

Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori & Penyelesaian Soal-Soal

Ichwan Ridwan Nasution

Fakultas Teknik
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Sumatera Utara

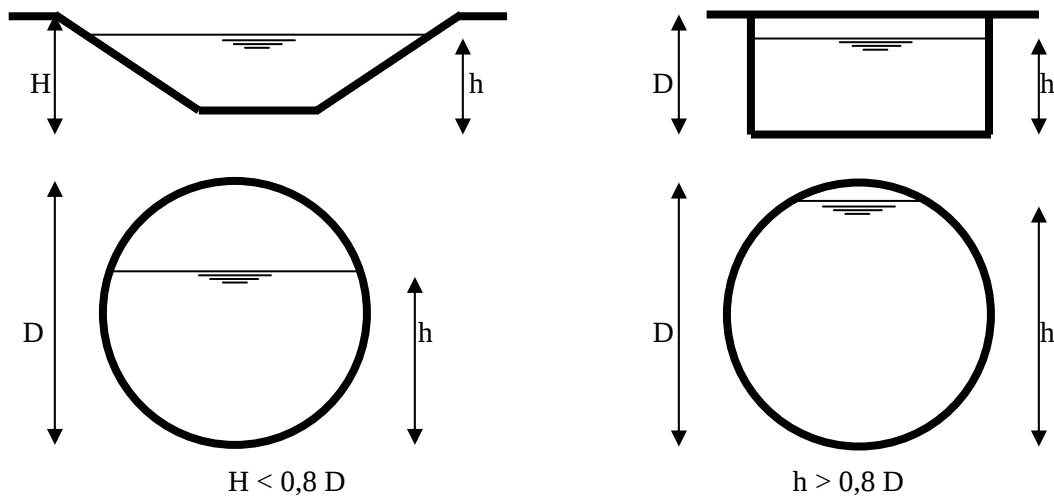
I. DASAR-DASAR ALIRAN DALAM SALURAN TERBUKA

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa :

- ♦ Aliran Saluran Terbuka (Open Channel Flow)
- ♦ Aliran Saluran Tertutup (Pipe Flow)

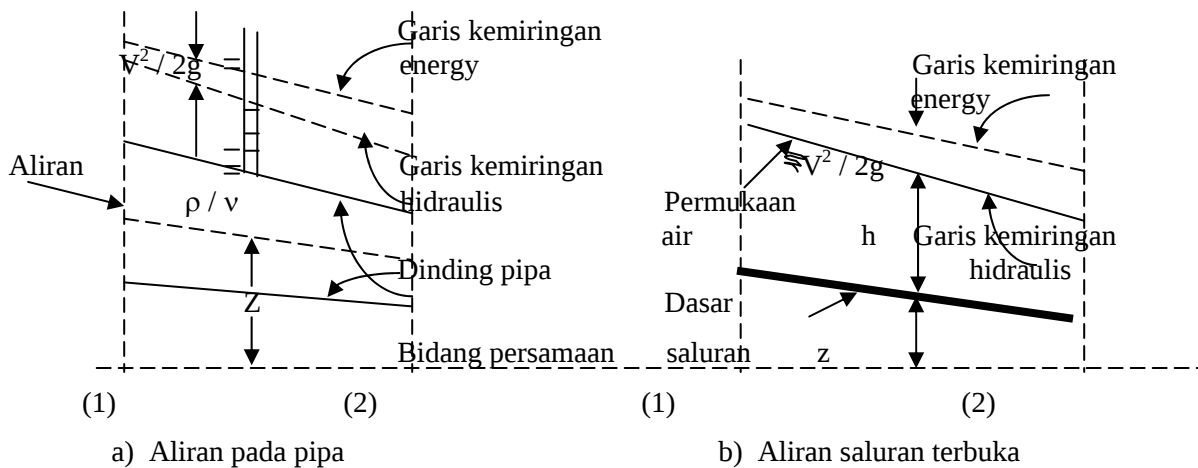
Keduanya dalam beberapa hal adalah sama, berbeda dalam satu hal yang penting, yaitu :

- ♦ Aliran pada saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas yang dipengaruhi oleh tekanan udara bebas ($P_{\text{Atmospher}}$).
- ♦ Aliran pada pipa tidak dipengaruhi oleh tekanan udara secara langsung kecuali oleh tekanan hydraulic (y).



Gambar 1.1 : Saluran Terbuka dan Tertutup

Perbandingan bentuk kedua aliran tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1.2 : Garis Kemiringan Hidraulis dan Energy

Perhitungan saluran terbuka lebih rumit daripada perhitungan pipa karena :

- ♦ Bentuk penampang yang tidak teratur (terutama sungai).
- ♦ Sulit menentukan kekasaran (sungai berbatu sedangkan pipa tembaga licin).
- ♦ Kesulitan pengumpulan data di lapangan.

Perbandingan rumus Energy untuk kedua type aliran tersebut adalah :

Aliran pada saluran tertutup

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Aliran pada saluran terbuka

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

I.1. Klasifikasi Saluran

Saluran dapat berbentuk alami (sungai, paluh dan muara) dengan penampang melintang atau kemiringan memanjang berubah-ubah (varying cross section) disebut “Non Prismatic Channel”.

Saluran buatan jika penampang dan kemiringannya constant (Constant Cross Section) disebut “Prismatic Channel”, contohnya saluran irigasi dan gorong-gorong yang mengalir sebahagian.

I.2. Type Aliran

Type aliran pada Saluran Terbuka adalah :

- Aliran Mantap (Steady Flow)
 - Perubahan volume terhadap waktu tetap $\partial Q / \partial t = 0$
 - Perubahan kedalaman terhadap waktu tetap $\partial h / \partial t = 0$
 - Perubahan kecepatan terhadap waktu tetap $\partial v / \partial z = 0$
- Aliran Tidak Mantap (Unsteady Flow)
 - Perubahan volume terhadap waktu tidak tetap $\partial Q / \partial t \neq 0$
 - Perubahan kedalaman terhadap waktu tidak tetap $\partial h / \partial t \neq 0$
 - Perubahan kecepatan terhadap waktu tetap $\partial v / \partial z \neq 0$
- Aliran Merata (Uniform Flow)
 - Besar dan arah kecepatan tetap terhadap jarak. $\partial Q / \partial s = 0$
 - Aliran pada pipa dengan penampang sama. $\partial v / \partial s = 0$
 - Variable fluida lain juga tetap. $\partial h / \partial z = 0$
- Aliran Tidak Merata (Non Uniform Flow)
 - Aliran pada pipa dengan tampang tidak merata. $\partial Q / \partial s \neq 0$
 - Pengaruh pembendungan dan variable fluida lain juga tidak tetap. $\partial h / \partial t \neq 0$
 - Hydraulic jump. $\partial v / \partial s \neq 0$

Hal ini timbul pada aliran air banjir dan gelombang atau gutter (parit terbuka).

Pada umumnya perhitungan saluran terbuka hanya digunakan pada aliran tetap dengan debit Q dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot V \quad \dots\dots\dots (1) \\ A &= \text{Luas penampang melintang saluran (m}^2\text{)} \\ V &= \text{Kecepatan rata-rata aliran (m/dtk)} \end{aligned}$$

Dan debit untuk sepanjang saluran dianggap seragam dengan kata lain aliran bersifat kontinu.

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = \dots\dots\dots (2) \text{ (persamaan kontinuitas)}$$

I.3. Keadaan Aliran

Aliran pada saluran terbuka dapat diklasifikasikan berdasarkan pengaruh kekentalan fluida (v = viskositas) dan gaya gravitasi (g).

I.3.1. Aliran Laminer dan Turbulen

Perbandingan gaya-gaya yang disebabkan oleh gaya Inersia, gravitasi dan kekentalan dikenal sebagai bilangan Reynolds (Re) ditulis sebagai berikut :

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu}$$

Dimana :
 V = Kecepatan rata-rata aliran
 l = Panjang karakteristik (m)
 h untuk aliran terbuka
 D untuk aliran tertutup
 ν = Viskositas kinematik (m^2/dtk)

Dalam hal ini, jika nilai Re kecil aliran akan meluncur lapisan di atas lapisan lain yang dikenal sebagai Aliran Laminar, sedangkan jika aliran-aliran tadi tidak terdapat garis edar tertentu yang dapat dilihat, aliran ini disebut Aliran Turbulen.



Gambar 1.3 : Aliran Laminer dan Turbulen

Pada pipa :

- ♦ Aliran Laminer terjadi jika $Re < 2000$
- ♦ Aliran Turbulen terjadi jika $Re > 4000$

Untuk kondisi $2000 < Re < 4000$ aliran ini diklasifikasikan sebagai Aliran Transisi.

Untuk saluran tertutup Bilangan Reynolds telah dinyatakan sebagai :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Sedangkan :

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{1}{4} TL D^2}{TL D} = \frac{D}{4}$$

$$4R = D$$

Bilangan Reynolds dapat juga ditulis sebagai :

$$Re = \frac{4 R V}{\nu}$$

Dimana :
 D = Diamter pipa (m)
 A = Luas penampang pipa (m^2)
 P = Keliling basah (m)
 R = Jari-jari hidrolis (m)

Ingat ini selanjutnya tidak untuk jari-jari lingkaran

Pada Saluran Terbuka :

- ♦ Aliran Laminer terjadi jika $Re < 500$
- ♦ Aliran Turbulen terjadi jika $Re > 1000$

Untuk kondisi $500 < Re < 1000$ disebut Aliran Transisi.

Dimana : $Re = \frac{V \cdot R}{\nu}$ (berbeda 4 kali)

Kekasaran pipa

Dalam keadaan Turbulent, peralihan atau Laminer untuk aliran dalam pipa (saluran tertutup) telah dikembangkan Rumus Darcy Weisbach.

$$h_f = \lambda \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

Dimana :

- h_f = Kehilangan energi akibat gesekan (m)
- λ = f = Faktor gesekan
- L = Panjang pipa
- V = Kecepatan
- g = Gravitasi
- D = Diameter
- D = $4R$ (sudah diterangkan sebelumnya).

Gradient energi :

$$S = \frac{h_f}{L}$$

$$h_f = S \cdot L$$

Persamaan Darcy Weisbach menjadi :

$$S \cdot L = \lambda \frac{L \cdot V^2}{4R \cdot 2g}$$

$$= \lambda \frac{8 \cdot g \cdot R \cdot S}{V^2}$$

Ada beberapa rumus untuk menghitung kehilangan energi seperti :

- ♦ Blassius
- ♦ Prandtl - von Karman

I.3.2. Aliran Sub-Kritis, Kritis dan Super-Kritis

Perbandingan Gaya-gaya Inersia dan Gravitasi dikenal sebagai Bilangan Froude :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot l}}$$

$$\begin{aligned} l &= h && \text{untuk aliran terbuka} \\ l &= D && \text{untuk aliran tertutup} \end{aligned}$$

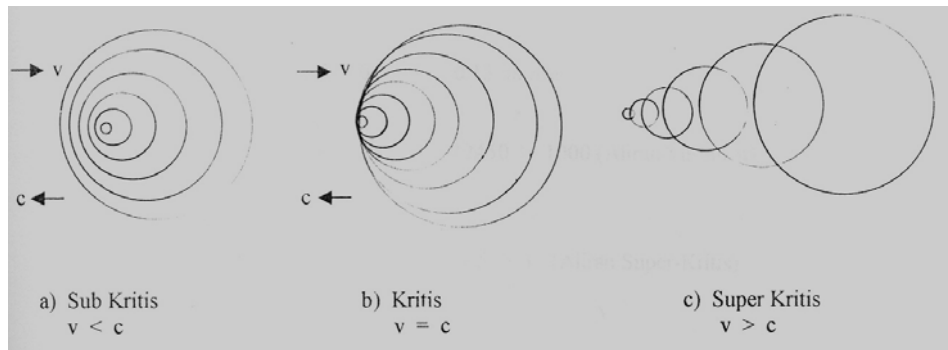
Aliran dikatakan kritis jika :

$$\begin{aligned} F &= 1,0 && \text{disebut Aliran Kritis} \\ F &< 1,0 && \text{disebut Sub-Kritis (Aliran tenang atau Tranquil)} \\ F &> 1,0 && \text{disebut Super-Kritis (Aliran cepat atau Rapid Flow)} \end{aligned}$$

$\sqrt{g \cdot l}$ menunjukkan juga kecepatan gelombang atau celerity pada permukaan bebas.

$$C = \sqrt{g \cdot l}$$

Test : Jatuhkan batu pada aliran, jika gelombang merambat ke hulu dan ke hilir aliran dalam keadaan Sub-Kritis seperti tergambar pada 1.4a.



Selanjutnya aliran digolongkan ke dalam 4 (empat) rezim yang didasarkan pada Bilangan Froude dan Reynolds.

- | | | |
|-------------|----------------|--------------------------|
| 1. Laminer | - Sub-Kritis | Jika $F < 1 ; Re < 500$ |
| 2. Laminer | - Super-Kritis | Jika $F > 1 ; Re < 500$ |
| 3. Turbulen | - Sub-Kritis | Jika $F < 1 ; Re > 1000$ |
| 4. Turbulen | - Super-Kritis | Jika $F > 1 ; Re > 1000$ |

Aliran Kritis untuk $F = 1$

Peralihan $500 < R < 1000$

Soal latihan : Untuk BAB I

Buku Rangka Raju, Soal 1.3, halaman 19.

Aliran air pada suatu saluran empat persegi demean lebar 1,0 m, kedalaman 0,10 m dan kecepatan 1,5 m/det. Tentukan keadaan aliran. $D = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$. $\tau = 21^\circ\text{C}$.

Dari Tabel Viscositas didapat :

$$\begin{aligned} \nu &= 0,977 \cdot 10^{-5} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det} \\ A &= 1 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ m}^2 \\ P &= 1 + 2 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ m} \\ R &= \frac{A}{P} = \frac{0,1}{1,2} = 0,083 \\ Q &= V \cdot A = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ m}^3/\text{det} \\ \text{Re} &= \frac{R \cdot V}{\nu} = \frac{0,083 \cdot 1,5}{10^{-6}} = 12450 > 1000 \text{ (Aliran Turbulen)} \\ F &= \frac{V}{\sqrt{g \cdot I}} = \frac{1,5}{\sqrt{9,81 \cdot 0,1}} = 1,5 > 1 \text{ (Aliran Super-Kritis)} \end{aligned}$$

II. ALIRAN SERAGAM (MERATA) UNIFORM FLOW

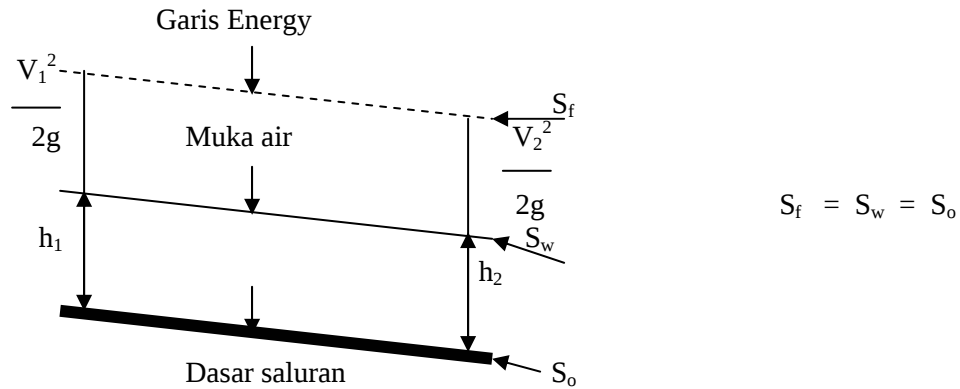
Ciri-ciri Aliran Seragam (Uniform Flow) adalah :

- ♦ Kedalaman aliran
 - ♦ Luas penampang basah
 - ♦ Kecepatan rata-rata
 - ♦ Debit persatuan waktu
- } Pada sepanjang daerah yang lurus adalah sama

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial S} &= 0 & \frac{\partial P}{\partial S} &= 0 \\ \frac{\partial V}{\partial S} &= 0 & \frac{\partial Q}{\partial S} &= 0 \end{aligned}$$

Sedangkan ciri-ciri lain adalah :

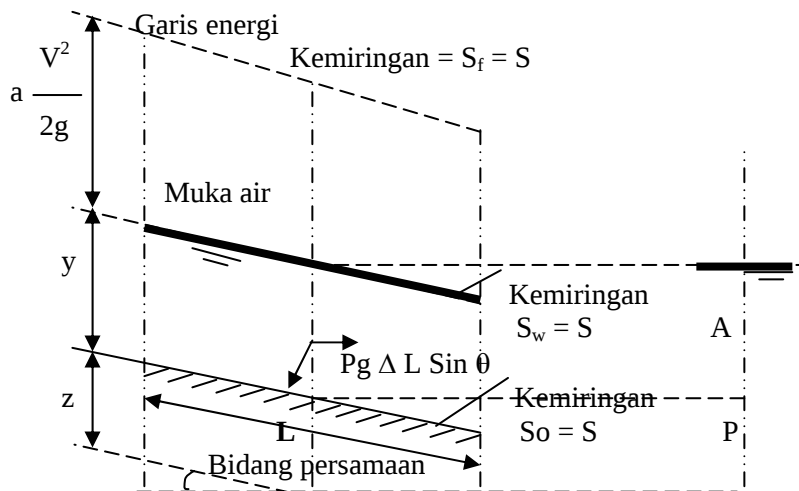
- ♦ Garis energy
 - ♦ Muka air
 - ♦ Dasar saluran
- } Sejajar atau $S_f = S_w = S_o$



Syarat-syarat lain untuk aliran merata di sebut normal, yaitu kedalaman normal dan kemiringan normal.

Didapat persamaan-persamaan Semi Empiris sebagian besar dalam bentuk :

$$V = C \cdot R^x \cdot S^y$$



Gambar 2.1 : Penurunan Rumus Chezy untuk aliran seragam pada saluran terbuka

II.1 Rumus Chezy

Bila air mengalir dalam suatu saluran terbuka, air tersebut akan mengalami tahanan saat mengalir ke hilir. Tahanan mengadakan perlawanan terhadap komponen gaya berat yang menyebabkan air tersebut mengalir. Aliran seragam terjadi bila kedua komponen ini seimbang.

Untuk Airan Mantap (tidak ada percepatan) diperoleh persamaan :

$$\rho g \cdot A \cdot L \sin \theta = \tau_o \cdot P \cdot L \dots\dots\dots (1)$$

Karena θ kecil, maka : $\sin \theta = \tan \theta = S \longrightarrow S$ adalah kemiringan dasar saluran

$$\rho g \cdot A \cdot L \cdot S = \tau_o \cdot P \cdot L \dots\dots\dots (2)$$

Secara Empiris diketahui bahwa tegangan geser sebanding dengan kwadrat kecepatan :

$$\tau_o \text{ sebanding dengan } V^2 \longrightarrow \tau_o = k \cdot V^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dari (2) & (3)

$$\rho g \cdot A \cdot L \cdot S = k \cdot V^2 \cdot P \cdot L$$

$$V^2 = \frac{\rho g \cdot A \cdot S}{k \cdot P}$$

Chezy menemukan :

$$V = \sqrt{\frac{\rho g}{k} \cdot \frac{A}{P} \cdot S} = \sqrt{\frac{\rho g}{k}} \cdot \sqrt{R \cdot S}$$

dengan merubah : $\sqrt{\frac{\rho g}{k}} = C$

maka diperoleh :

$$V = C \sqrt{R \cdot S} \dots\dots\dots$$

Inilah yang dikenal sebagai Rumus Chezy
yang merupakan rumus dasar untuk
menentukan kecepatan aliran seragam

Ada beberapa rumus untuk menentukan besaran C yang diberi nama menurut penemunya yakni :

- | | | |
|--|---|----------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> a. Gauguilet Kutter b. Basin c. Powell | } | Lihat halaman 170 Ranald V Giles |
|--|---|----------------------------------|

Note : Bandingkan dengan Ven Te Chow

Soal 59, halaman 198 $\longrightarrow$ Ranald V.Giles

Salin soal.

$$A = \frac{1,219 + 3,048}{2} \cdot 2,438 = 5,201 \text{ m}^2$$

$$V = C \sqrt{R \cdot S}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$14,77 = 5,201 \cdot V$$

$$V = 2,840 \text{ m/det}$$

$$P = 1,219 + 3,048 + 3,048 = 7,315$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{5,201}{7,315} = 0,711$$

$$V = C \sqrt{R \cdot S}$$

$$S = \frac{V^2}{C^2 \cdot R} = \frac{2,840^2}{55,2^2 \cdot 0,711} = 0,00372$$

Untuk $C = 55,2$ hitunglah m basin :

$$C = \frac{87}{1 + m / \sqrt{R}} = \frac{87}{1 + 1,186 m}$$

$$65,46 m = 87 - 55,2 = 31,8$$

$$m = 0,486$$

II.2 Rumus Manning

Manning mengungkapkan bahwa nilai C masih dipengaruhi oleh jari-jari hidrolis R .

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad n = \text{Kekasaran saluran menurut Manning}$$

Sehingga Rumus Chezy diperbaharui menjadi :

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

Atau :

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

II.3 Rumus Strickler

Strickler menyarankan lagi dengan memberi konstanta :

$$K = \frac{1}{n}$$

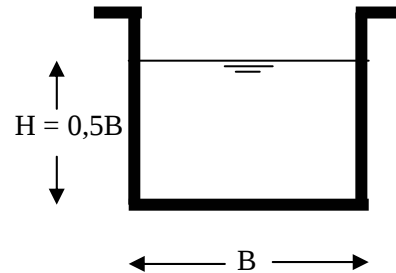
Sehingga $V = K \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$

Tahun 1933 Rumus Strickler disarankan untuk pemakaian secara Internasional pada Konferensi Stockholm.

Soal 61, halaman 198 Randal V Giles

$$S = \frac{0,61}{1219} = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$V = \frac{2,22}{0,5B^2} = \frac{4,44}{B^2}$$



Untuk aliran dianggap saluran terbuka :

$$P = B + 0,5B + 0,5B = 2B$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,5B^2}{2B} = 0,25B$$

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

$$\frac{4,44}{B^2} = \frac{1}{0,012} (0,25B)^{2/3} (5 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 0,739B^{2/3}$$

$$B^{8/3} = 6,0205$$

$$B = 1,96 \text{ m}$$

$$H = 0,5B = 0,98 \text{ m}$$

Soal 57, halaman 198 Randal V Giles

Manning :

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \longrightarrow V^2 = \frac{1}{n^2} \cdot R^{4/3} \cdot S$$

Darcy Weisbach :

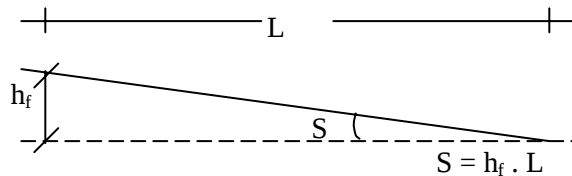
$$\lambda = \frac{8 \cdot g \cdot R \cdot S}{V^2} \longrightarrow V^2 = \frac{8 \cdot g \cdot R \cdot S}{\lambda} = \lambda \cdot R^{1/3} = n^2 \cdot 8 \cdot 9,81$$

$$n^2 = \frac{\lambda R^{1/3}}{8 \cdot 9,81}$$

$$n = 0,1129^{1/2} \cdot R^{1/6}$$

II.4 Head Turun (h_f)

Head turun dapat dihitung dengan merubah suku-suku Rumus Manning sebagai berikut :



$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot (h_f / L)^{1/2}$$

$$V^2 = \frac{1}{n^2} \cdot R^{4/3} \cdot h_f / L$$

$$h_f = \frac{V^2 \cdot n^2 \cdot L}{R^{4/3}} = \left[\frac{V \cdot n}{R^{2/3}} \right]^2 \cdot L \longrightarrow S = h_f / L$$

Untuk aliran tidak seragam dan saluran panjang harga ini dapat digunakan.

Kesulitannya adalah penentuan factor kekasaran saluran Manning (n)

II.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Nilai Kekasaran Saluran

Kekasaran saluran sangat mempengaruhi besarnya kecepatan rata-rata pada saluran. Nilai kekasaran saluran tidak hanya ditentukan dari satu factor, tetapi dapat merupakan kombinasi dari beberapa factor berikut ini :

a. Kekasaran permukaan saluran

Kekasaran permukaan saluran tergantung daripada butir-butir yang membentuk keliling basah, ukuran dan bentuk butiran menimbulkan efek hambatan terhadap aliran.

- Butir kasar – n besar
- Butir halus – n kecil

b. Jenis tumbuh-tumbuhan

Tumbuhan yang terdapat dalam saluran dapat menghambat lajunya aliran serta memperkecil kapasitas pengaliran.

- Belukar atau bakau – n besar
- Rerumputan – n kecil

c. Ketidakberaturan tampang melintang saluran

Ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang terutama pada saluran alam.

- Teratur – n kecil
- Tidak teratur – n besar

d. Trace saluran

Lengkung saluran dengan garis tengah yang besar akan lebih baik dari pada saluran dengan tikungan tajam.

- Lurus – n kecil
- Berbelok-belok – n besar

e. Pengendapan dan penggerusan

Proses pengendapan permukaan dapat mengakibatkan saluran menjadi halus, demikian juga sebaliknya, pada penggerusan mengakibatkan saluran menjadi kasar.

- Lumpur – n kecil
- Kerikil – n besar

f. Hambatan

Adanya pilar jembatan, balok sekat atau drempel dapat mempengaruhi aliran terutama jika jumlahnya banyak.

- Hambatan kecil – n besar
- Hambatan besar – n kecil

$R_{Ideal} \longrightarrow$ n kecil

$R_{Ideal} \longrightarrow$ n besar

g. Ukuran dan bentuk saluran

Saluran dengan dimensi yang relative besar lebih sedikit dipengaruhi oleh kekasaran saluran, sedangkan jari-jari hidrolis yang ideal sangat mempengaruhi debit pengaliran pada saluran.

- Saluran kecil – n besar
- Saluran besar – n kecil

h. Taraf air dan debit

Air dangkal lebih dipengaruhi oleh ketidak terturan dasar saluran, begitu juga untuk debit-debit kecil.

- Air dangkal – n besar
- Air dalam – n kecil
- Debit kecil – n besar
- Debit besar – n kecil

Catatan : Lebih lanjut baca “Hidrolika Saluran Terbuka; oleh Ven Te Chow” halaman 101 s/d 122.

Soal 70, halaman 199 Randal V Giles

$$Q = 11,55 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H_f = 3,22 \text{ m}$$

$$L = 1600 \text{ m}$$

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{3,22}{1600} = 0,0020125$$

$$A = 0,863 \cdot 4,877 = 4,209 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \cdot 0,863 + 4,877 = 6,603 \text{ m}$$

$$R = \frac{4,209}{6,603} = 0,637 \text{ m}$$

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \text{ m}^3/\text{det}$$

$$n = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{Q} = \frac{4,209 \cdot (0,637)^{2/3} \cdot 0,002^{1/2}}{11,55} = 11,55$$

Kontrol satuan :

$$\text{Satuan n} = \frac{A \cdot R^{2/3} S^{1/2}}{Q} = \frac{m^2 \cdot m^{2/3}}{m^3/\text{det}} = \text{det}/m^{1/3}$$

$$\text{Satuan C} = \frac{V}{\sqrt{R \cdot S}} = \frac{m/\text{det}}{m^{1/2}} = m^{1/2}\text{det}$$

$$\text{Satuan n} = \frac{R^{1/6}}{C} = \frac{m^{1/6}}{m^{1/2}\text{det}} = \text{det}/m^{1/3}$$

Soal 71, halaman 199 Randal V Giles

$$\tau_o \cdot P \cdot L = \rho \cdot g \cdot A \cdot L \cdot S$$

$$\tau_o = \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot L \cdot S}{P \cdot L} = \rho \cdot g \cdot R \cdot S \longrightarrow \text{dimana } \frac{A}{P} = R$$

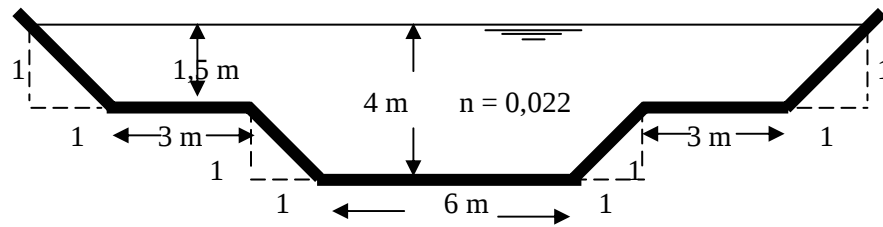
$$= 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,637 \cdot 0,0020125 = 12,58 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Kontrol satuan} \longrightarrow \text{kg/m}^3 \cdot \text{m}/\text{det}^2 \cdot \text{m} = \text{kg m}/\text{det}^2/\text{m}^2 = \text{N/m}^2$$

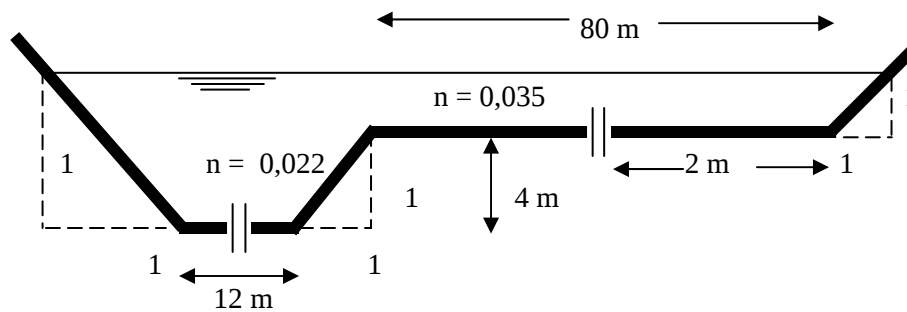
II.6 Profil Tersusun

Soal 26, halaman 57 (Rangga Raju)

- 2.6. Penampang dari 2 (dua) sungai dapat diidealkan seperti ditunjukkan dalam gambar berikut. Tentukan debit yang diangkut oleh setiap sungai apabila $S = 2 \times 10^{-4}$ dalam kedua kasus.



(a)



(b)

CARA I :

Kasus I :

$$\begin{aligned}
 \text{I} \quad & \rightarrow \quad A_1 = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ m}^2 \\
 & P_1 = 3 + \sqrt{2} \cdot 1,5 = 5,121 \text{ m} \\
 & R_1 = \frac{4,5}{5,121} = 0,879 \text{ m} \\
 & Q_1 = 4,5 \cdot \frac{1}{0,022} \cdot 0,879^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 2,659 \text{ m}^3/\text{det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{II} \quad & \rightarrow \quad A_2 = (6 + 6 + 2 \cdot 4) \cdot 0,5 \cdot 4 = 40 \text{ m}^2 \\
 & P_2 = 6 + 2 \sqrt{2} \cdot 2,5 = 13,071 \text{ m} \\
 & R_2 = \frac{40}{13,071} = 3,06 \text{ m} \\
 & Q_2 = 40 \cdot \frac{1}{0,022} \cdot 3,06^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 54,198 \text{ m}^3/\text{det} \\
 & Q_{\text{tit}} = Q_2 + 2 \cdot Q_1 = 54,198 + 2 \cdot 2,659 = 59,506 \text{ m}^3/\text{det}
 \end{aligned}$$

Kasus II :

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{12 + 12 + 2 \cdot 6}{2} \cdot 6 = 108 \text{ m}^2 \\
 P_1 &= 12 + \sqrt{2} \cdot 6 + \sqrt{2} \cdot 4 = 26,142 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{108}{26,142} = 4,13 \text{ m}$$

$$Q = 108 \cdot \frac{1}{0,022} \cdot 4,13^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 178,74 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$A_2 = 80 \cdot 2 = 160 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 80 + \sqrt{2 \cdot 2} = 82,828 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{160}{82,828} = 1,932 \text{ m}$$

$$Q_2 = 160 \cdot \frac{1}{0,035} \cdot (1,932)^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 100,276 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{\text{ttl}} = Q_1 + Q_2 = 178,74 + 100,276 = 279,02 \text{ m}^3/\text{det}$$

CARA II :

Kasus I :

$$\begin{aligned} \text{I} \quad \rightarrow \quad A_1 &= 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ m}^2 \\ P_1 &= 3 + \sqrt{2 \cdot 1,5} = 5,121 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{4,5}{5,121} = 0,879 \text{ m}$$

$$Q_1 = 4,5 \cdot \frac{1}{0,022} \cdot 0,879^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 2,659 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{II} \quad \rightarrow \quad A_2 = \frac{6 + 6 + 2 \cdot 4}{2} \cdot 4 = 40 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 6 + 2 \sqrt{2 \cdot 2,5} = 13,071 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{40}{13,071} = 3,06 \text{ m}$$

$$Q_2 = 40 \cdot \frac{1}{0,022} \cdot 3,06^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 54,198 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{\text{ttl}} = Q_2 + 2 \cdot Q_1 = 54,198 + 2 \cdot 2,659 = 59,506 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kasus II :

$$A_1 = \frac{12 + 12 + 2 \cdot 6}{2} \cdot 6 = 108 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 12 + \sqrt{2 \cdot 6} + \sqrt{2 \cdot 4} = 26,142 \text{ m}$$

$$R_1 = \frac{108}{26,142} = 4,13 \text{ m}$$

$$Q = 108 \cdot \frac{1}{0,022} \cdot 4,13^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 178,74 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$A_2 = 80 \cdot 2 = 160 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 80 + \sqrt{2 \cdot 2} = 82,828 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{160}{82,828} = 1,932 \text{ m}$$

$$Q_2 = 160 \cdot \frac{1}{0,035} \cdot (1,932)^{2/3} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 100,276 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{\text{ttl}} = Q_1 + Q_2 = 178,74 + 100,276 = 279,02 \text{ m}^3/\text{det}$$

III. PENAMPANG HIDROLIS TERBAIK (BEST HYDRAULIC SECTION)

Penampang hidrolis terbaik atau paling efisien kadang-kadang disebut jua tampang ekonomis. Terjadi jika parameter basah minimum sehingga luas penampang minimum dan volume galian akan minimum.

Rumus dasar :

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot V = A \cdot C \cdot R^{1/2} \cdot S^{1/2} \\ Q &= C \cdot \frac{A^{3/2}}{P^{1/2}} \cdot S^{1/2} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Persamaan Aliran Uniform} \\ \text{yang dikembangkan Chezy} \end{array} \right\}$$

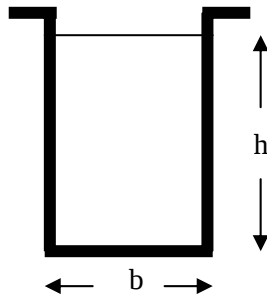
Untuk suatu luas irisan penampang (A), kemiringan tertentu (S) dan kekasaran tertentu (C atau n) dan kecepatan (V) akan menjadi maximum bila jari-jari hydraulic (R) maximum.

$$Q_{\max} = A_{\text{tetap}} \cdot R_{\max} \cdot S_{\text{tetap}}$$

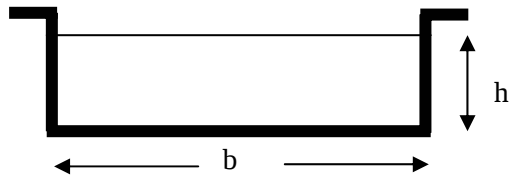
Jari-jari hidrolis (R) maximum terjadi jika keliling basah (P) minimum.

$$R_{\max} = \frac{A_{\text{tetap}}}{P_{\min}}$$

Ilustrasi :



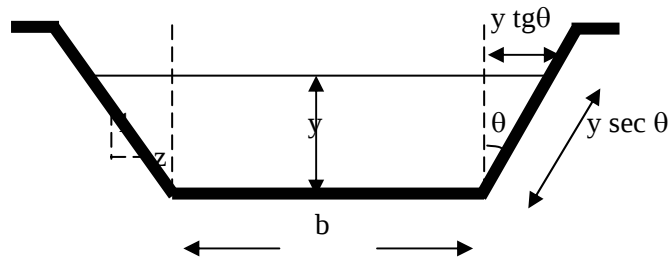
Tampang A $\Rightarrow b < h$



Tampang B $\Rightarrow b > h$

Dari segi pembebasan tanah, Tampang A lebih baik dari Tampang B.

III.1 Tampang Trapesium



$$\text{tg} \theta = z$$

$$A = b \cdot y + 2 \frac{y \cdot y \cdot \text{tg} \theta}{2} = by + y^2 \cdot \text{tg} \theta \longrightarrow by = A - y^2 \cdot \text{tg} \theta$$

$$b = \frac{A}{y} - y \cdot \text{tg} \theta \dots\dots\dots (1)$$

$$P = b + 2y \text{ Sec } \theta \dots\dots\dots (2)$$

$$(1) \longrightarrow (2) \quad P = \frac{A}{y} - y \cdot \text{tg} \theta + 2y \text{ Sec } \theta \dots\dots\dots (3)$$

$$P_{\min} \text{ jika } \frac{dP}{dy} = 0$$

$$\frac{dp}{dy} = \frac{A}{y^2} - \tan \theta + 2 \sec \theta = 0 \rightarrow A = (2 \sec \theta - \tan \theta) y^2 \dots \dots \dots (4)$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} = \frac{(2 \sec \theta - \tan \theta) y^2}{(2 \sec \theta - \tan \theta) y^2} \\ &= \frac{-y \tan \theta + 2y \sec \theta}{(2 \sec \theta - \tan \theta) y^2} \\ &= \frac{y}{(2 \sec \theta - \tan \theta) y + y (2 \sec \theta - \tan \theta)} \\ R &= \frac{y}{2} \end{aligned}$$

Note $\rightarrow dA y^{-1} = -1 A \cdot y^{-2} = \frac{A}{y^2}$

Cara II :

Untuk semua saluran trapezium, penampang hidrolis yang terbaik diperoleh bila :

$$R = \frac{y}{2}$$

$$A = (b + mh) h \rightarrow b = \frac{A}{h} - mh$$

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

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} - m + 2 \sqrt{m^2 + 1} = 0 \rightarrow A = (2 \sqrt{m^2 + 1} - m) h^2$$

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

III.2 Untuk Saluran Segi Empat

Saluran segi empat adalah suatu saluran trapasi yang $\theta = 0$ dan parameter lain dapat dihitung sebagai berikut :

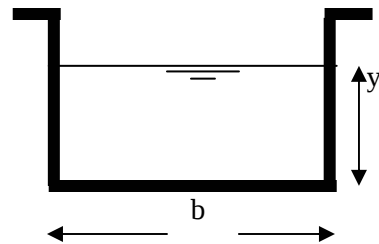
$$\left. \begin{array}{l} A = by \\ P = b + 2y \end{array} \right\} R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{by}{b + 2y} = \frac{y}{2} \longrightarrow R = y / 2 \text{ untuk tampang ekonomis}$$

$$2by = by + 2y^2$$

$$by = 2y^2$$

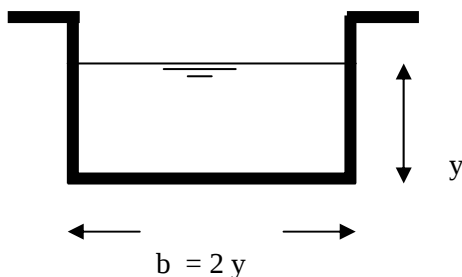
$$b = 2y$$



Selanjutnya menghasilkan kembali nilai-nilai:

$$\left. \begin{array}{l} A = 2y^2 \\ P = 4y \end{array} \right\} R = \frac{A}{P} = \frac{2y^2}{4y} = \frac{y}{2}$$

Soal 69, halaman 199 Randal V Giles



$$Q = 1,19 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$0,50$$

$$S = \frac{0,50}{1000} = 0,0005$$

$$1000$$

$$n = 0,012$$

Dari penyelesaian di atas dapat diambil $b = 2y$

$$\left. \begin{array}{l} A = 2y^2 \\ P = 4y \end{array} \right\} R = \frac{A}{P} = \frac{1}{2} y$$

1

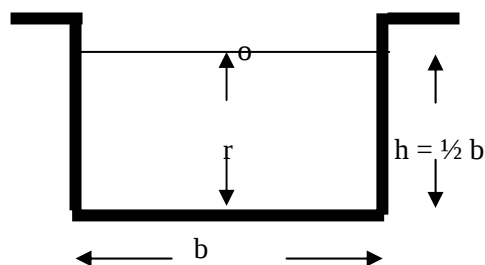
$$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$1,19 = 2y^2 \cdot \frac{1}{0,012} \cdot (0,5y)^{2/3} \cdot 0,0005^{1/2} = 2,3477 y^{8/3}$$

$$\frac{y^{8/3}}{b} = 0,50688 \longrightarrow y = 0,775 \text{ m}$$

$$\frac{b}{2y} = 1,55 \text{ m}$$

III.3 Untuk Tampang Setengah Lingkaran



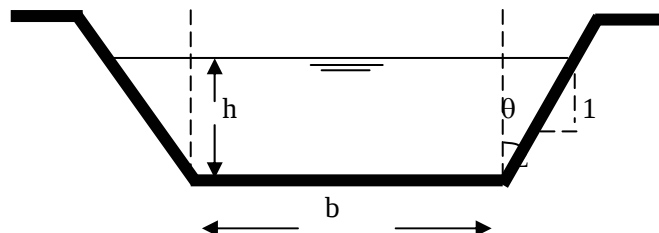
Dari gambar saluran di atas kelihatan bahwa tampang hidraulik terbaik untuk saluran berbentuk setengah lingkaran didapat jika :

$$r = \frac{1}{2} b = h$$

Atau saluran berbentuk setengah lingkaran dalam saluran persegi panjang terbuka yang kedalamannya setengah dari lebar saluran.

Setengah Lingkaran dengan O sebagai pusat dan jari-jari r menyinggung dasar dan kedua sisi penampang saluran persegi yang paling efficient.

III.4 Sudut Tampang Trapesium terbaik



Dari Persamaan (3) kita peroleh bahwa :

$$P = \frac{A}{y} - y \operatorname{tg} \theta + 2y \operatorname{Sec} \theta$$

Persamaan ini berlaku untuk sebarang nilai besar sudut Trapesium (θ)

Berapa nilai θ yang terbaik dapat dihitung dengan :

$$\frac{dp}{dy \operatorname{tg} \theta} = 0 \dots\dots\dots \operatorname{tg} \theta = z$$

$$\operatorname{Sec} \theta = \sqrt{z^2 + 1}$$

P dapat ditulis menjadi :

$$P = \frac{A}{y} - zy + 2y \sqrt{z^2 + 1}$$

$$\frac{dP}{dz} = 0 - y + 2y \cdot \frac{1}{2 \sqrt{z^2 + 1}} \cdot 2z = 0 \longrightarrow \text{Lihat A}$$

$$y = \frac{2y \cdot z}{\sqrt{z^2 + 1}}$$

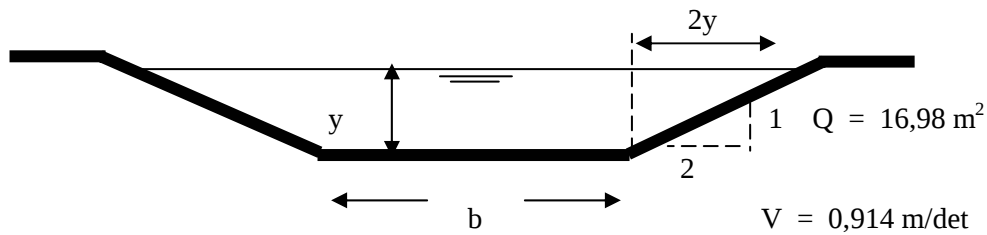
$$2z = \sqrt{z^2 + 1} \longrightarrow z = \frac{1}{\sqrt{3}} \longrightarrow \text{Lihat B}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{\sqrt{3}} \longrightarrow \theta = 30^\circ$$

Note :

$$(A) \quad \frac{d}{dz} (2y \cdot (z^2 + 1)^{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot 2y (z^2 + 1)^{-1/2} \cdot 2z = \frac{2zy}{\sqrt{z^2 + 1}}$$

$$(B) \quad 4z^2 = z^2 + 1 \longrightarrow 3z^2 = 1 \longrightarrow z = \frac{1}{\sqrt{3}}$$



$$A = \frac{Q}{V} = \frac{16,98}{0,914} = 18,578 \text{ m}^2$$

$$A = b \cdot y + 2 \cdot 2y \cdot \frac{y}{2} = by + 2y^2$$

$$P = b + 2 \sqrt{y^2 + y^2} = b + 4,47y$$

$$R = \frac{by + 2y^2}{b + 4,47y} = \frac{y}{2} = 2by + 4y^2 = by + 4,47 y^2 = by - 0,47 y^2 = 0$$

$$b = 0,47 y$$

$$18,578 = 0,47 y \cdot y + 2 y^2 = 2,47 y^2 \longrightarrow y^2 = 1,521$$

$$y = 2,743 \text{ m}$$

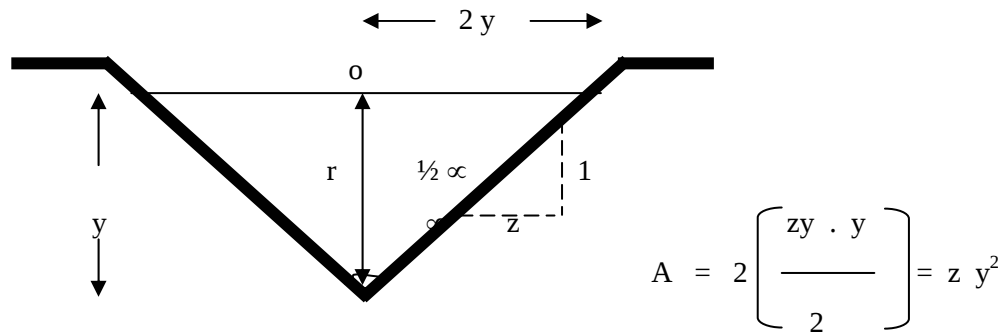
$$b = 0,47 \cdot 2,743 = 1,289 \text{ m}$$

Soal 74, halaman 199 Randal V Giles

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

$$S = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}} = \frac{0,914^2 \cdot 0,025^2}{\left[\frac{2,743^{4/3}}{2} \right]} = 3,42 \cdot 10^{-3}$$

III.5 Tampang Segi Tiga Terbaik



$$A = zy^2 \longrightarrow y = \left[\frac{A}{z} \right]^{1/2}$$

$$P = 2 \sqrt{z^2 + 1} \cdot y = 2 \sqrt{z^2 + 1} \cdot \left[\frac{A}{z} \right]^{1/2}$$

$$\text{atau : } P^2 = 4(z^2 + 1) \cdot \frac{A}{z} = 4 \left[z + \frac{1}{z} \right] A$$

$$2P \frac{dP}{dz} = \left[4 - \frac{4}{z^2} \right] A = 0$$

$$\frac{dP}{dz} = \frac{4A - \frac{4A}{z^2}}{2P} = 0$$

Persamaan ini hanya berlaku jika $z = 1$.

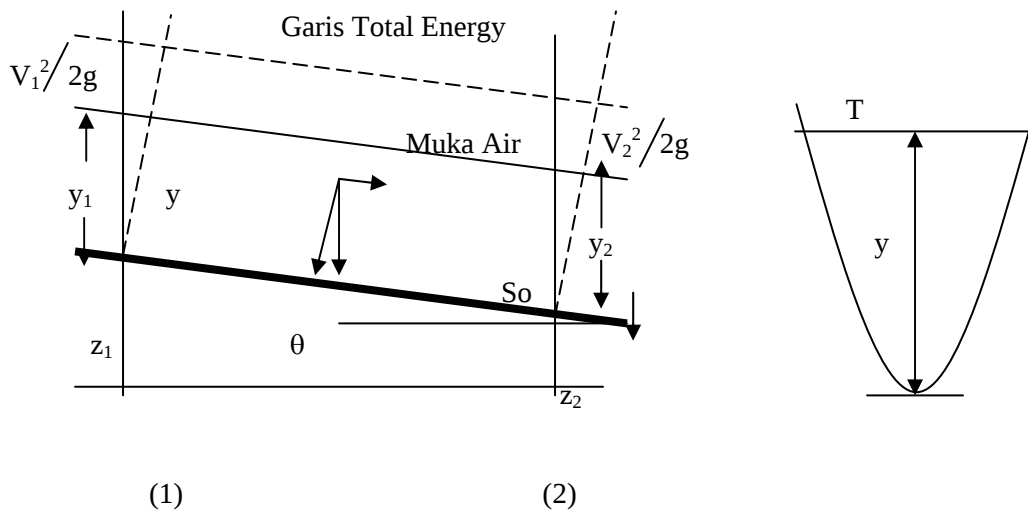
Untuk : $z = 1 \longrightarrow \frac{1}{2} \alpha = 45^\circ \longrightarrow \alpha = 90^\circ$

IV. ENERGI SPESIFIK (ENERGI KHAS)

Energi Spesifik aliran pada setiap penampang tertentu didefinisikan sebagai total energy pada tampang tersebut dengan mengambil dasar saluran sebagai titik dasar pengukuran.

$$\text{Persamaan Energy} \longrightarrow z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

atau disebut juga Persamaan Bernoulli



$$E = y \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Untuk sudut θ kecil & koeficient $\alpha = 1$

Energi pada titik (1) dengan mengambil dasar saluran sebagai datum (diperhitungkan terhadap dasar saluran).

$$V^2$$

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

Atau Energy Spesifik adalah jumlah kedalaman aliran ditambah tinggi energy kecepatan

Kalau : $V = \frac{Q}{A} \longrightarrow E = y + \frac{Q^2}{A^2 2g}$

Untuk debit tertentu dan bentuk saluran telah ditentukan, spesifik energi hanya merupakan fungsi dari kedalaman (y).

$$E = f(y)$$

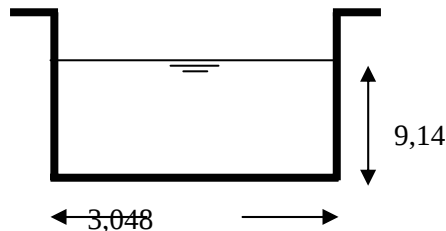
Untuk saluran segi empat, energi spesifik dapat ditulis :

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \dots\dots\dots (A)$$

dimana q adalah debit persatuan lebar saluran

$$q = \frac{Q}{B} \longrightarrow Q^2 = q^2 \cdot b^2 \quad \text{dan} \quad A^2 = b^2 \cdot y^2$$

Soal 78, halaman 200 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ranald V Giles



$$Q = 6,23 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$A = 2,786 \text{ m}^2$$

$$q = \frac{Q}{B} = 2,044$$

$$E = y + \frac{Q^2}{A^2 \cdot 2g} \quad \text{atau} \quad y + \frac{q^2}{2g}$$

$$= 0,914 + \frac{6,23^2}{2,786^2 \cdot 2 \cdot 9,81} \quad \text{atau} \quad 0,914 + \frac{2,044^2}{2,981} = 1,17 \text{ m}$$

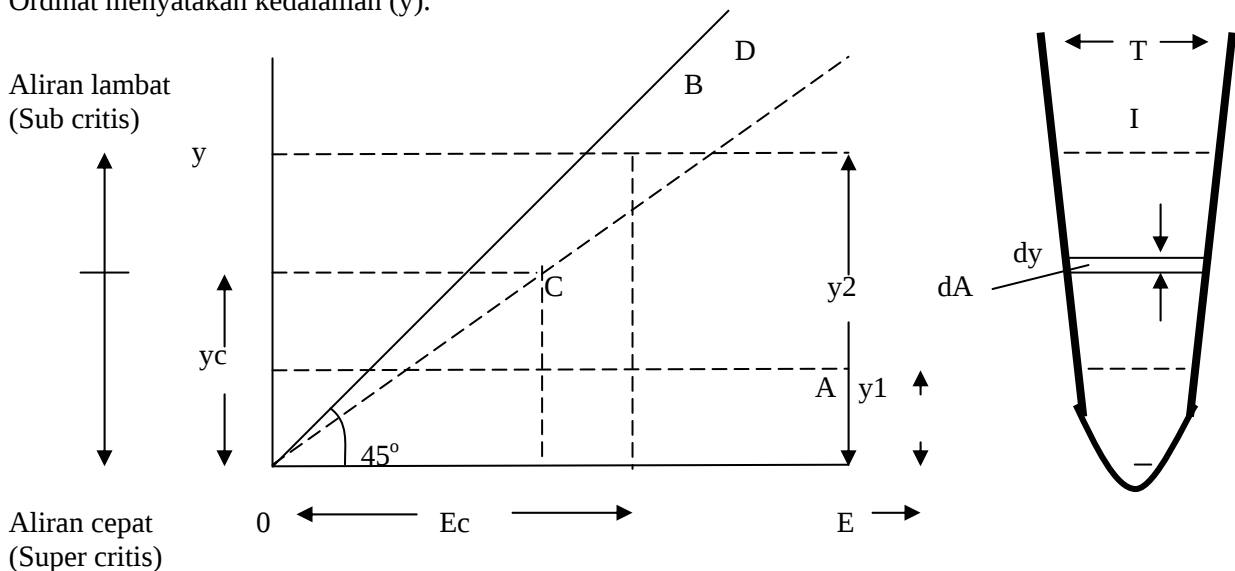
IV.1 Diagram Energy Spesifik

Hubungan antara Energy Spesifik (E) dan kedalaman aliran (y) untuk suatu penampang saluran dengan debit tertentu akan menggambarkan suatu lengkung energy spesifik yakni lengkung AC dan CB.

Cabang CA mendekati sumbu datar secara asymtosis ke arah kanan.

Cabang CB mendekati garis OD (garis yang melewati titik awal 0 dengan sudut kemiringan 45°).

Ordinat menyatakan kedalaman (y).



Absis menyatakan energy spesifik (E).

Lengkung energy menunjukkan bahwa untuk suatu harga energy spesifik tertentu akan terdapat 2 kemungkinan kedalaman.

- ♦ Taraf rendah y_1 (aliran cepat = rapid flow = aliran superkritis)
- ♦ Taraf tertinggi y_2 (aliran lambat = tranquil flow = aliran subkritis)

Pada titik C energy spesifik (E) menjadi paling kecil atau energy minimum.

Kondisi energy minimum menunjukkan keadaan aliran kritis.

Lihat “Tolok Ukur Aliran Kritis”.

Untuk sembarang saluran :

$$E = \frac{1}{y} + \left[\frac{Q}{y} \right]^2$$

$$2g \quad A$$

Untuk Q yang tetap dan A berubah bersama dengan perubahan y, energy minimum diperoleh dari turunan energy terhadap kedalaman.

$$\frac{dE}{dy} = 1 + \frac{Q^2}{2g} \left[- \frac{2dA}{A^3 dy} \right] = 1 - \frac{Q^2 dA}{A^3 g dy} = 0$$

Luas dA adalah T . dy sedangkan luas untuk kondisi minimum atau kondisi kritis adalah A_c .

$$\frac{Q_c^2 T}{g A_c^3} = 1 \quad \text{atau} \quad \frac{Q_c^2}{g} = \frac{A_c^3}{T}$$

Jika ruas-ruasnya dibagi A_c^2

$$\frac{V_c^2}{g} = \frac{A_c}{T} \longrightarrow V_c = \frac{\sqrt{g A_c}}{T}$$

Kedalaman hidrolis :

$$y_m = \frac{A}{T}$$

$$V_c = \sqrt{g y_m} \quad \text{atau} \quad V_c^2 = g y_m$$

Energy spesifik minimum adalah :

$$E_{\min} = y_c + \frac{V_c^2}{2g} = y_c + \frac{g y_m}{2g} = y_c + \frac{1}{2} y_m$$

IV.2 Aliran Kritis

Kedalaman kritis untuk debit tertentu terjadi bila Energi minimum atau dengan kata lain keadaan kritis terjadi jika $y_1 = y_2 = y_c$

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dy} &= 0 \\ \frac{dE}{dy} &= \frac{d}{dy} \left[y + \frac{1}{2g} \left[\frac{q}{y} \right]^2 \right] = 1 - \frac{q^2}{gy^3} = 0 \\ q^2 &= g \cdot y^3 \longrightarrow y_c = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \frac{q^2}{g}} \dots\dots\dots (B)\end{aligned}$$

Tolok ukur Aliran Kritis

Keadaan kritis dari suatu aliran didefinisikan sebagai kondisi dimana Bilangan Froude = 1 atau definisi yang lebih umum bila energi spesifik untuk suatu debit tertentu adalah minimum.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} = 1$$

dengan menghilangkan q^2 dari persamaan (A)

$$E_c = y_c + \frac{g \cdot y_c^3}{2g \cdot y_c^2} = \frac{3}{2} y_c \quad \text{atau Energy Kritis adalah sebesar 1,5 kali kedalaman kritis.}$$

karena : $q = y \cdot V$

persamaan (B) akan memberikan :

$$\begin{aligned}y_c^3 &= \frac{q^2}{g} = \frac{y_c^2 \cdot V_c^2}{g} \\ V_c^2 &= y_c \cdot g \longrightarrow V = \sqrt{g \cdot y_c}\end{aligned}$$

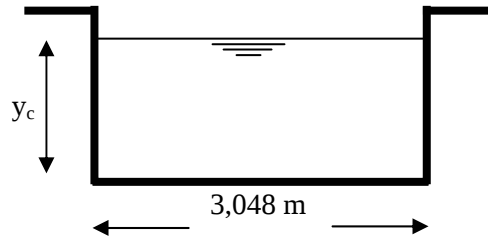
Kondisi kritis timbul jika :

$$F = \frac{V_c^2}{y_c \cdot g} \text{ atau } \frac{V_c}{\sqrt{y_c \cdot g}} = 1 \longrightarrow \text{dan ini hanya berlaku untuk kondisi kritis}$$

V_c = Kecepatan aliran kritis
 $C = \sqrt{y_c g}$ = Kecepatan rambat gelombang (celerity)

Untuk : $F > 1$ aliran disebut Aliran Super Kritis (aliran cepat).
 $F < 1$ aliran disebut Aliran Sub Kritis (aliran lambat).

Soal 81, halaman 200 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ranald V Giles



$$\begin{aligned}
 Q &= 6,23 \text{ m}^3/\text{det} \\
 E &= 1,524 \text{ m} \\
 A &= 3,048 y
 \end{aligned}$$

$$q = \frac{6,23}{3,048} = 2,098 \text{ m}^2/\text{det}$$

$$E = y + \frac{Q^2}{A^2 \cdot 2g}$$

$$1,524 = y + \frac{6,23^2}{(3,048 y)^2 \cdot 2 \cdot 9,81} = \frac{y + 0,213}{y^2}$$

$$1,524 y^2 = y^3 + 0,213 = y^3 - 1,524 y^3 + 0,213 = 0$$

dengan Trial & Error diperoleh :

$$y_1 = 1,471 \text{ m}$$

$$y_2 = 0,445 \text{ m}$$

$$y_c = 3 \frac{q^2}{\sqrt{g}} = 3 \frac{2,043^2}{\sqrt{9,81}} = 0,753 \text{ m}$$

Cara II :

Keadaan kritis diperoleh jika : $F = 1$

$$F_c = \frac{Q/A}{\sqrt{g \cdot y_c}}$$

$$1 = \frac{6,23 / 3,048 \text{ y}}{\sqrt{9,81 \cdot y}}$$

$$9,547 y^{3/2} = 6,23$$

$$y^{3/2} = 0,652 \longrightarrow y = 0,752 \text{ m}$$

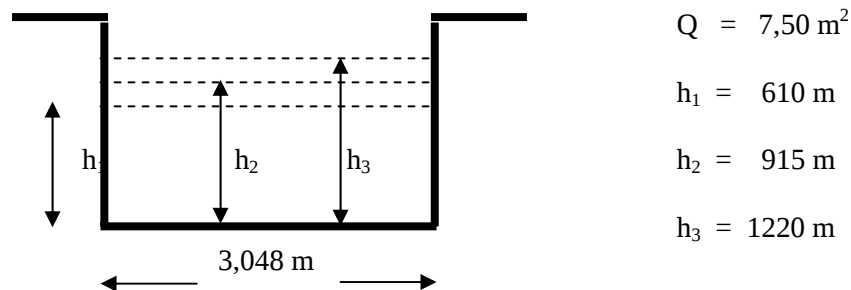
Cara III :

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{6,23}{3,048} = 2,044 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}$$

$$y_c = 3 \sqrt{q^2 / g}$$

$$= 3 \sqrt{2,044^2 / 9,81} = 0,752 \text{ m}$$

Soal 82, halaman 200 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ranald V Giles



Cek kondisi aliran :

$$A_1 = 0,610 \times 3,048 = 1,859 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,915 \times 3,048 = 2,789 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 1,220 \times 3,048 = 3,718 \text{ m}^2$$

$$F_1 = \frac{Q}{A \sqrt{g y}} = \frac{7,5}{1,859 \sqrt{9,81 \cdot 0,61}} = 1,65 > 1 \text{ Aliran super kritis}$$

$$F_2 = \frac{7,5}{2,789 \sqrt{9,81 \cdot 0,915}} = 0,897 < 1 \text{ Aliran sub kritis}$$

$$F_3 = \frac{7,5}{3,718 \sqrt{9,81 \cdot 1,220}} = 0,583 < 1 \text{ Aliran sub kritis}$$

IV.3 Kemiringan Kritis

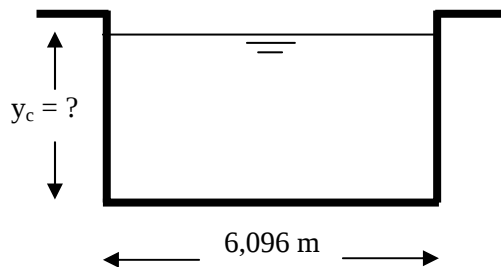
Dengan menggunakan subscript “c” untuk menandai parameter geometris di bawah keadaan aliran kritis, Persamaan Manning dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{n} (A_c R_c^{2/3}) S_c^{1/2}$$

$$Q^2 = \frac{1}{n^2} (A_c^2 R_c^{4/3}) S_c$$

$$S_c = \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_c^2 R_c^{4/3}}$$

Soal 85, halaman 200 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ralald V Giles



$$Q = 28 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$n = 0,012$$

Tentukan kemiringan kritis S_c :

$$V_c = \sqrt{gy_c}$$

$$A_c = \frac{Q}{V_c} \longrightarrow 6,096 \cdot y_c = \frac{28}{\sqrt{9,81 y_c}}$$

$$19,09 y_c^{3/2} = 28$$

$$y_c = \left[\frac{28}{19,09} \right]^{2/3} = 1,291 \text{ m}$$

$$y_c = \frac{q^2}{\sqrt{g}} \cdot 3 = 3 \left[\frac{28}{6,096} \right]^2 / 9,81 = 1,291$$

$$A_c = 6,096 \cdot 1,291 = 7,869 \text{ m}^2$$

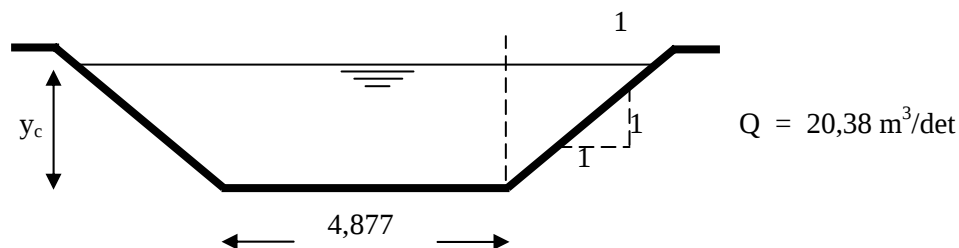
$$P_c = 6,096 + 2 \cdot 1,291 = 8,678 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{7,869}{8,678} = 0,907 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$$

$$= \frac{28^2 \cdot 0,012^2}{7,869^2 \cdot 0,907^{4/3}} = 2,07 \cdot 10^{-3}$$

Soal 86, halaman 201 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ralald V Giles



$$T = 4,877 + 2 y_c$$

$$A = 4,877^2 + y_c^2 = 23,785 + y_c^2$$

$$A = (b + y) y$$

$$y_m = \frac{Q}{T} = \frac{Q}{b + 2y}$$

$$V_c = \sqrt{g y_m} = \sqrt{9,81 \left[\frac{23,785 + y_c^2}{4,877 + 2y_c} \right]}$$

Kondisi aliran kritis jika bilangan Froude = 1

$$\frac{V_c}{\sqrt{g y_c}} = 1 \longrightarrow V_c = \sqrt{g y_c}$$

$$9,81 y_c = 9,81 \left[\frac{23,785 + y_c^2}{4,877 + 2 y_c} \right]$$

$$y_c = \frac{23,785 + y_c^2}{4,877 + 2 y_c} = 4,877 y_c + 2 y_c^2 = 23,785 + y_c^2 = y_c^2 + 4,877 y_c - 23,785$$

$$= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a_c}}{2a}$$

$$y_c = \frac{-4,877 \pm \sqrt{4,877^2 + 4 \cdot 23,785}}{2} = 3,014 \text{ m}$$

$$= \sqrt{g \cdot y_c} = \sqrt{9,81 \cdot 3,84} = 5,438 \text{ m/det}$$

Cara II :

Kedalaman kritis perkiraan :

$$y_c = 3 \frac{Q^2}{\sqrt{B^2 g}}$$

Jika saluran berbentuk segi empat :

$$3 \frac{20,38^2}{\sqrt{4,877^2 \cdot 9,81}} = 1,212$$

Jika saluran berbentuk trapesium, dengan coba-coba diperoleh nilai h :

h	A	T	Ym = A / T	V = Q / A	V / √ g ym
1,100	6,575	7,077	0,929	3,100	1,026
1,050	6,223	6,977	0,892	3,275	1,105
0,120	6,717	7,117	0,944	3,034	0,915
1,200	7,292	7,277	1,002	2,795	0,891
1,000	5,877	6,877	0,855	3,468	1,198
1,100	6,575	7,077	0,929	3,100	1,268
1,118	6,702	7,113	0,942	3,041	1,000

Untuk h = 1,118 → $V_c = \sqrt{g y_c} = \sqrt{9,81 \cdot 1,118} = 3,31 \text{ m}$

IV.4 Diagram Kedalaman vs Debit

Persamaan Energy dapat juga ditulis sebagai berikut :

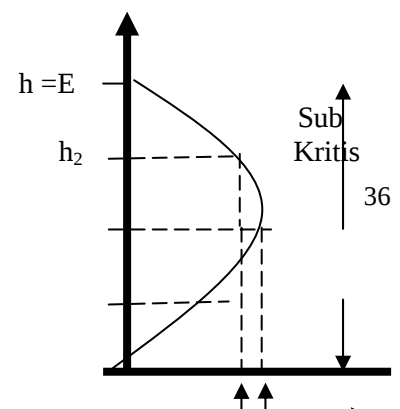
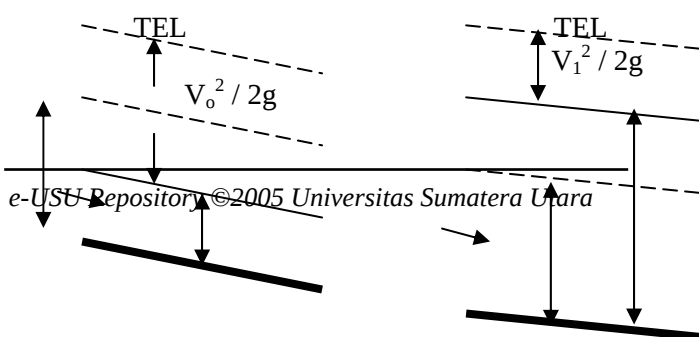
$$E = y + \frac{Q^2}{A^2 2g} \longrightarrow Q^2 = E - h (A^2 2g)$$

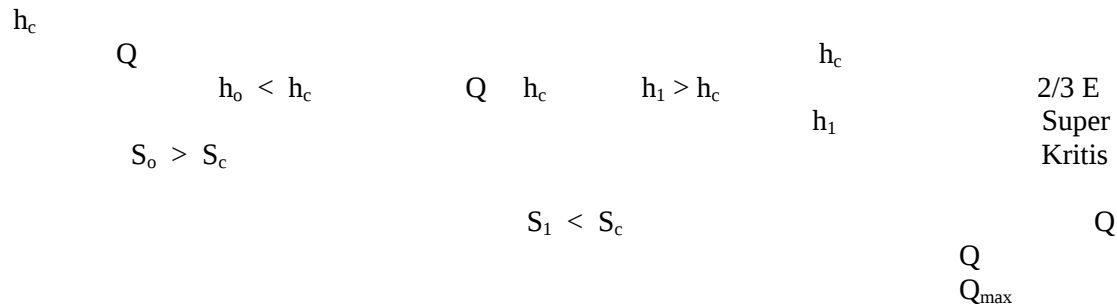
Dapat juga ditulis :

$$Q = A \sqrt{2g} \sqrt{E - h} \dots\dots\dots (1)$$

Karena : A adalah f (y) maka untuk saluran tertentu

Q = f (y) untuk Energy Specific yang tertentu.





Untuk $h = 0 \longrightarrow$ maka $A = 0 \longrightarrow Q = 0$
 $h = E \longrightarrow$ maka $E - h = 0$ dan $V = 0 \longrightarrow Q = 0$
 $Q_{\max}$ untuk $h = h_c$

Dengan mendifferensialkan Persamaan (1) dan $\frac{dQ}{dh} = 0$

$$0 = \sqrt{2g} \left[A \frac{1}{2\sqrt{E-h}} (-1) + \sqrt{E-h} \frac{dA}{dh} \right]$$

$$\sqrt{E-h} \cdot T = \frac{A}{2\sqrt{E-h}}$$

$$2(E-h) = \frac{A}{T}$$

Sedangkan :

$$E-h = \frac{Q^2}{2g A^2}$$

Sehingga :

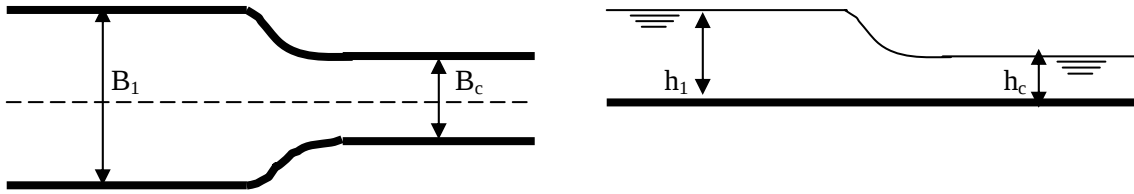
$$\frac{Q^2}{2g A^2} = \frac{A}{T}$$

$$\frac{Q^2}{g A^3} = 1$$

IV.5 Penggunaan Energy Spesifik dan Kedalaman Kritis

Konsep Energy Spesifik dan Kedalaman Kritis dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah praktek yang berkaitan dengan perubahan kecepatan aliran. Perubahan kecepatan dapat berubah disebabkan oleh berkurangnya lebar saluran atau naiknya dasar saluran.

IV.5.1 Pengurangan Lebar Saluran



Apabila lebar B berkurang q akan mendekati harga q_c atau akan menjadi kritis pada lebar sama dengan B_c . Lebar yang menyebabkan aliran kritis dalam kontraksi dapat diperoleh sebagai berikut:

$$E_1 = 3/2 h_c \quad \text{sedangkan} \quad h_c = 3 \sqrt{\frac{Q}{B_c}} \cdot \frac{1}{g}$$

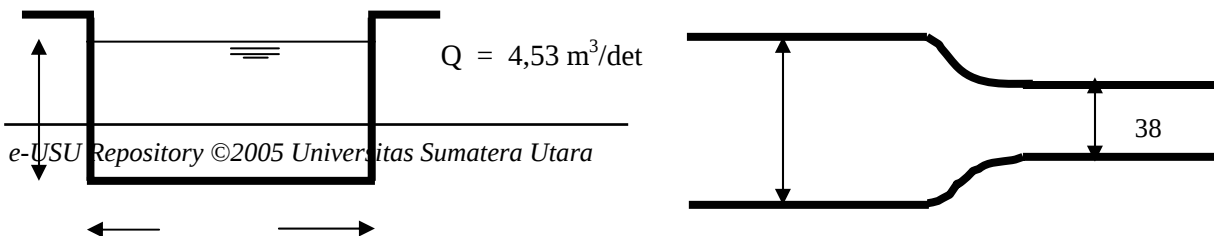
$$E_c = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{Q}{B_c}} \cdot \frac{1}{g}$$

$$E_c^3 = \left(\frac{3}{2} \right)^3 \left[\frac{Q^2}{B_c^2 \cdot g} \right]$$

$$B_c = \left(\frac{3}{2} \right)^{3/2} \frac{Q}{g^{1/2} E^{3/2}}$$

$$B_c = 1,84 \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot E^{3/2}}$$

Soal 89, halaman 201 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ralnd V Giles



y

$$S = 0,0049$$

B

B_c

$$n = 0,012$$

3,05

I

II

Tamp I :

$$A = 3,05 y$$

$$P = 3,05 + 2y$$

$$R = \frac{3,05 y}{3,05 + 2y}$$

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

$$4,53 = 3,05 y \cdot \frac{1}{0,012} \left[\frac{3,05 y}{3,05 + 2y} \right]^{2/3} (0,0049)^{1/2}$$

$$0,255 = y \left[\frac{3,05 y}{3,05 + 2y} \right]^{2/3}$$

$$0,129 = y^{3/2} \left[\frac{3,05 y}{3,05 + 2y} \right]$$

$$0,393 + 0,258 y = 3,05 y^{5/2}$$

$$y^{5/2} - 0,085 y - 0,129 = 0$$

$$\text{Dengan Trial \& Error} \longrightarrow y = 0,49 \text{ m}$$

$$A = 3,05 \cdot 0,49 = 1,4945 \text{ m}^2$$

$$P = 3,05 + 2 \cdot 0,49 = 4,03 \text{ m}$$

$$R = 0,371 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1,4945}{0,012} \cdot (0,371)^{2/3} \cdot (0,0049)^{1/2} = 4,50 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4,53}{1,4945} = 3,031 \text{ m}$$

Kondisi aliran :

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{3,031}{\sqrt{9,81 \cdot 0,49}} = 1,382 \text{ Aliran Super Kritis}$$

$$E = y + \frac{V_1^2}{2g} = 0,49 + \frac{3,031^2}{2 \cdot 9,81} = 0,96 \text{ m}$$

$$B_c = 1,84 \quad \frac{Q}{\sqrt{g E^{3/2}}} = 1,84 \quad \frac{4,53}{\sqrt{9,81 \cdot 0,96^{3/2}}} = 2,82 \text{ m}$$

Atau dengan cara lain :

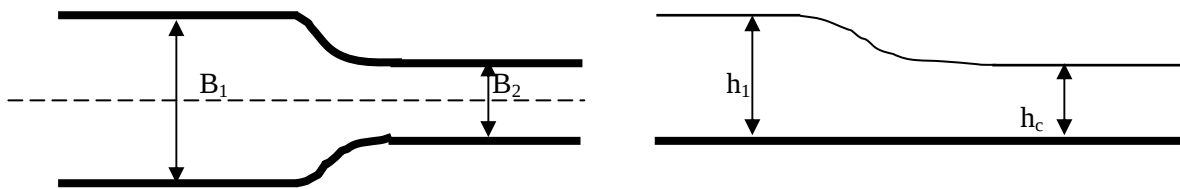
$$E = \frac{3}{2} h_c = 0,96 \longrightarrow h_c = \frac{2}{3} \cdot 0,96 = 0,64 \text{ m}$$

$$H_c = 3 \frac{Q^2}{\sqrt{B_c^3}} \cdot \frac{1}{g} \longrightarrow B_c = h_c^{3/2} \cdot \frac{Q}{\sqrt{g}}$$

$$h_c^3 = \frac{Q^2}{B_c^2 \cdot g} \longrightarrow B_c^2 = \frac{Q^2}{h_c^3} \longrightarrow B = \frac{Q}{\sqrt{h_c^{3/2}} \sqrt{g}} = \frac{4,53}{\sqrt{0,64^{3/2}} \cdot \sqrt{9,81}} = 2,82$$

IV.5.2 Saluran Venturi

Kedalam aliran dalam kontraksi saluran adalah kedalaman kritis apabila lebar pada konstruksi lebih kecil atau sama dengan lebar kritis (B_c). Hal ini mengembangkan alat ukur yang dikenal sebagai Saluran Venturi.



Pembahasan adalah dengan menggambarkan tidak ada energy yang hilang (kontraksi dimuat smooth) penyempitan secara perlahan-lahan. Dan penyempitan adalah cukup untuk menghasilkan aliran kritis.

$$h_c = 3 \sqrt{\frac{Q^2}{B_2^3}} \cdot \frac{1}{g}$$

$$E_1 = E_c = \frac{3}{2} h_c$$

dan

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q}{B_2}}^2 \frac{1}{g}$$

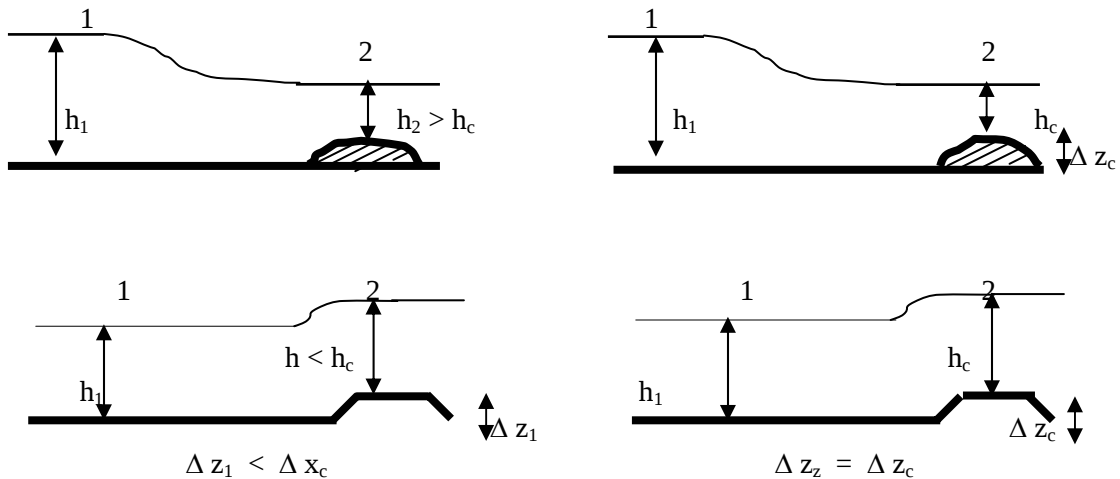
Dengan mengabaikan kwadrat kecepatan pendekatan (V_1)

$$Q = \left[\frac{2}{3} \right]^{3/2} B_2 \sqrt{g} h_1^{3/2} = 0,544 B_2 \sqrt{g} h_1^{3/2} = 1,7 B_2 \sqrt{g} h_1^{3/2}$$

Sehingga dengan hanya mengukur kedalaman di hulu tenggorok debit dapat dihitung.

IV.5.3 Naiknya Ketinggian Dasar Saluran

Pertimbangkan suatu saluran dengan lebar tetap sedangkan ketinggian dasar naik pada daerah tertentu.



Apabila naiknya ketinggian dasar kecil misal Δz_1 energy pada tampang (2) adalah :

$$E_2 = E_1 - \Delta z_1$$

Keadaan aliran kritis timbul jika :

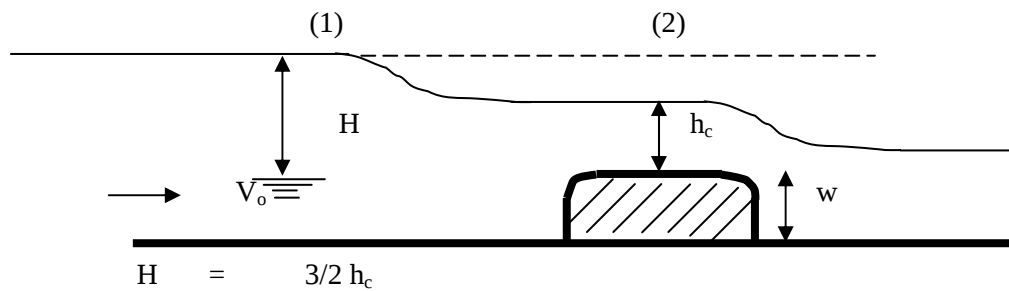
Δz lebih besar atau sama dengan Δz_c

IV.5.4 Bendung puncak lebar

Apabila lantai saluran dinaikkan sama atau lebih besar dari Δz_c pada sepanjang saluran yang cukup untuk terjadi aliran sejajar di atas penonjolan itu, aliran akan menjadi kritis.

Bangunan ini dinamakan bendung puncak lebar (broad crest weir) dan dapat digunakan untuk mengukur debit pada saluran terbuka.

Dengan mengabaikan kecepatan pendekatan, energy pada penampang (1) dan (2) menjadi sama.



Untuk saluran bentuk empat persegi :

$$h_c = \frac{q^2}{3\sqrt{g}} = 3\sqrt{\left[\frac{Q}{B}\right]^2 \frac{1}{g}}$$

Sehingga :

$$H = \frac{3}{2} \sqrt{3\left[\frac{Q}{B}\right]^2 \frac{1}{g}}$$

$$H^3 = \left[\frac{3}{2}\right]^3 \frac{Q^2}{B^2 g}$$

$$Q = \left[\frac{2}{3} \right]^{3/2} B \sqrt{g} H^{3/2} = 0,544 B \sqrt{g} H^{3/2}$$

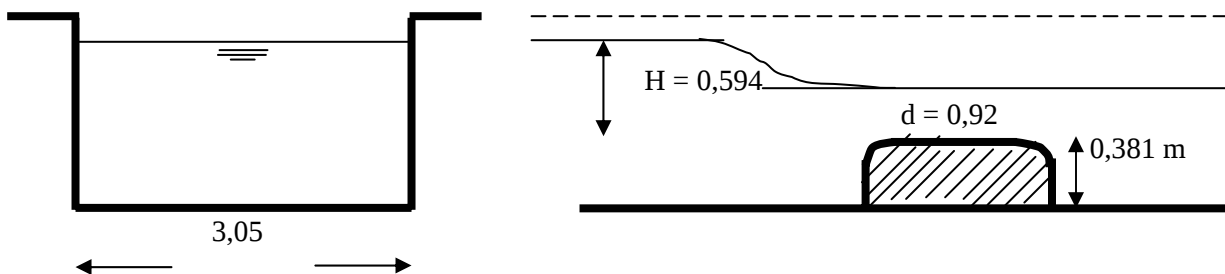
Atau : $Q = 1,7 B H^{3/2}$ Ini disebut Debit Ideal

Akibat pengaruh gesekan dan lengkung aliran, debit tadi diperbaiki dengan memberikan koefisien debit (cd) antara 0,90 - 0,92.

sehingga :

$$Q_{riel} = cd \cdot Q_{ideal}$$

Soal 92, halaman 201 “Mekanika Fluida & Hidrolika” Ranald V Giles



$$Q = cd \cdot 1,7 \cdot B \cdot H^{3/2}$$

$$Q = 0,92 \cdot 1,7 \cdot 3,05 \cdot 0,594^{3/2}$$

$$Q = 2,185 \text{ m}^3/\text{det}$$

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Chow Ven. Te, Hidrolika Saluran Terbuka, Erlangga.
2. Henderson, Open Channel Flow, Macmilan.
3. Giles V. Ranald, Mekanika Fluida dan Hidrolika, Erlangga.
4. Ranga Raju. K.G, Aliran Melalui Saluran Terbuka, Erlangga.