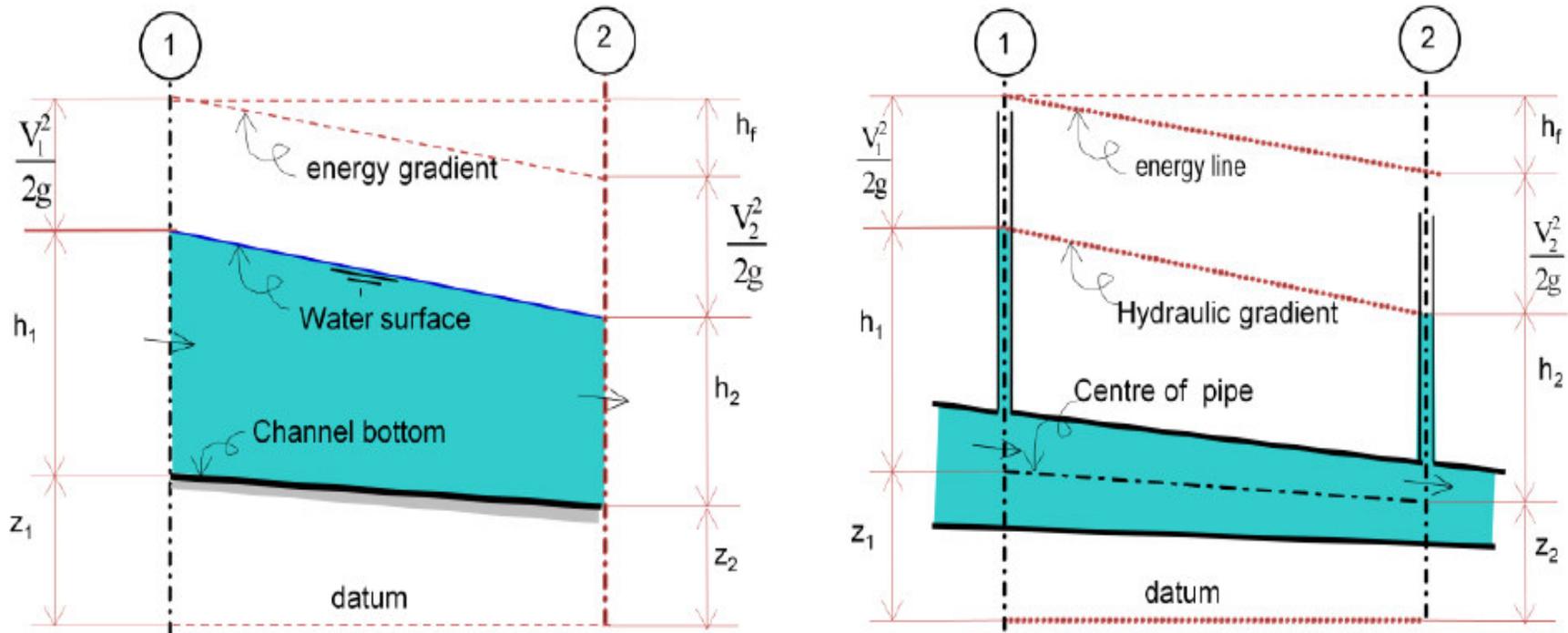
- Menghitung dimensi saluran berdasarkan kriteria desain dan aspek hidrolika saluran drainase
- Memahami dimensi saluran ekonomis
- Memahami koefisien kekasaran ekuivalen komposit

Saluran Terbuka dan Tertutup

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran di saluran terbuka (*open channel flow*) maupun pada saluran tertutup (*pipe flow*).

<i>open channel flow</i>	<i>pipe flow</i>
1. pengaruh muka air bebas	1. Muka air tidak bebas
2. Tekanan di muka air sama dengan tekanan atmosfer	2. Tekanan dalam pipa tidak sama dengan tekanan atmosfer
3. aliran terjadi karena grafitasi (ada kemiringan dasar)	3. Aliran terjadi karena perbedaan tekanan
4. Penyelesaian masalah aliran lebih kompleks, karena kedudukan muka air bebas yg selalu berubah terhadap ruang dan waktu	4. Penyelesaian masalah aliran lebih sederhana, karena variabel aliran teratur dan tidak bervariasi

Energi dalam Aliran



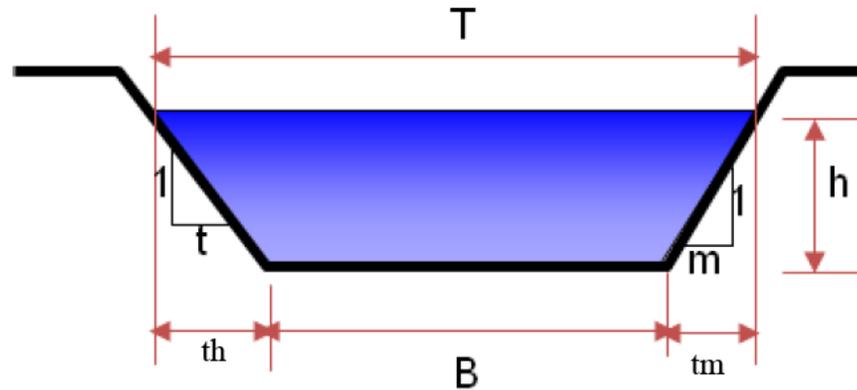
Catatan :

- Mempunyai permukaan air bebas dengan tekanan atmosfer disebut *Free Surface Flow*
- Garis Gradien Hidrolik bersatu dengan permukaan air
- Lebih kompleks dari aliran dalam pipa karena bentuk penampang dan konfigurasi kekasaran saluran terbuka lebih bervariasi dari pada aliran dalam pipa

Penampang Basah Saluran

1. Trapesium

Pada umumnya saluran dari tanah, berupa saluran terbuka. Tetapi lebar tempat untuk pembangunan saluran harus memungkinkan karena dibutuhkan lebar saluran yang cukup besar



Luas profil basah berbentuk trapesium dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{(B + T)}{2} \times h$$

Bila:

A = luas profil basah (m²).

B = lebar dasar saluran (m).

h = tinggi air di dalam saluran (m).

T = (B + m h + t h) = lebar atas muka air.

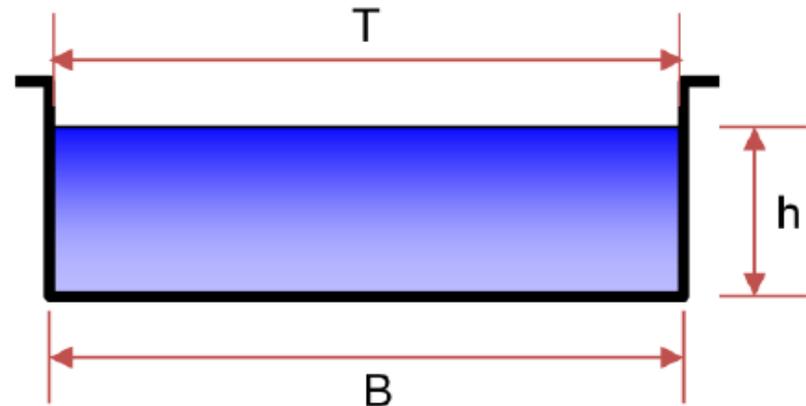
m = kemiringan talud kanan.

t = kemiringan talud kiri.

Penampang Basah Saluran

2. Persegi Panjang

Saluran terbuat dari pasangan batu atau beton, berupa selokan terbuka dengan debit yang besar. Debit yang mengalir dibentuk selokan ini cukup besar, jika h terbatas maka b harus besar



Luas profil basah berbentuk persegi dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$A = B \times h$$

Bila:

A = luas profil basah (m^2)

B = lebar dasar saluran (m)

h = tinggi air di dalam saluran (m)

$T = B$

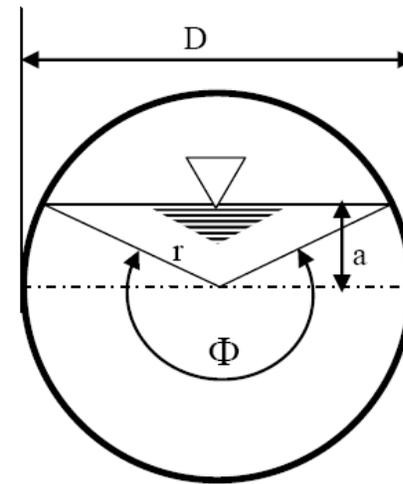
$m = 0$ (nol)

$t = 0$ (nol)

Penampang Basah Saluran

3. Lingkaran

Saluran terbuat dari pasangan batu, kombinasi pasangan atau beton. Bentuk dasar saluran bulat memudahkan pengangkutan bahan endapan/limbah. Digunakan apabila debit yang mengalir di selokan ini konstan (besar Q_{maks} mendekati Q_{min}) berupa selokan tertutup.



Luas profil basah $A = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\psi\pi}{180^\circ} - \sin \psi \right)$

Keliling basah $P = r \frac{\pi\psi}{180^\circ} = r\psi$

Bila:

A = luas profil basah (m²)

D = diameter tampang saluran (m)

a = tinggi air dari tengah saluran (m)

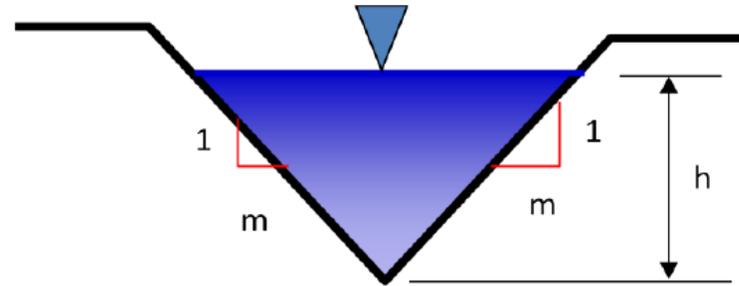
$$a = r \sin \left(\frac{\phi - 180^\circ}{2} \right)$$

r = jari-jari lingkaran (m)

Penampang Basah Saluran

4. Bentuk segitiga

Debit yang mengalir di saluran ini kecil dan berupa selokan terbuka.



Luas profil basah $A = \frac{1}{2} \times T \times h$

Keliling basah

Bila:

A = luas profil basah (m²)

B = 0 (nol)

h = tinggi air di dalam saluran (m)

T = (B + m h + t h)

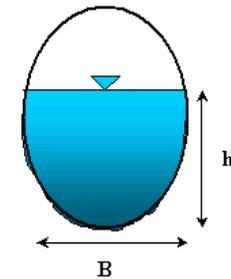
m = kemiringan talud kanan

t = kemiringan talud kiri

Penampang Basah Saluran

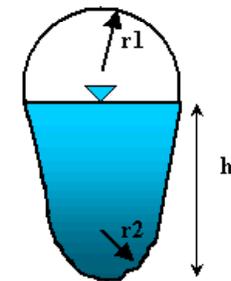
5. Elipss

Beda Q maks dan besarnya Q min besar, berupa selokan tertutup dimaksudkan untuk memperoleh h min yang cukup guna dapat mengalirkan benda-benda hanyutan



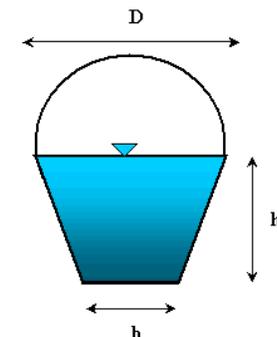
6. Bentuk Bulat telur

Beda Q maks dan besarnya Q min besar, berupa selokan tertutup dimaksudkan untuk memperoleh h min yang cukup guna dapat mengalirkan benda-benda hanyutan



7. Bentuk Tapal Kuda

Gabungan setengah lingkaran dan trapezium. dengan debit Q besar dan besarnya konstan (besarnya Q_{maks} mendekati besar Q_{min})
nilai h terbatas



Kecepatan Aliran

Kecepatan rata-rata air dalam saluran dihitung dengan rumus Chezy atau Manning, atau Stricker, rumusnya adalah sebagai berikut:

1) Rumus Chezy : $V = C\sqrt{RI}$

Bila :

V = kecepatan aliran dalam m/dt

C = koefisien Chezy

R = jari-jari hidrolis dalam m

A = profil basah saluran dalam m²

P = keliling basah dalam m

I = kemiringan dasar saluran

Kecepatan Aliran

2) Rumus Manning

- Seorang ahli dari Islandia, Robert Manning mengusulkan rumus berikut ini:

$$C = \frac{i}{n} R^{2/3}$$

- Dengan koefisien tersebut maka rumus kecepatan aliran menjadi:

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

dikenal dengan Rumus Manning

Bila:

n = koefisien Manning dapat dilihat dalam Tabel

R = jari-jari hidrolis dalam m

A = profil basah saluran dalam m²

P = keliling basah dalam m

I, S = kemiringan dasar saluran

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

$$Q = vA = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A$$

dengan $R = \frac{A}{P}$

Bahan	Koefisien Manning, n
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : "Hidrolika", Prof.Dr.Ir. Bambang Triatmodjo,CES,DEA

Kecepatan Aliran

1. Kemiringan Saluran

Umumnya kemiringan dasar saluran dipengaruhi kondisi topografi, tinggi aliran yang diperlukan untuk adana pengaliran sesuai kecepatan yang diinginkan. Kemiringan dasar saluran maksimum = 0,005-0,008 tergantung bahan saluran.

2. Kecepatan minimum yang diijinkan

Untuk menghindari sedimentasi, kecepatan minimum di saluran adalah 0,61-0,91 m/detik dan untuk menghalangi tumbuhnya tanaman air, kecepatan minimum yang diijinkan adalah = 0,76 m/detik

3. Kecepatan maksimum yang diijinkan

Kecepatan maksimum yang diijinkan untuk saluran dari pasangan adalah 2,5-3,5 m/detik dan untuk saluran dari tanah = 2,0 m/detik

4. Tinggi jagaan

Adalah jarak vertikal dari puncak tanggul sampai permukaan air pada kondisi perencanaan. Digunakan untuk mencegah peluapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air. Jagaan direncanakan antara 0,15-0,60m paling rendah ditentukan 10 cm diatas permukaan air rencana.

Dimensi Saluran Ekonomis

Potongan melintang saluran ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu

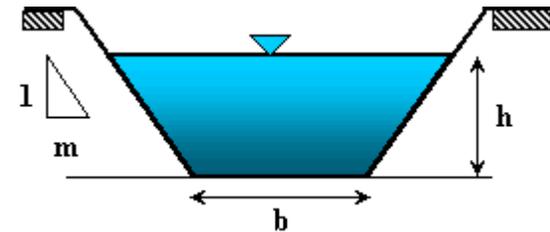
Dasar perhitungan :

- Berdasarkan persamaan kontinuitas, untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum
- Berdasarkan rumus mannings untuk kemiringan dan kekasaran tetap, kecepatan maksimum dicapai jika jari-jari hidraulik (R) maksimum
- untuk penampang tetap, jari-jari hidraulik R maksimum jika keliling basah P minimum

Dimensi Saluran Ekonomis

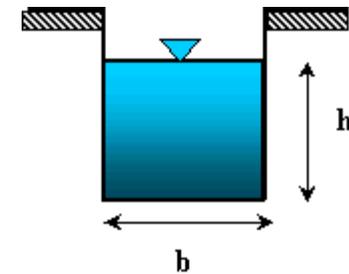
1. Trapesium

Penampang trapesium yang paling ekonomis jika kemiringan dindingnya $m = 1/(3^{1/2})$ atau sudut kemiringan 60 derajat



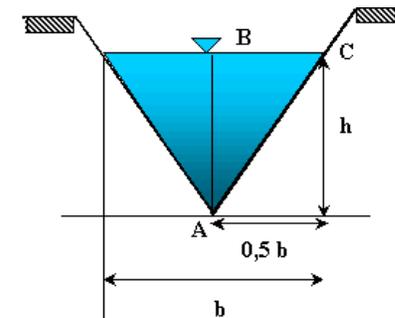
2. Persegi

Penampang persegi yang paling ekonomis jika kedalaman airnya setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air



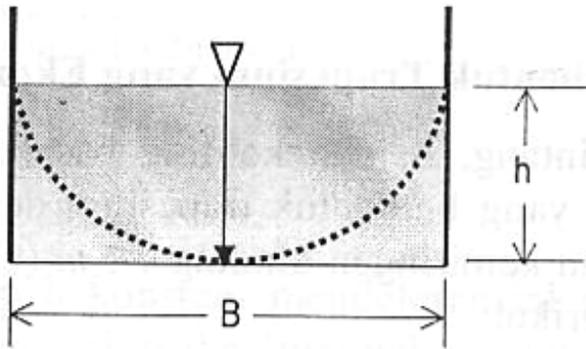
3. Bentuk segitiga

Penampang segitiga yang paling ekonomis jika kemiringan dindingnya membentuk sudut 45 derajat dengan garis vertikal



Dimensi Saluran Ekonomis

Penampang Persegi



$$A = B h$$

$$B = \frac{A}{h}$$
$$P = B + 2h$$
$$P = \frac{A}{h} + 2h$$

Dengan asumsi luas penampang, A , adalah konstan, maka persamaan dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh harga P minimum.

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0$$

$$A = 2h^2 = Bh$$

atau

$$B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2}$$

Jari-jari hidraulik

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B + 2h}$$

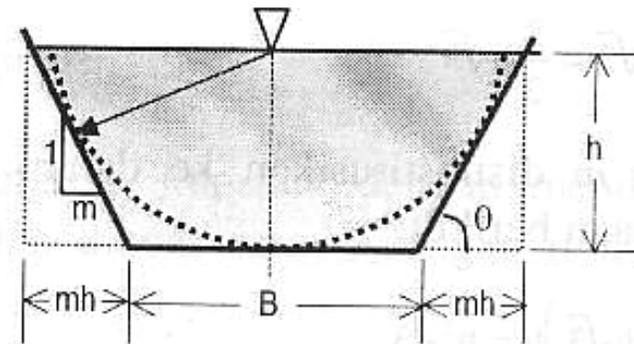
atau

$$R = \frac{2h^2}{2h + 2h} = \frac{h}{2}$$

Jadi bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air.

Dimensi Saluran Ekonomis

Penampang Trapesium



$$A = (B + mh)h$$

$$P = B + 2h\sqrt{m^2 + 1}$$

$$B = P - 2h\sqrt{m^2 + 1}$$

substitusi persamaan

$$A = (P - 2h\sqrt{m^2 + 1})h + mh^2$$

$$A = Ph - 2h^2\sqrt{m^2 + 1} + mh^2$$

Dengan asumsi luas penampang, A, dan kemiringan dinding, m, adalah konstan, maka persamaan dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh kondisi P minimum.

$$\frac{dA}{dh} = P - 4h\sqrt{m^2 + 1} + 2mh = 0$$

Atau

$$P = 4\sqrt{m^2 + 1} - 2mh$$

Dengan menganggap h konstan, mendefersialkan persamaan dan membuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut.

Dimensi Saluran Ekonomis

$$\frac{dP}{dm} = \frac{1}{2} \left(4h \frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} \right) - 2h = 0$$

$$\frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} = 1$$

$$4m^2 = 1 + m^2$$

$$3m^2 = 1$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan, maka persamaan yang diperoleh adalah :

$$P = \frac{8}{3}h\sqrt{3} - \frac{2}{3}h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3}$$

Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan, maka persamaan yang diperoleh adalah :

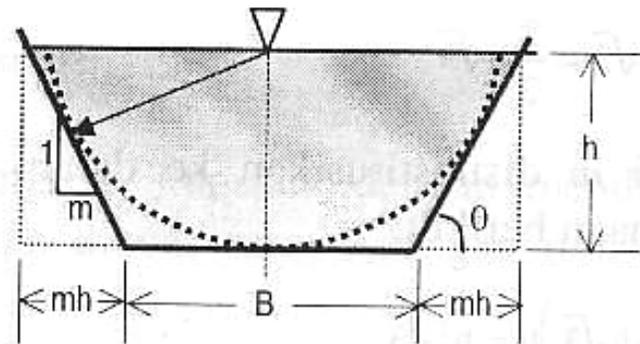
$$B = 2h\sqrt{3} - \frac{4}{3}h\sqrt{3} = \frac{2}{3}h\sqrt{3}$$

Selanjutnya, jika Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan, maka persamaan yang diperoleh adalah :

$$A = \left(\frac{2}{3}h\sqrt{3} + \frac{1}{3}h\sqrt{3} \right) h = h^2 \sqrt{3}$$

Jadi , penampang trapesium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = \frac{1}{\sqrt{3}}$, atau $\theta=60^\circ$.

Penampang Trapesium



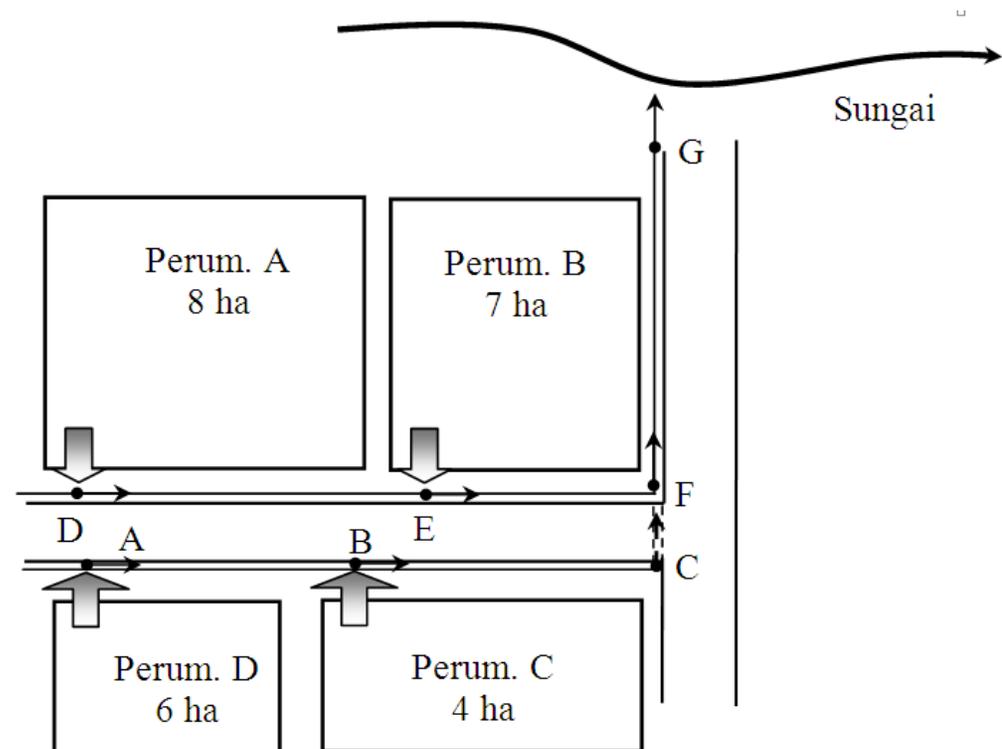
Contoh Kasus 1

Jaringan jalan pada suatu daerah akan dilengkapi dengan saluran drainase di kanan kiri jalan tersebut. Kondisi lahan di sekitarnya berupa perumahan dengan kepadatan sedang ($C=0.7$). Besarnya pembebanan daerah ke kanan dan kiri masing-masing ruas saluran di tepi jalan tersebut dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut. Dari analisis Hidrologi didapatkan data hujan harian dengan kala ulang 2 tahunan $R=42$ mm, waktu konsentrasi pada daerah tersebut $T_c=1.2$ jam

Saluran	Panjang (m)	kemiringan	n Manning
A-B	200	0.005	0.015
C-D	250	0.01	0.015
D-E	150	0.01	0.015
E-F	300	0.01	0.015

Pertanyaan:

Desainlah dimensi saluran B-C jika diinginkan angka aman kapasitas aliran 10%, Tinggi jagaan 10 cm. Dengan saluran berbentuk persegi dan bagian atas saluran akan digunakan sebagai trotoir (untuk jalan kaki)



Jawaban Kasus

Intensitas Hujan

$$I = \frac{R}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{42}{24} \left(\frac{24}{1.2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = 12.89 \text{ mm/jam}$$

Debit maksimum

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= X * C * I * A \\ &= 0.00278 * 0.7 * 12.89 * 10 \\ &= 0.25 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Dimensi Saluran

Angka aman kapasitas saluran 10%
 $Q_{\text{rencana}} = 110\% * 0.25 = 0.275 \text{ m}^3/\text{det}$

$$Q_{\max} = A_{\text{saluran}} * V$$

$$Q_{\max} = b * h * \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{\max} = b * h * \frac{1}{n} \left(\frac{b * h}{b + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.275 = b * h * \frac{1}{0.015} \left(\frac{b * h}{b + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} 0.005^{\frac{1}{2}}$$

Dipakai lebar saluran $b=0.8$ meter (atas untuk trotoir), sehingga

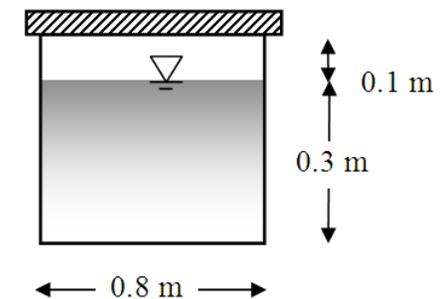
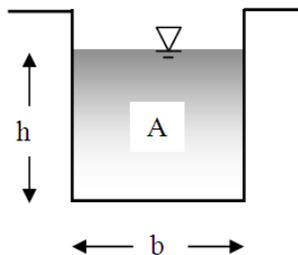
$$0.275 = 0.8 * h * \frac{1}{0.015} \left(\frac{0.8 * h}{0.8 + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} 0.005^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{0.275 * 0.015}{0.005^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.8 * 0.8^{\frac{5}{3}} * h^{\frac{5}{3}}}{(0.8 + 2h)^{\frac{2}{3}}}$$

$$0.0583 = \frac{0.552 * h^{\frac{5}{3}}}{(0.8 + 2h)^{\frac{2}{3}}}$$

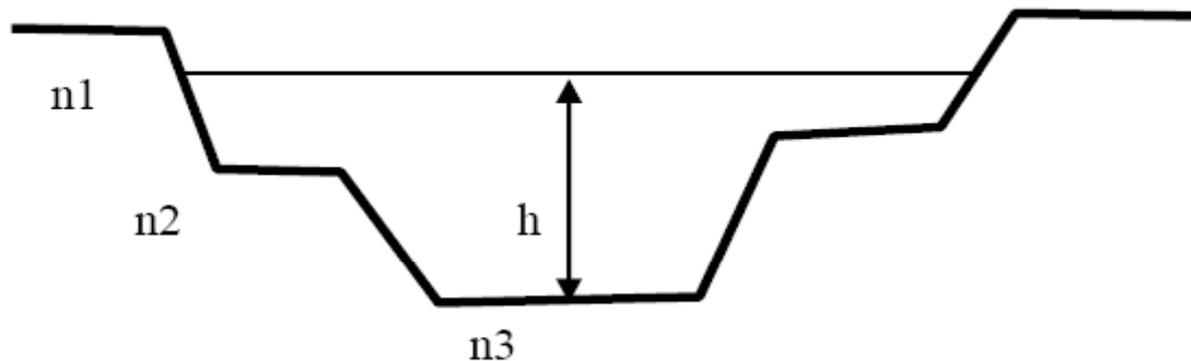
$$\frac{0.552 * h^{\frac{5}{3}}}{(0.8 + 2h)^{\frac{2}{3}}} - 0.0583 = 0$$

Dengan cara coba ulang didapatkan $h=0.3$ m



Kekasaran Ekuivalen (n_e)

Apabila di dalam saluran existing terdapat nilai kekasaran dinding atau koefisien Manning yang berbeda satu dengan lainnya, maka dicari nilai kekasaran dinding equivalent adalah sebagai berikut :



$$n = \frac{(\sum n_i^{3/2} P_i)^{2/3}}{P^{2/3}}$$

Bila:

n = nilai kekasaran dinding ekuivalen

P_t = total keliling basah dalam m

n_i = kekasaran dinding pada sub-profil basah i

P_i = panjang keliling basah pada sub-profil basah i

Kekasaran Ekuivalen (n_e)

Rumus Aliran (Q)

Untuk menghitung debit profil majemuk *existing* pada saluran drainase perkotaan digunakan rumus kontinuitas dengan mengalikan luas profil basah dengan kecepatan rata-rata menggunakan rumus Manning dan koefisien kekasaran ekuivalen (n_{eq}). Rumus alirannya adalah sebagai berikut:

$$Q_t = A_t \frac{1}{n_{eq}} R_t^{2/3} S^{1/2}$$

Bila:

Q_t = debit total dalam m^3/dt

A_t = luas profil basah total dari masing-masing sub-profil basah dalam m^2

R_t = total jari-jari hidraulis dari masing-masing sub-profil basah dalam m

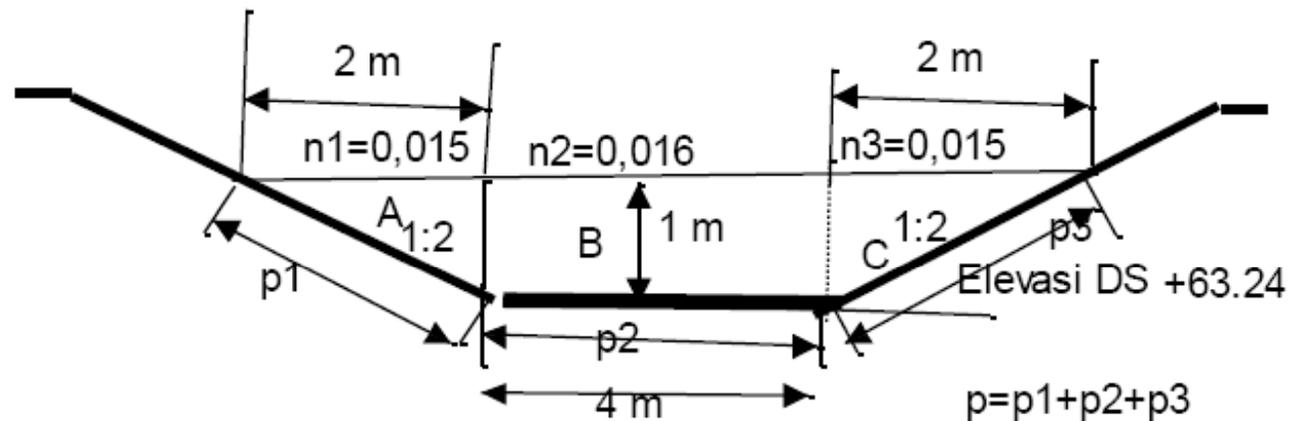
S = kemiringan rata-rata dasar saluran

n_{eq} = kekasaran dinding ekuivalen yang nilainya dinyatakan dalam persamaan:

$$n_{eq} = \frac{A_t (R_t)^{2/3}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n_t} A_i R_i^{2/3}}$$

Contoh Kasus 2

Sebuah saluran drainase berbentuk trapesium dengan kemiringan dasar saluran $S = 0,001$ dengan dalam 1 m dan lebar dasar saluran $B = 4$ m, seperti dalam Gambar 2.



Pertanyaannya:

- 1) Hitung kekasaran dinding ekuivalen, n_{equiv} ?
- 2) Hitung debit saluran tersebut ?

Solusi Kasus 2

- Nilai untuk luas sub-profil basah, keliling basah dan jari-jari hidraulis dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Elemen-Elemen Saluran

Nama Sub-Profil	Luas A(m ²)	Keliling Basah (m),pi	Jari-Jari Hidraulis,Ri
1	2	3	4
A	1	2,236	0,447
B	4	4,00	1,00
C	1	2,236	0,447
Jumlah	6	8,472	0,708

- Formula untuk menghitung koefisien kekasaran ekuivalen, n_{eq} :

$$n_{eq} = \frac{A_t(R_t)^{2/3}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n_t} A_i R_i^{2/3}}, \text{ dan prosesnya dapat dilihat dalam Tabel 4}$$

Tabel 4. Perhitungan Koefisien Kekasaran Manning Ekuivalen

Nama Sub-Profil	Luas A(m ²)	Keliling Basah (m)	Jari-Jari Hidraulis	Koefisien Kekasaran Manning, n	$1/n_i * A_i * R^{2/3}$	$A_t * R_t^{2/3}$
1	2	3	4	5	6	7
A	1	2,236	0,447	0,015	38,99	4,77
B	4	4,00	1,00	0,016	250,00	
C	1	2,236	0,447	0,015	38,99	
Jumlah	6	8,472	0,708		327,97	

Solusi Kasus 2

- Besarnya nilai koefisien kekasaran Manning, $n_{equiv} = 0,0145$ (kolom 7 dibagi kolom 6);

- Besarnya debit, Q_t , dihitung dengan formula :
$$Q_t = A_t \frac{1}{n_{eq}} R_t^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q_t = 6 \times 1 / 0,0145 \times 0,708^{2/3} \times 0,001^{1/2} = 10,4 \text{ m}^3/\text{dt}.$$

Contoh Kasus 3

Saluran drainase berbentuk trapesium mengalirkan debit sebesar 10 m³/det. Kemiringan dasar saluran 1:5.000. Dinding saluran dilining.

Penyelesaian:

Bentuk trapesium yang paling ekonomis adalah setengah heksagonal. Berdasarkan pada persamaan dalam landasan teori diperoleh persamaan berikut.

$$\left. \begin{array}{l} P = 2h\sqrt{3} \\ A = h^2\sqrt{3} \end{array} \right\} R = \frac{h}{2}$$

$$B = \frac{2}{3}h\sqrt{3} = 2,49 \text{ m.}$$

Dengan menggunakan persamaan Manning, maka

$$Q = A \times V$$

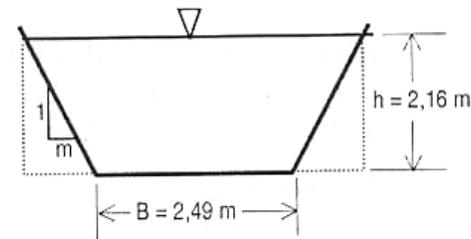
$$Q = h^2\sqrt{3} \times \frac{1}{n} \left(\frac{h}{2} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{det.}; n = 0,012; S = \frac{1}{5.000}$$

$$10 = h^2\sqrt{3} \times \frac{1}{0,012} \left(\frac{h}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{1}{5.000} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h^{\frac{8}{3}} = 7,78$$

$$h = 2,16 \text{ m.}$$



Jadi dimensi saluran yang paling ekonomis adalah dengan lebar dasar B=2.49 meter dan tinggi air h=2.16 meter, seperti terlihat pada gambar di atas

Contoh Kasus 4

Saluran drainase utama berbentuk trapesium dengan kemiringan dinding $m=2$, mempunyai kedalaman air 2.5 m, lebar dasar 5 m, dan koefisien kekasaran manning $n=0.025$. Hitung kemiringan dasar saluran jika debit yang mengalir 75 m³/det.

Penyelesaian:

Diterapkan persamaan Manning berikut ini.

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

$$A = (B+mh)h = (5+2 \times 2) 2 = 18 \text{ m}^2$$

$$P = B+2h (m^2+1)^{0.5} = 5+2 \times 2(4+1)^{0.5} = 13,94 \text{ m}$$

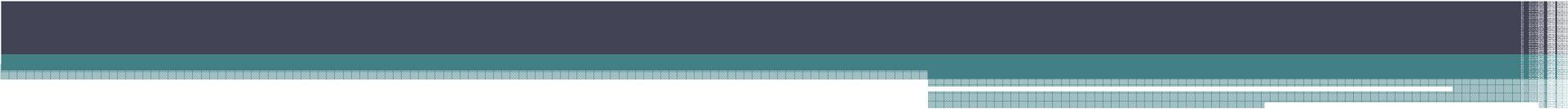
$$R = \frac{A}{P} = \frac{18}{13,94} = 1,291 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{75}{18} = 4,17 \text{ m/det.}$$

$$4,17 = \frac{1}{0,025} \times 1,291^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$S^{1/2} = 0,0879$$

Jadi kemiringan dasar saluran **$S=0.0077$**



Sekian untuk hari ini