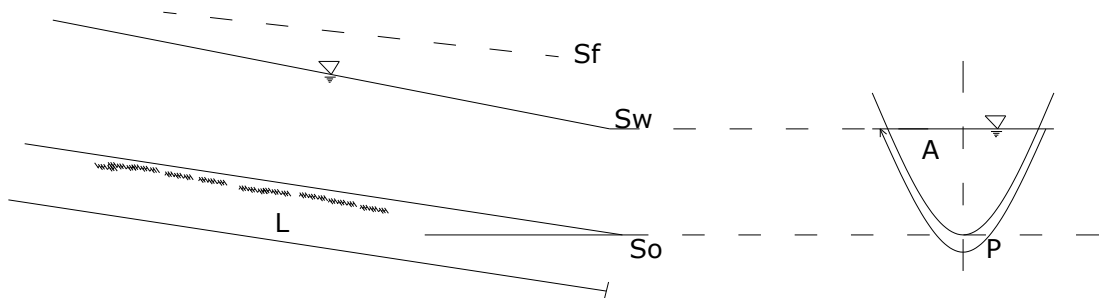


ALIRAN SERAGAM (UNIFORM FLOW)

konsep aliran seragam merupakan pusat pemahaman dan solusi masalah-masalah hidraulik pada saluran terbuka

Aliran seragam:

1. Kedalaman, luas aliran dan kecepatan pada setiap tampang adalah konstan
2. Energy grade line, permukaan air dan dasar saluran adalah sejajar. ($S_f = S_w = S_o$)



Pada umumnya aliran seragam dapat terjadi hanya pada daluran yang panjang, lurus dan prismatic

Persamaan CHEZY dan MANNING

Untuk tujuan perhitungan, kecepatan rerata pada aliran seragam dapat didekati dengan salah satu persamaan empiris aliran seragam;

$$\text{Bentuk umum : } u' = C R^x \cdot S^y \dots\dots\dots 1$$

Dengan u' = kecepatan rerata

R = radius hidraulik

S = kemiringan dasar saluran

C = koefisien tahanan

x dan y = konstanta

Persamaan Chezy (1769) diturunkan dari definisi aliran seragam dengan asumsi bahwa koefisien tahanan gaya tahanan (force resistance) aliran sama dengan gaya yang menyebabkan gerakan gaya yang menimbulkan gerakan :

$$F_m = W \sin \theta = \gamma \cdot A \cdot L \sin \theta \dots\dots\dots 2$$

Dengan

W = berat fluida (pada volume kontrol)

Γ = berat jenis fluida

A = luas aliran

L = panjang volume kontrol

Θ = sudut kemiringan dasar saluran

Jika $\theta < \sin \theta \approx S_o$, dengan asumsi bahwa gaya per unit area dari perimeter saluran, F_r adalah sebanding dengan kuadrat kecepatan reratanya.

$$F_r \rightarrow U^2$$

Untuk panjang saluran L dan perimeter P maka gaya resistance adalah

$$F_r = L.P.K. U^2$$

.....3

Dengan k = konstanta proporsionalitas

Dalam keadaan seimbang. Gaya yang menimbulkan gerakan = gaya resistance

($F_m = F_r$):

$$\gamma A.L.S_o = L.P.K. U^2$$

$$U = (\gamma/k)^{1/2} \cdot \sqrt{R.S}$$

.....4

Dari persamaan umum, maka : $C = (\gamma/k)^{1/2}$

Koefisien resistance C, umumnya dikenal sebagai “ angka kekasaran CHEZY”

Praktisnya nilai C dapat dihitung atau diukur langsung pada saluran

Persamaan Manning (1889) yang diperoleh dari proses Curve – Fitting,

kemudian dilengkapi secara empiris dari alam, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$U =$$

$$(1/n) \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{S} \dots\dots\dots 5$$

Dengan $\phi = 1$, untuk SI unit dan $\phi = 1,49$ untuk englis unit

Hubungan koefisien C – n :

$$C \cdot \sqrt{R.S} = (\phi/n) R^{2/3} \cdot \sqrt{S}$$

$$C = (\phi/n) R^{1/6} \dots\dots\dots 6$$

Perhitungan koefisien Resistance

Pada umumnya nilai C dan n tergantung pada angka Reynold dari aliran, kekasaran batas (dinding dan dasar) dan bentuk tampang saluran nilai c dan n dapat dianalogikan dengan faktor gesek Darcy – Weisbach (f) yang digunakan pada aliran pipa :

$$S = (f/4R) \cdot (u^2/2g)$$

$$\text{Sehingga, } n = \phi \cdot R^{1/6} \cdot \sqrt{(f/8g)} \text{ dan } C = \sqrt{(8g/f)}$$

Perilaku nilai c dan n berkenaan dengan tipe aliran turbulen (aliran Turbulen hidraulik halus dan aliran hidraulik kasar)

Aliran turbulen hidraulik halus = jika pada suatu aliran kekasaran perimeter seluruhnya diliputi oleh lapisan viskos (viscous sublayer) aliran turbulen hidraulik kasar/ fully rough flow jika elemen kekasaran perimeter adalah lapisan laminar (laminar sublayer) dan mendominasi seluruh aliran

Dalam kasus ini, koefisien resistance ditunjukkan dengan Reynolds Number, $R = 4.Ru/v$

Karakteristik panjang/tinggi kekasaran perimeter k_s yang didefinisikan sebagai diameter butiran pasir (dalam pipa = f)

Type aliran Turbulen:

1. Halus (smooth)
2. Transisi
3. Kasar (fully rough)

Ketiga type tersebut dibedakan berdasarkan nilai angka Reynolds yang tergantung pada k_s dan u_*

$$u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} = \sqrt{g.R.s}$$

$$R_* = (u_* \cdot k_s) / \nu \dots\dots\dots 7$$

Wilayah transisi : $4 \leq R_* \leq 100$

Hidraulik halus : $R_* < 100000$

Hidraulik kasar : $R_* > 100000$

Hidraulik licin atau kasar tergantung dari nilai

$$\delta = \frac{11,6 \cdot \nu}{u_*}$$

Dinding hidraulik licin, $ku_* / \nu < 5$ atau $k < \delta$

Dinding hidraulik kasar, $ku_* / \nu > 70$ atau $k > \delta$

Dinding hidraulik transisi, $5 < ku_* / \nu < 70$

Dalam perhitungan n (Applied) tergantung pada beberapa variabel:

1. Surface roughness
2. Vegetation
3. Channel Irregularity
4. Obstruction / gangguan
5. Channel Aligned (meandering, lurus)
6. Sedimentation dan Scouring
7. Stage dan Discharge

Pengukuran Kecepatan

Nilai koefisien tahanan (Resistance Coefisien) dapat dihitung dari pengukuran kecepatan (profil distribusi kecepatan). Untuk aliran hidraulik kasar, distribusi kecepatan vertical

$$U = 5,75 u_* \cdot \log(30y/k_s) \dots\dots\dots 8$$

Y = jarak dari batas dasar, k_s = tinggi kekasaran

Jika $u_{0,2}$ = kecepatan pada 0,2 kedalaman yaitu $0,2D$ diatas dasar (D = kedalaman aliran) dan $u_{0,8}$ = kecepatan pada 0,2 kedalaman yaitu $0,2 D$ diatas dasar

$$\text{Maka } U_{0,2} = 5,75 u_* \cdot \log(24D/k_s)$$

$$U_{0,8} = 5,75 u_* \cdot \log(6D/k_s)$$

Eliminasi u_* dari persamaan diatas:

$$\log \frac{D}{k_s} = \frac{0,778\lambda - 1,381}{1 - \lambda} \dots\dots\dots 9$$

Dengan $\chi = \frac{u_{0,2}}{u_{0,8}}$

Menurut Kevlegan (1938) kecepatan rerata pada aliran saluran terbuka untuk hydro kasar

$U = u_* (6,25 + 2,5 \ln (R/k_s))$10

Dengan $R \approx D$, substitusikan persamaan diatas pada persamaan Kevlegan

$(U/u_*) = (1,78 (\frac{\chi + 0,95}{\lambda - 1}))$11

Dari persamaan $(u/u_*) = (c/\sqrt{g})$ dan $c = (\phi/n).R^{1/6}$ diperoleh

$(u/u_*) = (D^{1/6}/3,81)$12

Persamaan sisi kanan persamaan 11 dengan 12 diperoleh :

$n = \frac{(\chi - 1).D^{1/6}}{6,78(\lambda + 0,95)}$13

Persamaan 13 menghitung nilai n untuk aliran hidraulik kasar (fully rough flows) pada saluran lebar dengan data distribusi kecepatan vertical.

TABEL PERHITUNGAN DEBIT METODE INTERVAL TENGAH

Metode Empiris

1. Strickler (1923) : $n = 0,047 \cdot d^{1/6}$ 14
D = diameter pasir (mm) pada dasar saluran
2. Henderson (1966)
 $n = 0,034 d^{1/6}$ 15
d = median size dari material dasar dan satunya tidak spesifik
3. Raudkivi (1976), menetapkan bahwa persamaan Strickler adalah:
 $n = 0,042 d^{1/6}$ 16
dengan d diukur dalam “meter”
atau : $n = 0,042 d_{65}^{1/6}$ 17
4. Garde and Raju (1978)
 $n = 0,039 d_{50}^{1/6}$ 18
 d_{50} = diameter material dasar dalam “feet” yang 50% dari material dengan berat adalah lebih kecil
5. Subramnya (1982)
 $n = 0,047 d_{50}^{1/6}$ 19
 d_{50} = diameter material dasar dalam “meter”
6. Meyer – Peter and Muller (1948) memberikan persamaan untuk material dasar campuran
 $n = 0,038 d_{90}^{1/6}$ 20
 d_{90} = diameter material dasar dalam “feet” sedemikian 90% berat material adalah lebih kecil
7. Lane dan Carlson (1953)

$$n = 0,026 d_{75}^{1/6} \dots\dots\dots 21$$

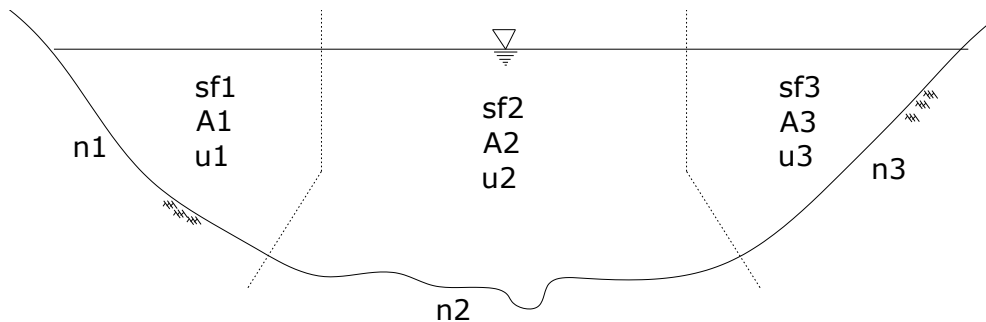
d = diameter material dasar dalam “inchi” sedemikian 75% berat material adalah lebih kecil.

Harga – harga koefisien kekasaran manning:

Permukaan	n yang disarankan
Kaca, plastic, kuningan	0,01
Kayu	0,011 – 0,014
Plesteran semen	0,011
Besi tuang	,0,013
Beton	0,012 – 0,017
Pipa pembuang	0,013
Batu – bata	0,014
Pasangan batu	0,017 – 0,025
Batu pecah	0,035 – 0,040

Kekasaran komposit

Kekasaran dasar ≠ kekasaran dinding



$$R = P/A$$

$$U = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot sf^{1/2}$$

$$R = u^{3/2} \cdot n^{3/2} \cdot sf^{-3/4}$$

Jumlah luasan:

$$\sum_{i=1}^n Ai = \sum_{i=1}^n (Ri - Pi)$$

$$Aco = \sum_{i=1}^n \frac{(ni^{3/2} \cdot ui^{3/2} \cdot Pi)}{sfi^{3/4}}$$

$$Aco = \frac{uco^{3/2}}{sfco^{3/4}} \sum_{i=1}^n ni^{3/2} \cdot Pi \dots\dots\dots 22$$

Jika dipandang satu kesatuan luasan

$$Aco = Rco \cdot Pco$$

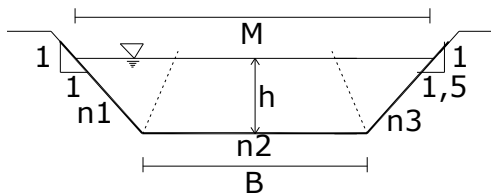
$$= (nco^{3/2} \cdot uco^{3/2} \cdot Pco) \cdot sfco^{-3/4} \dots\dots\dots 23$$

Aco dipersamakan (persamaan 22 dan 23)

$$\frac{nco^{3/2} \cdot uco^{3/2} \cdot Pco}{sfco^{3/4}} = \frac{uco^{3/2}}{sfco^{3/4}} \cdot \sum_{i=1}^n (ni^{3/2} \cdot Pi)$$

$$nco = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (ni^{3/2} \cdot Pi)}{Pco} \right\}^{2/3} \dots\dots\dots 24$$

Contoh



$n1 = 0,015$

$n2 = 0,02$

$n3 = 0,025$

$B = 4,0 \text{ m}$

$h = 2,5 \text{ m}$

$So = 0,00015$

Hitung : nco dan Q sal?

Solusi

$$M = B + (1+1,5) h = 4 + 2,5 \cdot 2,5 = 10,25 \text{ m}$$

Keliling basah

$$P_1 = h\sqrt{1^2+1^2} = 2,5 \cdot \sqrt{2} = 3,53 \text{ m}$$

$$P_2 = B = 4,0 \text{ m}$$

$$P_3 = h\sqrt{l^2+m_2^2} = 2,5 \cdot \sqrt{1^2+1,5^2} = 4,51 \text{ m}$$

$$P_{co} = P_1 + P_2 + P_3 = 12,04 \text{ m}$$

Manning Composit:

$$\begin{aligned} nco &= \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (ni^{3/2} \cdot Pi)}{Pco} \right\}^{2/3} \\ &= \left\{ \frac{0,015^{1,5} \cdot 3,53 + 0,02^{1,5} \cdot 4,0 + 0,025^{1,5} \cdot 4,51}{12,04} \right\}^{2/3} \\ nco &= 0,0206 \end{aligned}$$

Luas tampang basah

$$A_{co} = (B + M) h/2 = (4 + 10,25) \cdot 2,5/2 = 17,8125 \text{ m}^2$$

$$R_{co} = A_{co}/P_{co} = 17,8125/12,04 = 1,479 \text{ m}$$

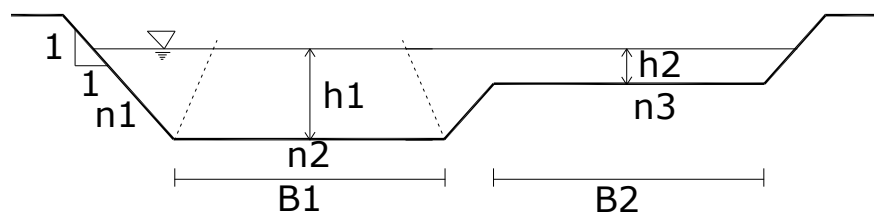
Kecepatan → Manning

$$\begin{aligned} U &= 1/nco \cdot Rco^{2/3} \cdot So^{1/2} \\ &= 1/0,0206 \cdot (1,479)^{2/3} \cdot (0,00015)^{1/2} \\ &= 0,77 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Q = Aco \cdot u = 17,8125 \cdot 0,77$$

$$= 13,74 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (debit total di saluran)}$$

2.



$$n_1 = 0,025$$

$$n_2 = 0,035$$

$$n_3 = 0,03$$

$$B_1 = 4,0 \text{ m}$$

$$B_2 = 2 \text{ m}$$

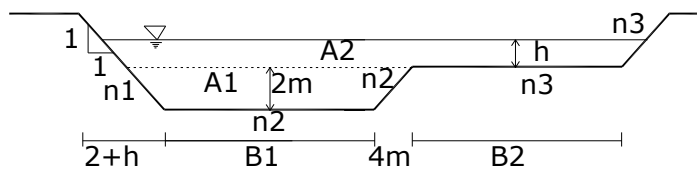
$$h_1 = 2,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,5 \text{ m}$$

$$S_o = 0,00015$$

Hitung : n_{co} dan Q sal?

Saluran dengan tampang sebagai berikut:



$$n_1 = 0,027$$

$$n_2 = 0,022$$

$$n_3 = 0,03$$

$$B_1 = 5,0 \text{ m}$$

$$B_2 = 3 \text{ m}$$

$$S_o = 10^{-4}$$

$$Q = 52 \text{ m}^3/\text{det}$$

Hitung:

- Nco dan h
- Pada bantaran dibersihkan/diperbaiki debit menjadi 125% dari semula, berap n3

Solusi

- Menghitung nco dan h

Perimeter Composit

$$P_1 = \sqrt{(2+h)^2 + (2+h)^2} = \sqrt{2} \cdot (2+h) = 1,414 h + 2,83$$

$$P_2 = 5 \text{ m}$$

$$P_3 = \sqrt{4^2 + 2^2} = 4,472 \text{ m}$$

$$P_4 = 3 \text{ m}$$

$$P_5 = \sqrt{h^2 + h^2} = h\sqrt{2} = 1,414 h$$

$$P_{co} = 2,828 h + 15,302$$

$$A_1 = ((5+11)/2) \cdot 2 = 16 \text{ m}^2$$

$$A_2 = [(2 + 5 + 4 + 3) + mh]h = (14 + h) \cdot h = h^2 + 14 h$$

$$A_{co} = h^2 + 14h + 16$$

$$R_{co} = (A_{co}/P_{co}) = (h^2 + 14h + 16) / (2,828 h + 15,302)$$

$$Q = 1/n_{co} \cdot R_{co}^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \cdot A_{co} \rightarrow n_{co} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (n_i^{3/2} \cdot P_i)}{P_{co}} \right\}^{2/3}$$

$$n_{co} = \left\{ \frac{(0,027^{1,5} (1,414h + 2,828) + 0,022^{1,5} \cdot 5 + 0,027^{1,5} \cdot 4,472 + 0,03^{1,5} \cdot 3 + 0,03^{1,5} \cdot 1,414 h) / (2,828h + 15,3)}{2,828h + 15,3} \right\}^{2/3}$$

$$n_{co} = \left[\frac{(0,0642 + 13,62 \cdot 10^{-3}h) / (2,828h + 15,3)}{2,828h + 15,3} \right]^{2/3}$$

substitusi kepersamaan debity

$$52 = (1 / [(0,0642 + 13,62 \cdot 10^{-3}h) / 2,828h + 15,3])^{2/3} \cdot (h^2 + 14h + 16) / 2,828h + 15,302) \cdot (10^{-4})^{0,5} \cdot (h^2 + 14h + 16)$$

$$1644,384 \cdot ((0,01362h + 0,0642)^{2/3} / (2,828h + 15,3))^{2/3} = (h^2 + 14h + 16)^{2/3} / (2,828h + 15,3)^{2/3} \cdot (h^2 + 14h + 16)$$

$$= 1644,384 \cdot (0,01362h + 0,0642)^{2/3} = (h^2 + 14h + 16)^{5/3}$$

Trial, diperoleh $h = 0,973 \text{ m}$

$$\text{Jadi } n_{co} = [0,0642 + 13,62 \cdot 10^{-3} \cdot 0,973] / 2,828 \cdot 0,973 + 15,3)^{2/3} = 0,0264$$

b. $Q' = 1,25 \times 52 = 65 \text{ m}^3/\text{det}$

$$n_{co}' = 1/Q' \cdot R_{co}^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \cdot A_{co} \rightarrow \text{karena } h \text{ tetap}$$

$$n_{co}' = 1/65 \cdot 1,693^{2/3} \cdot 10^{-4/2} \cdot 30,569 = 0,0211$$

$$n_{co}' = (0,027^{1,5} \cdot 4,2040,022^{1,5} \cdot 5 + 0,027^{1,5} \cdot 4,472 + n_3^{1,5} \cdot 3 + n_3^{1,5} \cdot 1,376) / 18,052)^{2/3}$$

$$(0,0211)^{2/3} = (0,01865 + 0,01632 + 0,01984 + 4 \cdot 376 \cdot n_3^{1,5}) / 18,052$$

$$n_3^1 = 0,0024$$