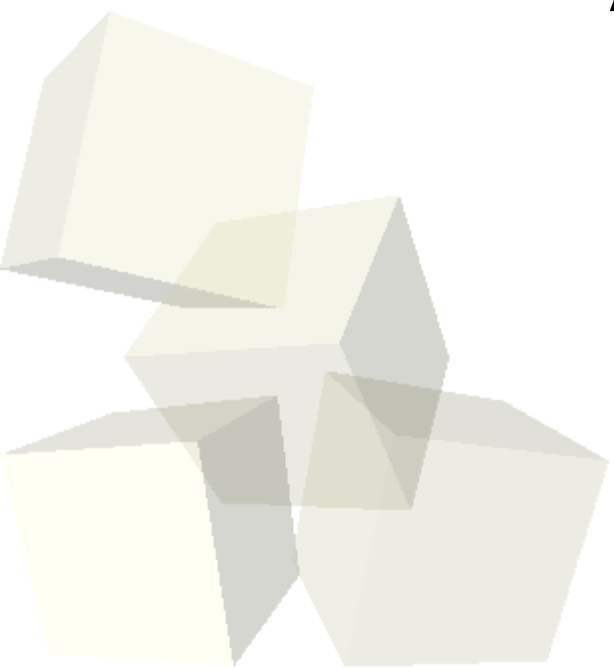




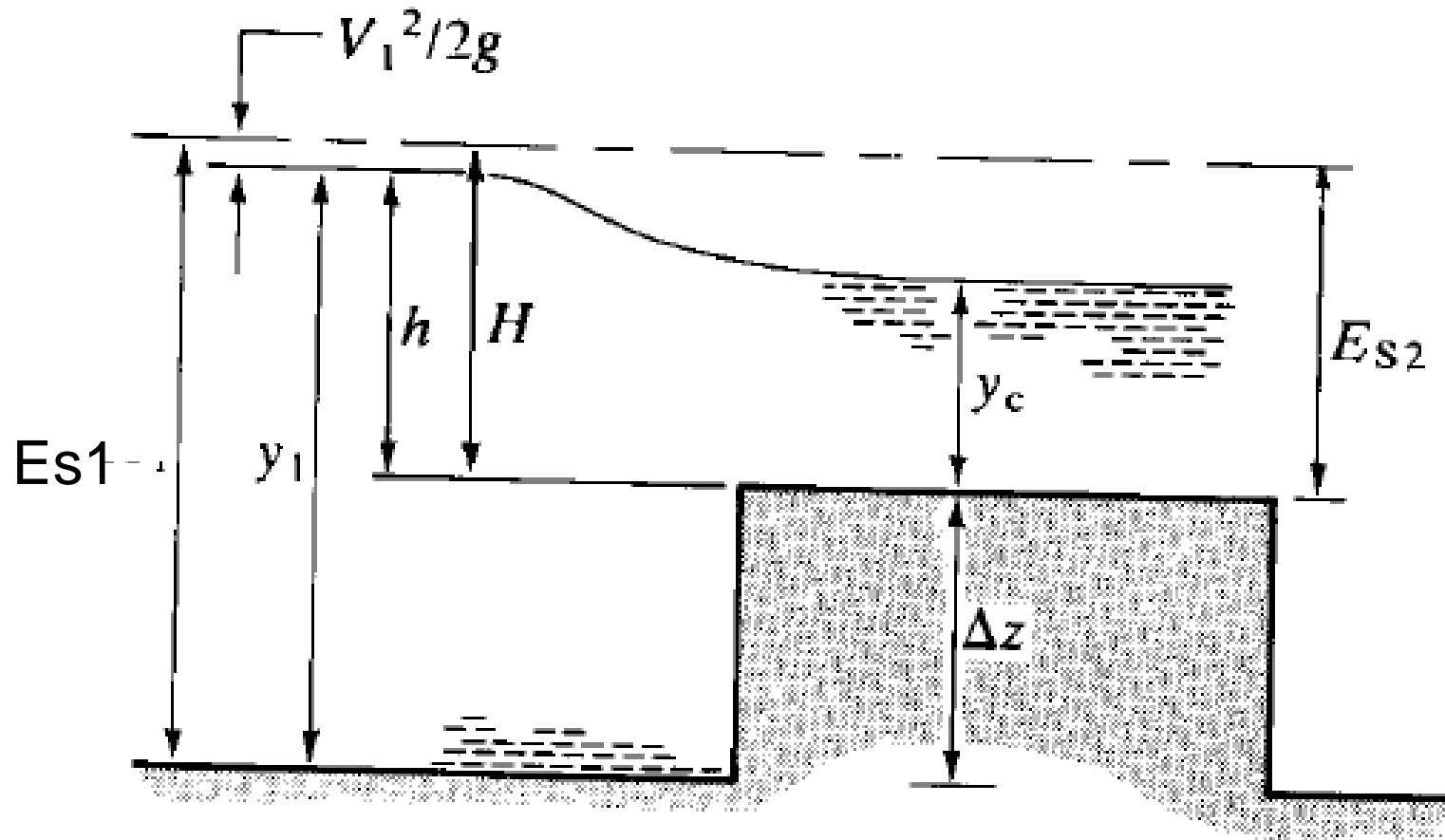
Mekanika Fluida II

Alat-alat ukur pada Saluran Terbuka



Pengukur kedalaman kritis

Broad-crested weir





Persamaan kedalaman kritis dapat diperoleh dengan mendiferensialkan E_s

$$E_s = y + \frac{\alpha(Q/A)^2}{2g}$$

$$\frac{dE_s}{dy} = 0 = 1 + \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{d}{dA} \left(\frac{1}{A^2} \right) \frac{dA}{dy}$$

Karena $\delta A = B \delta y$ dengan limit $dA/dy = B$

$$0 = 1 - \frac{\alpha Q^2}{2g} B_c 2A_c^{-3}$$

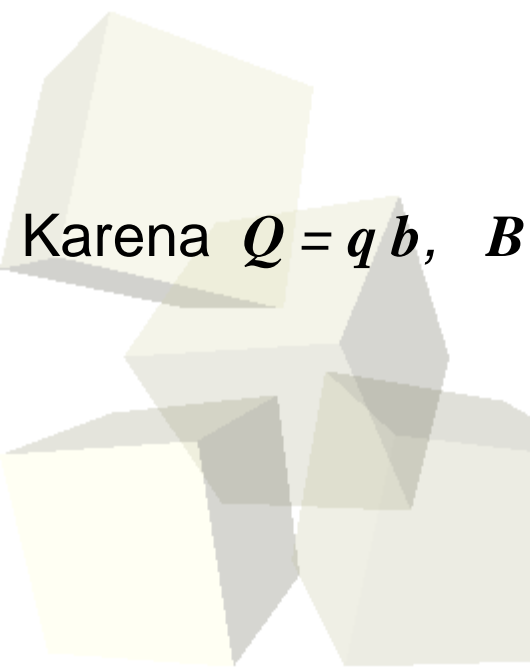
$$\frac{\alpha Q^2 B_c}{g A_c^3} = 1$$

Karena $Q = q b$, $B = b$ dan $A = by$ dan mengambil $\alpha = 1$

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

$$V_c y_c = q$$

$$V_c = \sqrt{g y_c}$$

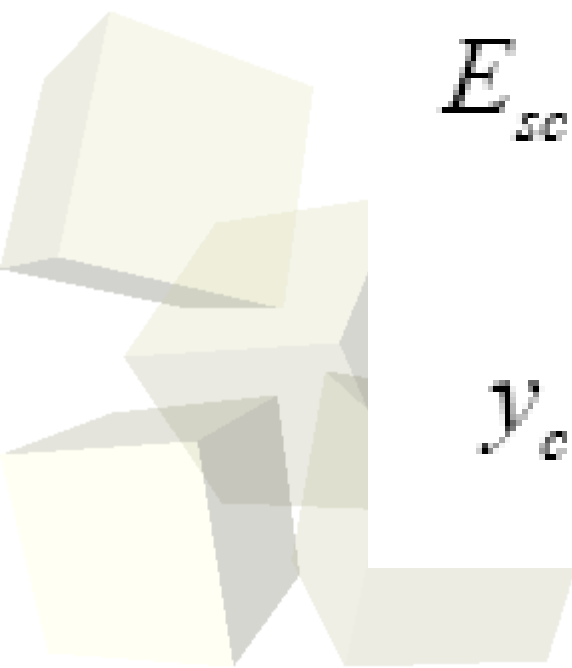



$$V_c y_c = q$$

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

$$V_c = \sqrt{g y_c}$$

Substitusi Y_c ke persamaan energi maka akan diperoleh

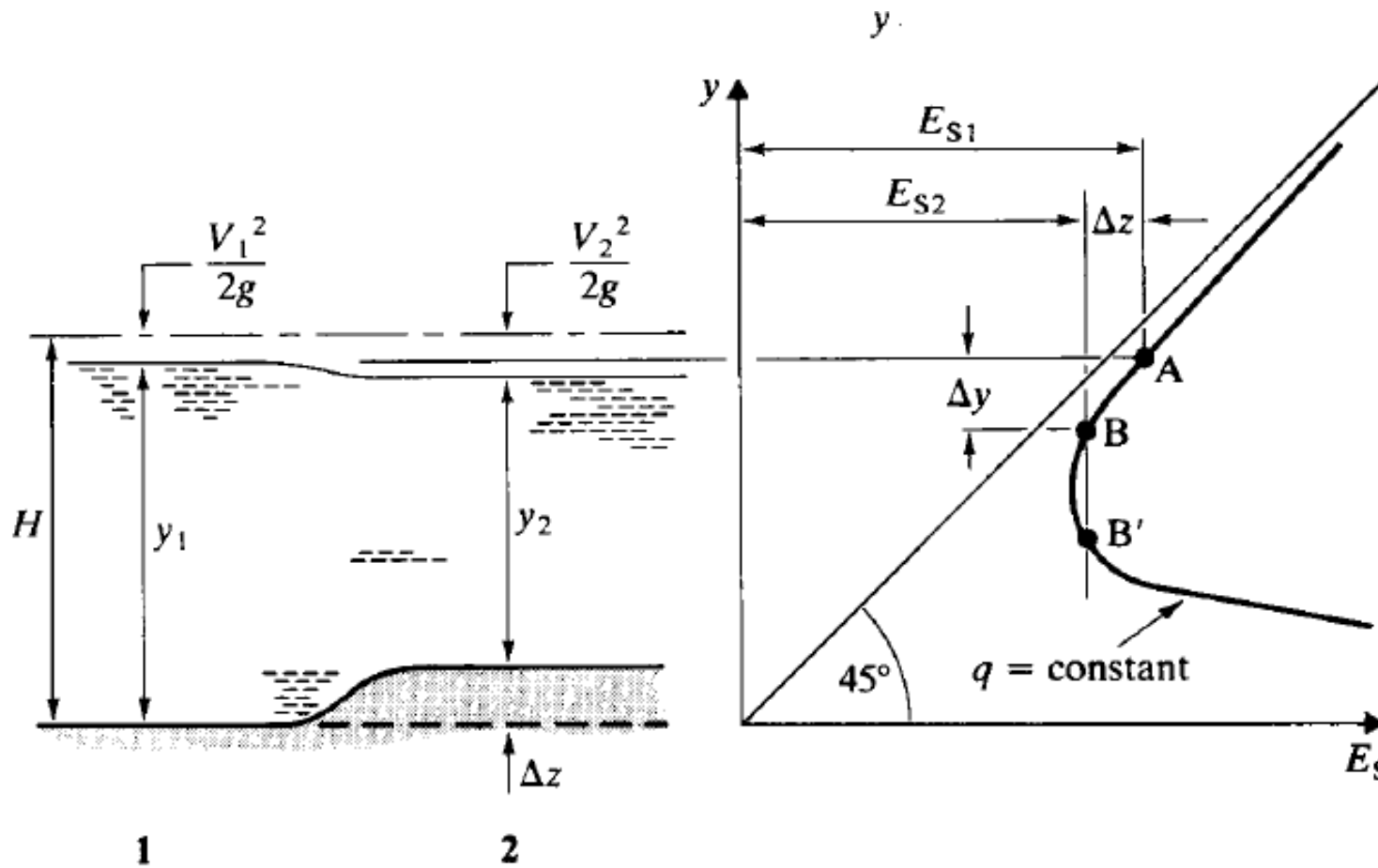

$$E_{sc} = y_c + \frac{V_c^2}{2g} = y_c + \frac{y_c}{2}$$

$$y_c = \frac{2}{3} E_{sc}$$



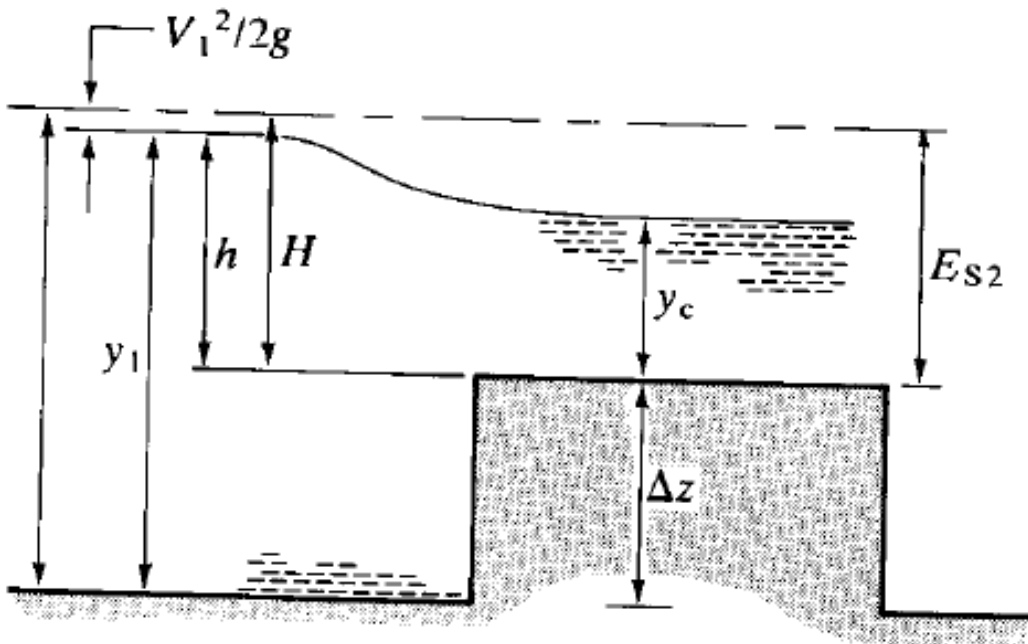
Aliran melalui ambang

Tinjauan memakai energi spesifik



Aliran di atas ambang dan grafik spesifik energi

$$E_{s1} = E_{s2} + \Delta z$$



$$y_c = \frac{2}{3} E_{s2}$$

$$E_{s2} = h + \frac{V_1^2}{2g} = H$$

$$y_c = \frac{2}{3} H$$

Nilai H didekati dengan h:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2g}{3}} bh^{3/2}$$

$$Q = 1.705bh^{3/2}$$

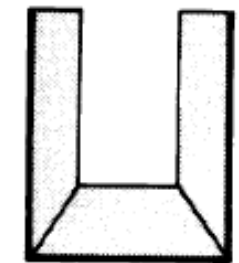
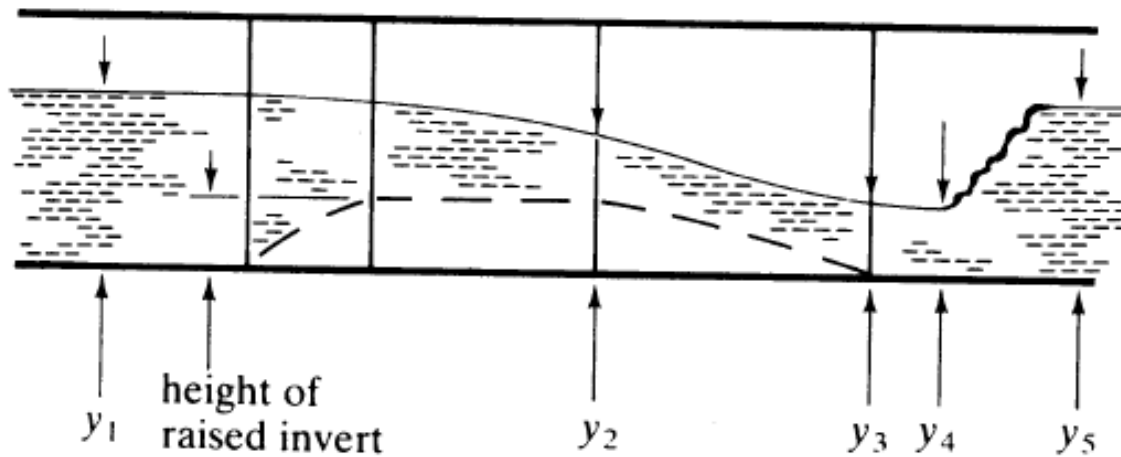
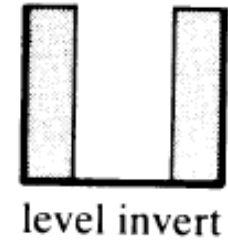
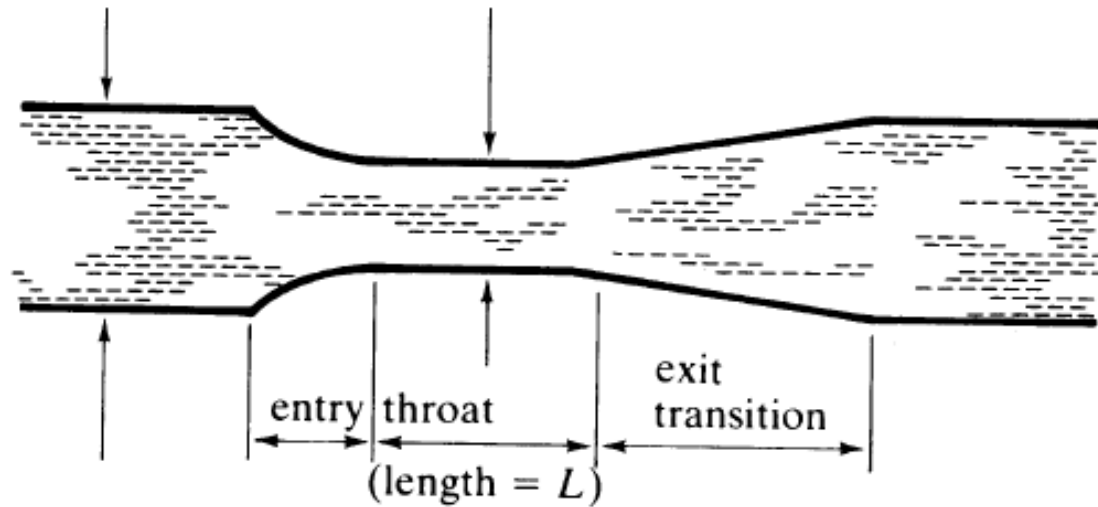
$$V_2 = V_c = \sqrt{gy_c}$$

$$Q = AV_c = by_c \sqrt{gy_c}$$

Dengan *velocity correction factor* dan *discharge coefficient* persamaan menjadi

$$Q = C_d C_v 1.705bh^{3/2}$$

h = tinggi muka air dari atas ambang, di hulu aliran
(H = E_s → H₁ = E_{s1}, H₂ = E_{s2})



Cross sections through throat

Aliran kritis diperoleh dengan menyempitkan saluran

Seringkali ditambah peninggian dasar saluran untuk memperoleh aliran kritis pada bagian sempitnya → venturi flue



Dari persamaan energi diperoleh :

$$E_s = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

continuity $V_1 = Q/by_1$ and $V_2 = Q/b_2y_2$

Substitusi ke persamaan energi maka diperoleh :

$$Q = by_1 \sqrt{\frac{2g(y_1 - y_2)}{(by_1/b_2y_2)^2 - 1}}$$

Aliran kritis diperoleh pada bagian leher

$$y_2 = 2/3 E_s,$$

apabila disubstitusikan maka akan diperoleh

$$Q = 1.705b_2E_s^{3/2}$$

Dengan *velocity correction factor* dan *discharge coefficient* persamaan menjadi :

$$Q = 1.705b_2C_vC_d y_1^{3/2}$$



Tipe Alat Ukur berdasar Metode

1. Contracted Water head Methods (Weir/Notch)

- Rectangular
- V-notch
- Cipoletti

2. End Depth Methods (Terjunan)

- Rectangular
- Triangular
- Circular

3. Gravity Chute – Flow Diversion Methods (Flumes)

- Parshall (upper atau submerge)
- Trapezoidal
- U-shape



Prinsip Dasar Pengukuran:

Notch akan memberikan efek kontraksi pada aliran fluida sehingga kecepatan fluida akan terkonsentrasi pada titik tertentu dan dapat diukur untuk mewakili besaran debit yang melaluinya.

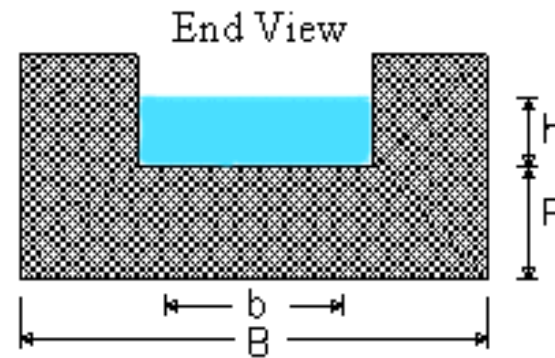
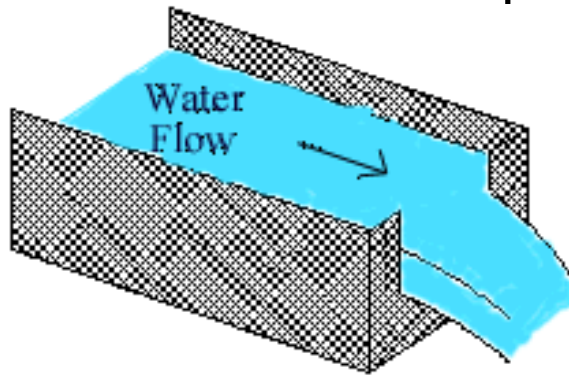




Rectangular (Tipe Weir)

- Bentuknya terjunan dengan plat yang tipis.
- Dapat dibagi lagi menjadi 3 kategori aliran:
 - Suppressed → Tidak terjadi kontraksi ($b=B$)
 - Partially Suppressed
 - Fully Suppressed → Terjadi kontraksi ($B-b=4h_{\max}$)

Besarnya kontraksi akan mempengaruhi coefficient of discharge.



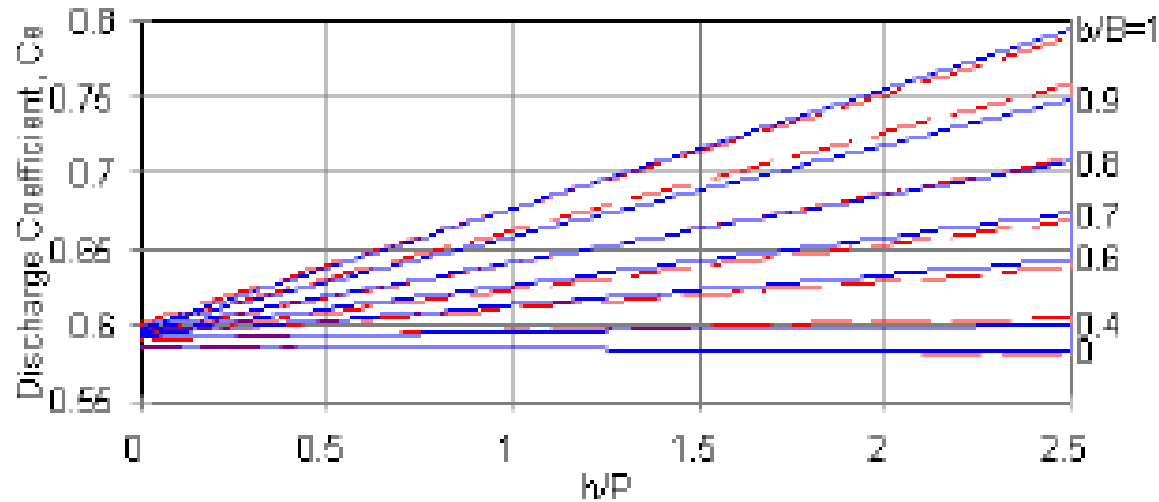
$$Q = Cd \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b + Kb) (h + Kh)^{\frac{3}{2}}$$

Kb : koef. efek viskositas (ditentukan berdasarkan grafik terkait fungsi Koefisien Discharge (Cd)).

Kh : koef. efek tegangan permukaan, untuk air
 $Kh = 0.001 \text{ m}$.

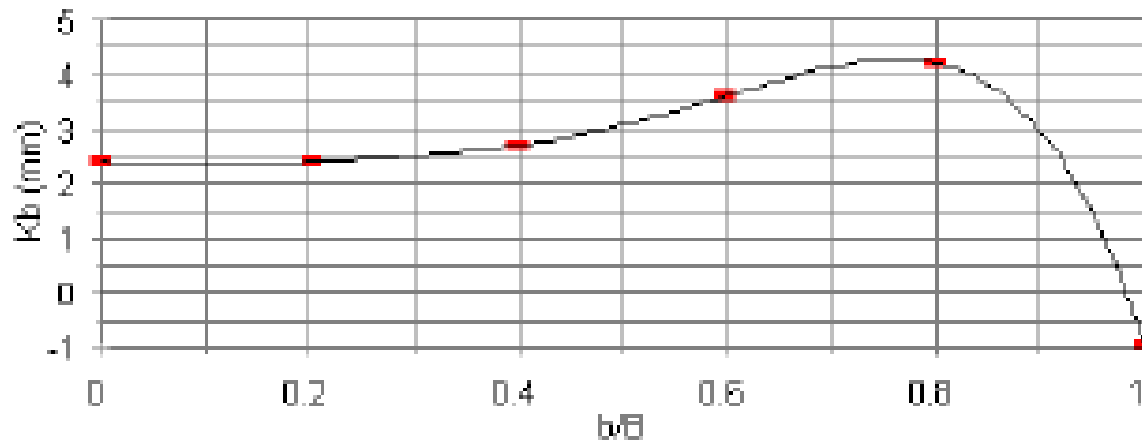
Penentuan koefisien Cd dan Kb

Rectangular Weir Discharge Coefficient



Kb for Rectangular Weir

ISO Data and LMNO curve fit



$$Q = Cd \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b + Kb) (h + Kh)^{\frac{3}{2}}$$

- h diukur di awal saluran pada jarak $> 4-5 h_{\max}$ sebelum weir
- weir sangat tipis sehingga tidak mempengaruhi pola aliran entrance.
- Muka air setelah weir $<$ tinggi P.
- $h > 0.03$ m
- b dan B masing2 lebih dari 15 cm
- $0 < b/B \leq 1$ and $0 < h/P \leq 2.5$
- Jika $b < B$, maka $B - b \geq 20$ cm



Solusi Analitik Lain (Weir)

Persamaan Francis

$$Q = 1.84 (b - 0.1n.h) h^{\frac{3}{2}}$$

n : jumlah kontraksi
h : head di atas weir

Persamaan Bazin

$$Q = m.b.h^{\frac{3}{2}}\sqrt{2g}$$

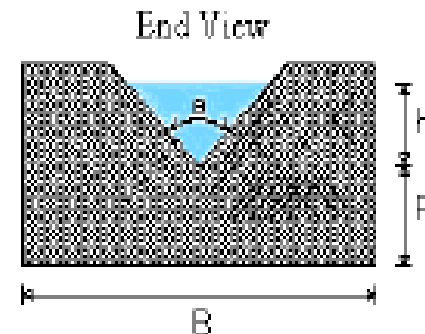
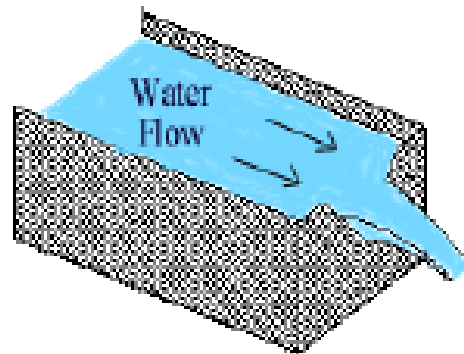
Cd : koef. discharge
h : head di atas weir
b : lebar dasar weir

$$m = \frac{2}{3} C_d \quad m = 0.405 + \frac{0.003}{h}$$



Triangular (V-notch weir)

- Bentuknya terjunan dengan plat yang tipis.
- Prinsip dasarnya sama dengan rectangular hanya perubahan bentuk opening ditujukan agar pengukuran dapat lebih teliti dibandingkan dengan rectangular.
- Besarnya kontraksi akan mempengaruhi coefficient of discharge yg besar.

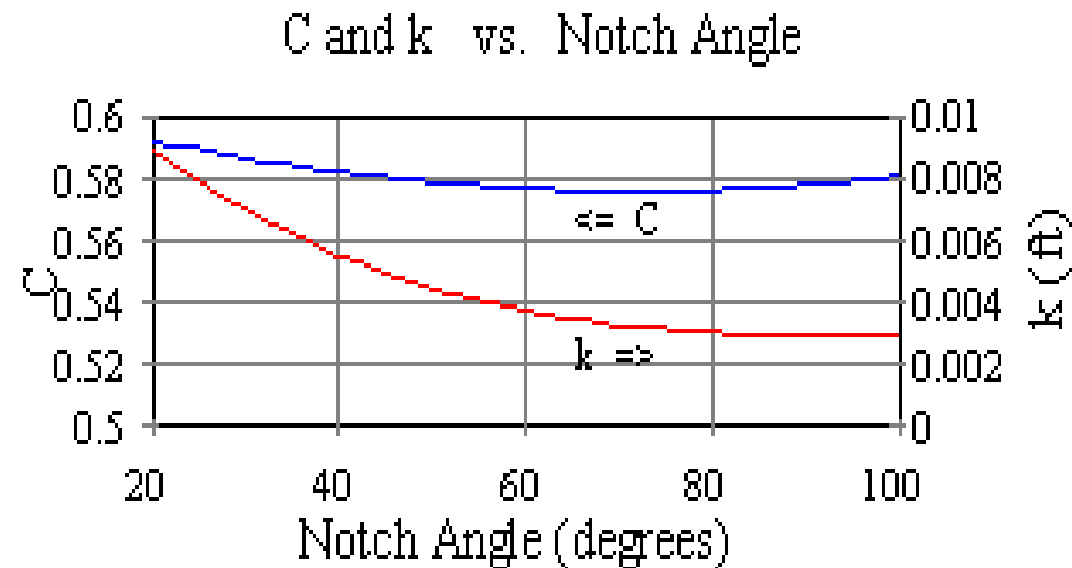


$$Q = 4.28 \cdot C_d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h+k)^{\frac{5}{2}}$$

C_d : Koefisien Discharge
 k : Koefisien koreksi head
 θ : Sudut dalam v-notch



Penentuan nilai k dan Cd



$$k = 0.0144902648 - 0.00033955535 \theta + 3.29819003 \times 10^{-6} \theta^2 - 1.06215442 \times 10^{-8} \theta^3$$

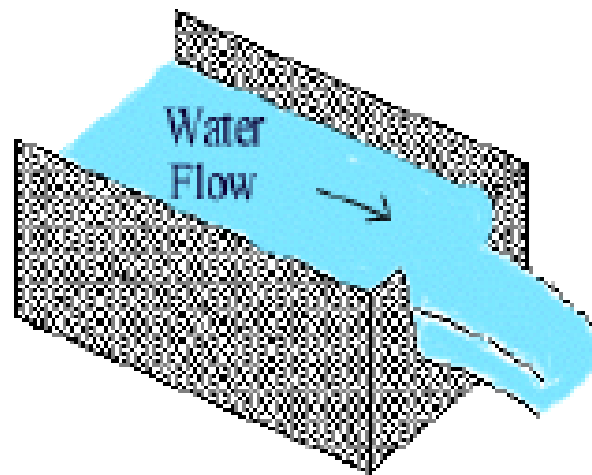
$$Cd = 0.607165052 - 0.000874466963 \theta + 6.10393334 \cdot 10^{-6} \theta^2$$

$$Q = 4.28.Cd.tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(h+k)^{\frac{5}{2}}$$

- h diukur di awal saluran pada jarak $> 4-5 h_{\max}$ sebelum weir
- weir sangat tipis sehingga tidak mempengaruhi pola aliran entrance.
- Sudut notch (θ) direkomendasikan 60° .
- Muka air setelah weir $<$ tinggi P.
- $h > 0.03$ m

Cipoletti (Tipe Weir)

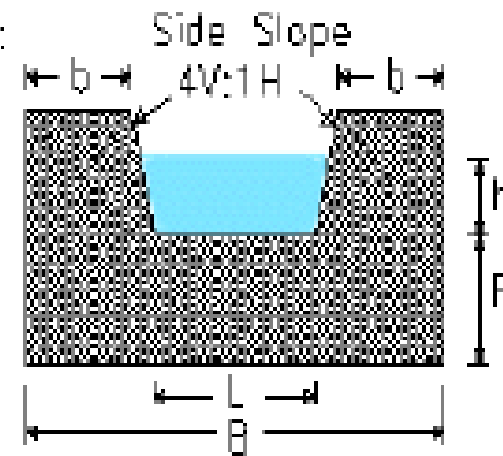
- Bentuknya terjunan dengan plat yang tipis.
- Didesain untuk mendapatkan kondisi kontraksi penuh, yang menyebabkan koefisien discharge tidak lagi sebagai fungsi b dan P (seperti rectangular).
- Bentuk slope yang tajam (4:1) akan mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat dibandingkan rectangular.



Satuan British

$$Q = 3.367.L.h^{\frac{3}{2}}$$

End View:



Satuan SI

$$Q = 1.85.L.h^{\frac{3}{2}}$$



Batasan aplikasi (3)

- h diukur di awal saluran pada jarak $> 4-5 h_{\max}$ sebelum weir
- weir sangat tipis sehingga tidak mempengaruhi pola aliran entrance.
- Muka air setelah weir $<$ tinggi P .
- $h > 0.03 \text{ m}$
- $P > 2 h_{\max}$



Prinsip Dasar Pengukuran:

Terjunan akan memberikan efek kecepatan terminal yang dapat diukur untuk mewakili besaran debit yang melaluinya.

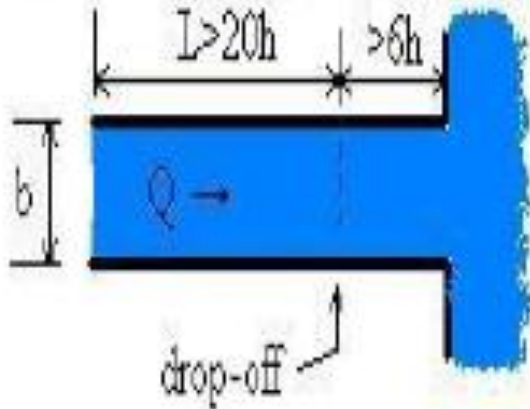




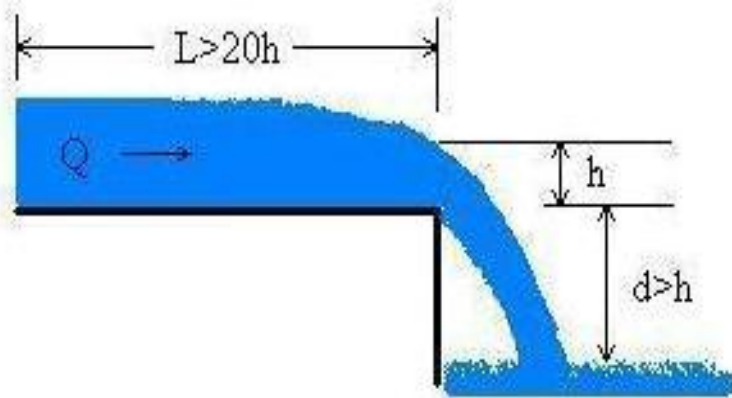
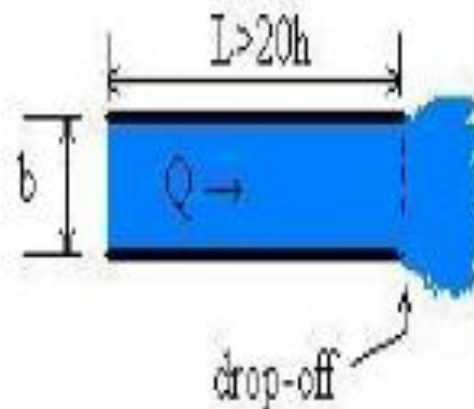
Rectangular (End-depth)

- Didesain untuk mendapatkan aliran freefall
- Aliran tidak mengalami kontraksi
- Mudah dalam konstruksi

Plan View - Confined nappe (C=1.66)



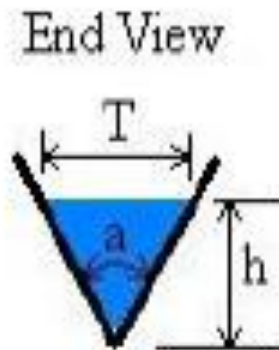
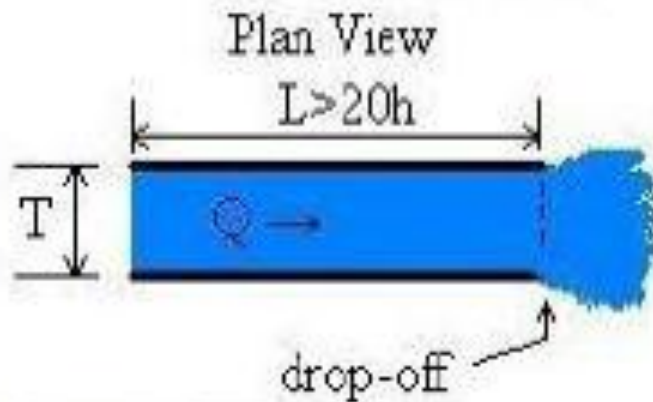
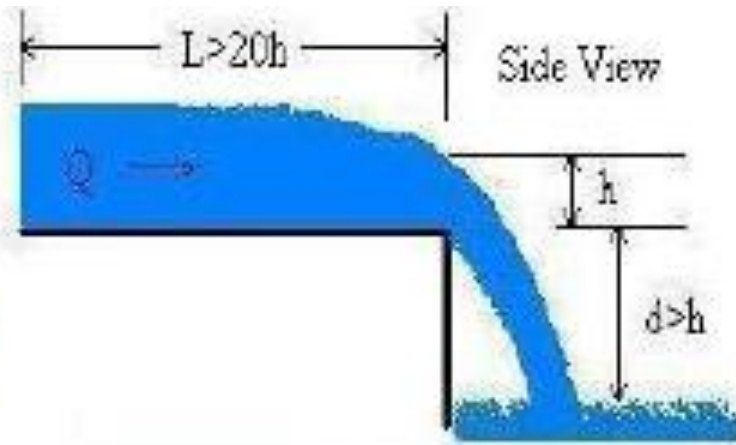
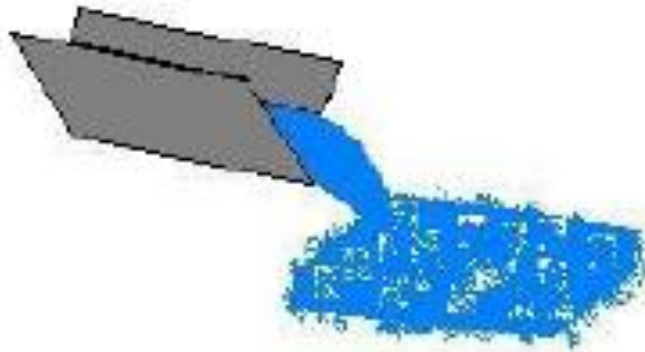
Plan View - Unconfined nappe (C=1.69)



$$Q = C_d \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Triangular (End-depth)

- Didesain untuk mendapatkan aliran freefall
- Aliran tidak mengalami kontraksi
- Mudah dalam konstruksi
- Dibandingkan rectangular, bentuk ini tidak terbentuk drop-off zone.

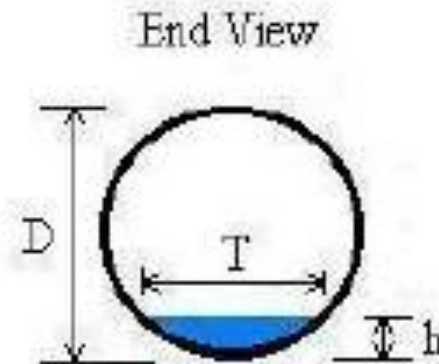
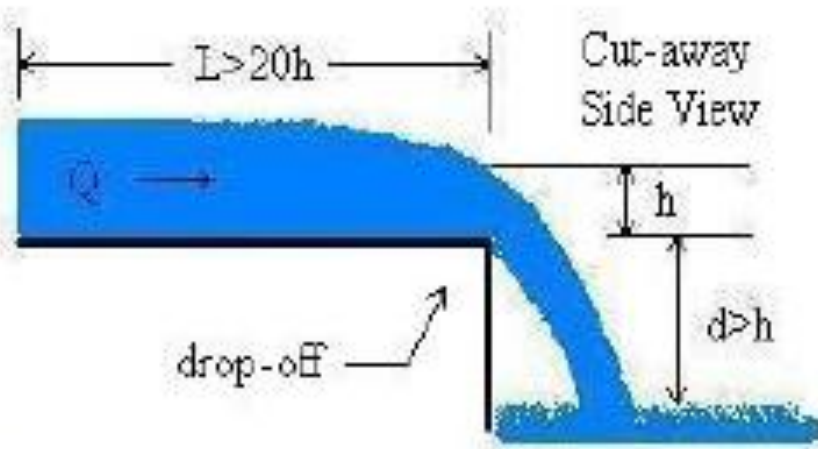


$$Q = \sqrt{\frac{g}{2}} \left(\frac{h}{0.795} \right)^{\frac{5}{2}} \tan\left(\frac{a}{2}\right)$$

$$T = 2h \tan\left(\frac{a}{2}\right)$$

Circular (End-depth)

- Didesain untuk mendapatkan aliran freefall
- Aliran tidak mengalami kontraksi
- Mudah dalam konstruksi
- Dibandingkan rectangular, bentuk ini tidak terbentuk drop-off zone.



$$Q = \frac{\sqrt{g}(0.5D)^{5/2}}{4(2\alpha - \alpha^2)^{1/4}} [2\arccos(1 - \alpha) - 2(1 - \alpha)\sqrt{2\alpha - \alpha^2}]^{3/2}$$

$$T = 2(\sqrt{h(D - h)}) \quad \alpha = \frac{h}{0.378D}$$

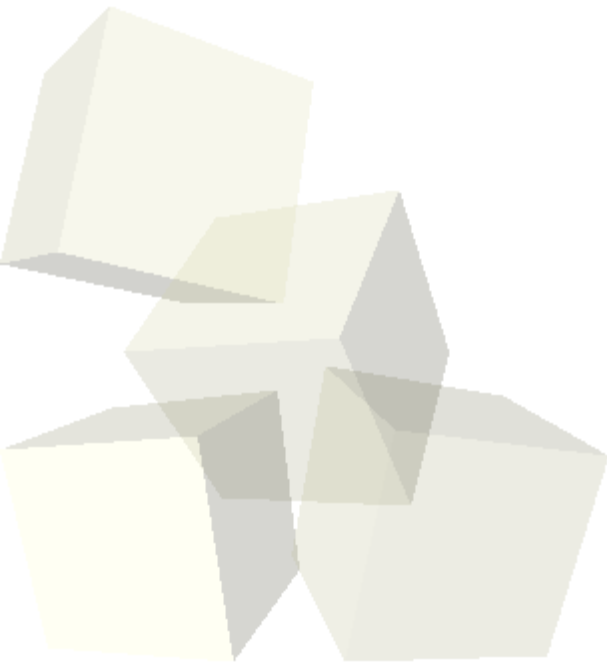


Prinsip Dasar Pengukuran:

Flume memberikan efek gabungan kontraksi dan kecepatan terminal secara sekaligus namun dengan kehilangan tekanan yang lebih kecil yang dapat diukur untuk mewakili debit yang melaluinya.

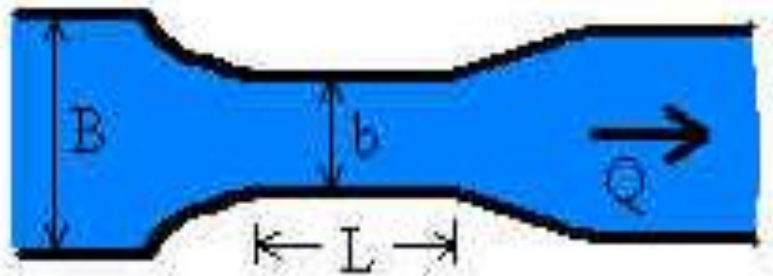


TB

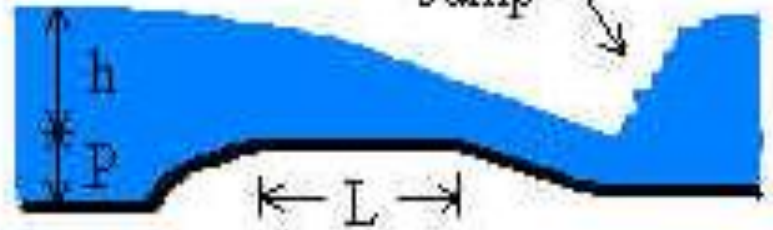


Rectangular Flumes (1)

Rectangular Flume



Hydraulic Jump



Syarat umum keberlakuan:

- $0 < h \leq 3 \text{ m}$
- $0.01 < h \leq 16 \text{ m}$
- $b < B < 10^4 \text{ m}$
- $0 \leq P < 3 \text{ m}$
- $0 < L < 10^4 \text{ m}$
- $F < 1$
- Jika $P=0$, $B > b$
- Jika $B=b$, $P > 0$

Hasil akurat (ISO 4359)

- $h \leq 2 \text{ m}$
- $0.1 \text{ m} \leq b \leq B$
- $F \leq 0.5$
- $h/b \leq 3$
- $(bh)/[B(P+h)] \leq 0.7$
- $h/L \leq 0.5$
- $h \geq 0.05$ atau $h \geq 0.05 L$



Rectangular Flumes (2)

Prosedur Analisis Rectangular Flumes (ISO 4359):

1. Hitung C_d
2. Hitung A
3. Hitung C_v (Numerik)
4. Hitung Q
5. Hitung v
6. Hitung F

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad A = B(P + h)$$

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhC_vC_d}{A} \quad Q = bC_vC_d \sqrt{g} \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2}$$

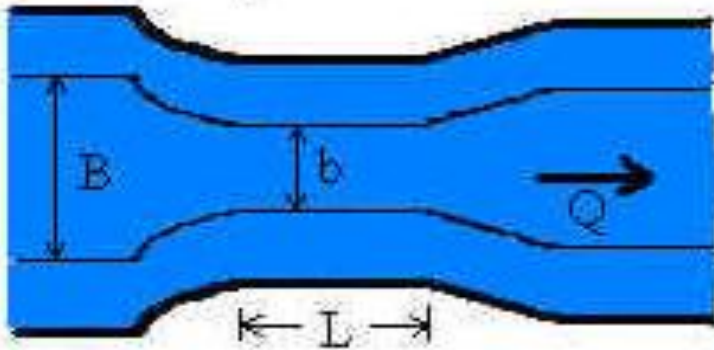
$$v = \frac{Q}{A}$$

$$F = \frac{v}{\sqrt{gy}}$$

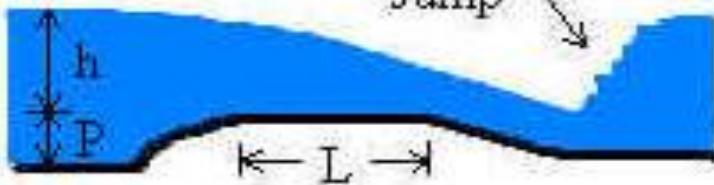
$$\text{syarat: } \frac{hbC_d}{A} < 0.93$$

Trapezoidal Flumes (1)

Trapezoidal Flume



Hydraulic Jump



Syarat umum keberlakuan:

- $0 < h \leq 3$ m
- $0.01 < h \leq 16$ m
- $b < B < 10^4$ m
- $0 \leq P < 3$ m
- $0 < L < 10^4$ m
- $F < 1$
- $0 < m < 100$ m
- $0 < M < 100$ m

Hasil akurat (ISO 4359)

- $h \leq 2$ m
- $0.1 \text{ m} \leq b \leq B$
- $F \leq 0.5$
- $h/L \leq 0.5$
- $h \geq 0.05$ atau $h \geq 0.05 L$

Trapezoidal Flumes (2)

Prosedur Analisis (ISO 4359):

1. Hitung k
2. Hitung Cd
3. Hitung A dan T
4. Hitung Cs (asumsi H=h)
5. Hitung Cv
6. Hitung Q
7. Hitung v
8. Hitung F
9. Ulangi dengan $H = hCv^{2/3}$

$$k = \sqrt{1 + m^2} - m$$

$$Cd = \left(1 - \frac{0.006kL}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2}$$

$$A = (P + h)[B + M(P + h)]$$

$$T = B + 2M(P + h)$$

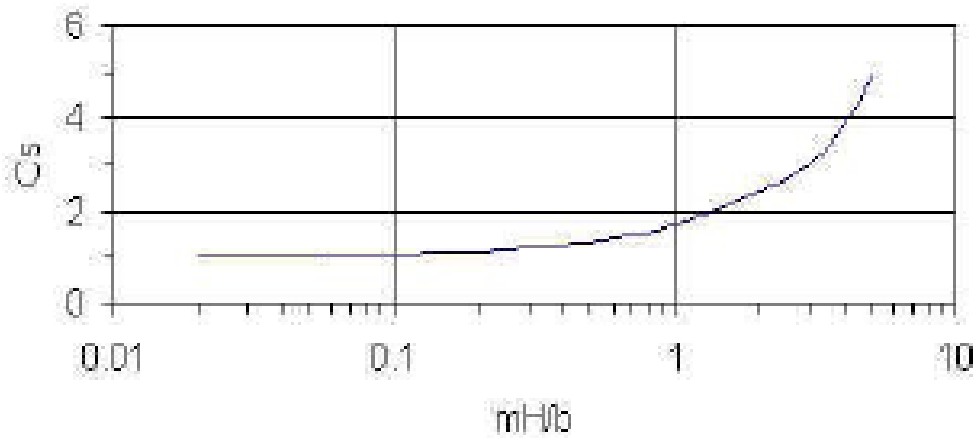
$$\sqrt{Cv^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhCvCs}{A}$$

$$Q = bCvCsCd \sqrt{g} \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$F = v \sqrt{\frac{T}{gA}}$$

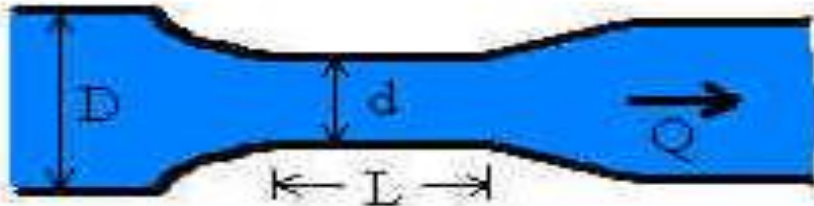
Trapezoidal Flume



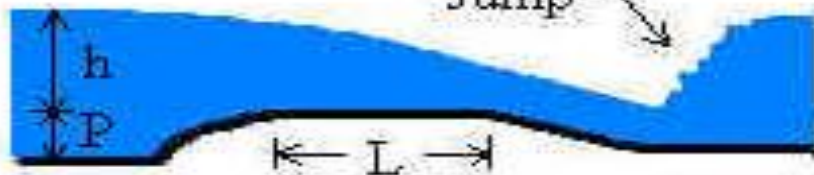
syarat: $\frac{hbCs}{A} < 0.93$

U-shape Flumes (1)

U Flume



Hydraulic Jump



Syarat umum keberlakuan:

- $0 < h \leq 3 \text{ m}$
- $0.01 < h \leq 16 \text{ m}$
- $d < D < 10^4 \text{ m}$
- $0 \leq P < 3 \text{ m}$
- $0 < L < 10^4 \text{ m}$
- $F < 1$

Hasil akurat (ISO 4359)

- $h \leq 2 \text{ m}$
- $0.1 \text{ m} \leq d \leq D$
- $F \leq 0.5$
- $h/L \leq 0.5$
- $h \geq 0.05$ atau $h \geq 0.05 L$

U-shape Flumes (2)

Prosedur Analisis (ISO 4359):

1. Hitung C_d
2. Hitung A dan T
3. Hitung C_u (asumsi $H=h$)
4. Hitung C_v
5. Hitung Q
6. Hitung v
7. Hitung F
8. Ulangi dengan $H = hC_v^{2/3}$

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2}$$

$$\text{jika } (P+h) < \frac{D}{2} \quad \theta = \arccos\left(\frac{D - 2(P+h)}{D}\right)$$

$$A = \frac{D^2}{4} (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$T = B + 2M(P+h)$$

$$\text{jika } (P+h) \geq \frac{D}{2}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{8} + D(P+h - \frac{D}{2})$$

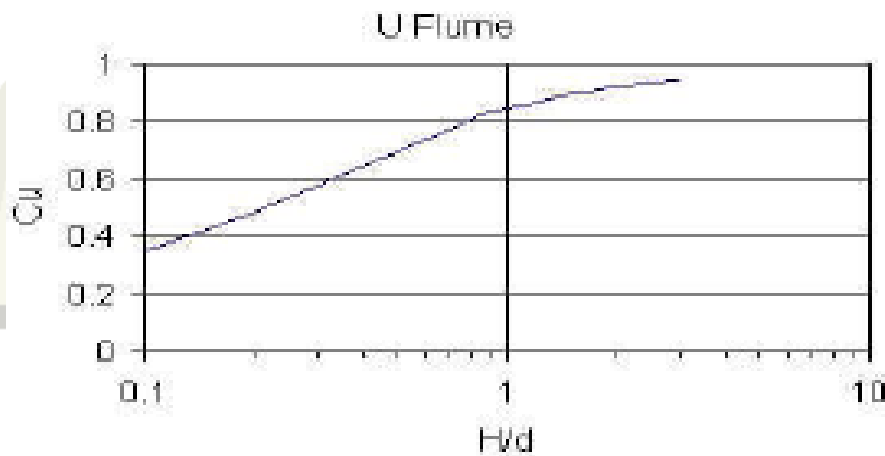
$$T = D$$

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhC_vC_u}{A}$$

$$Q = bC_vC_uC_d \sqrt{g} \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$F = v \sqrt{\frac{T}{gA}}$$

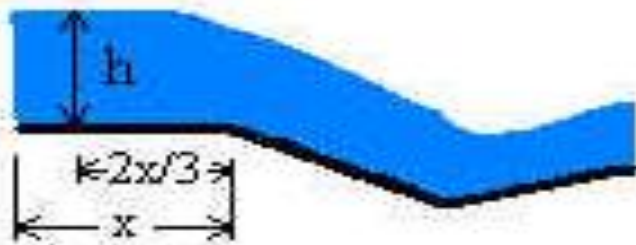


$$\text{syarat: } \frac{hdC_u}{A} < 0.93$$



Parshall Flumes (1)

Parshall Flume



Syarat umum keberlakuan:

- $0 < h \leq 3$ m
- $0.01 < h \leq 16$ m

Hasil akurat (ISO 9826)

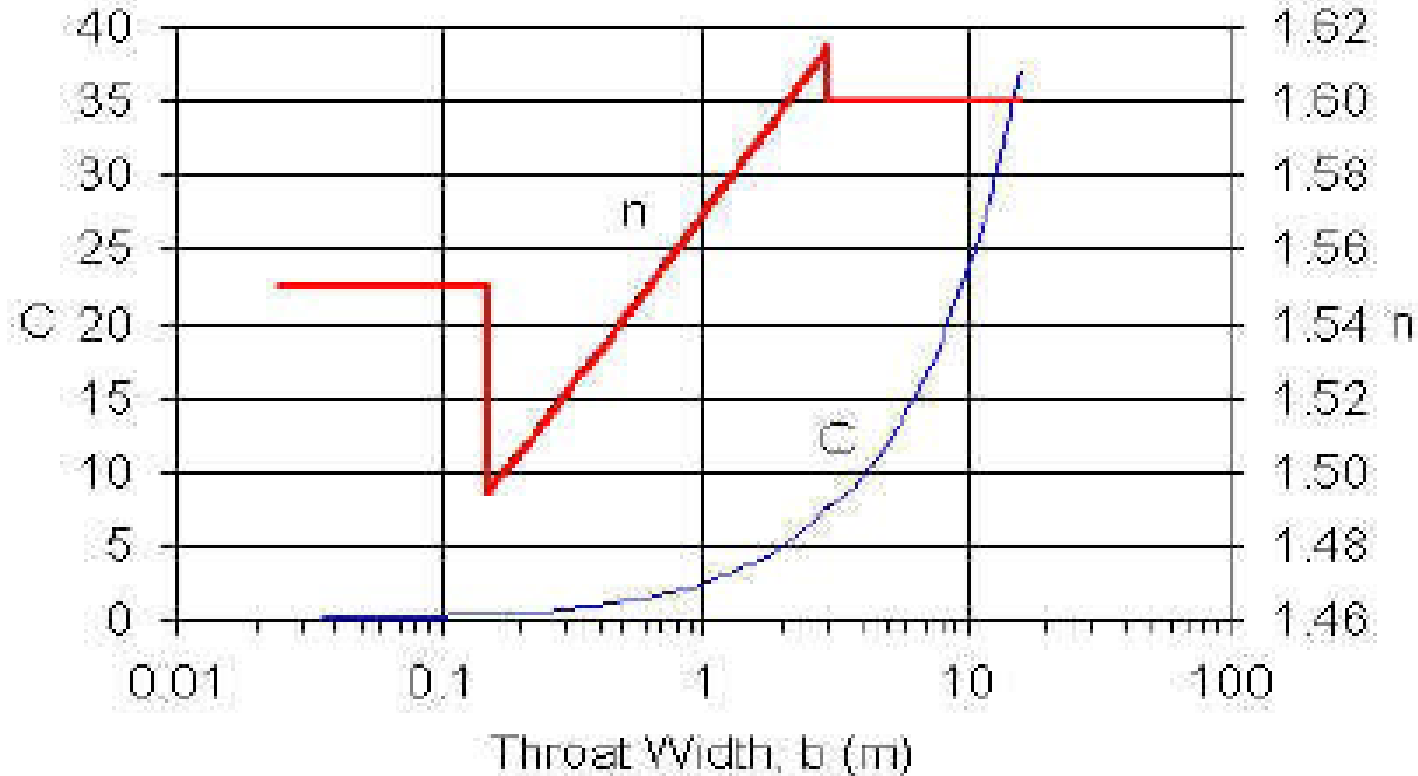
- $h \leq 2$ m
- $0.152 \leq b \leq 15.24$ m

Parshall Flumes (2)

Analisis Parshall Flume:

- Baca grafik
- Hitung debit: $Q = Ch^n$

Parshall Flume Coefficients





Submerge Parshall Flumes (1)

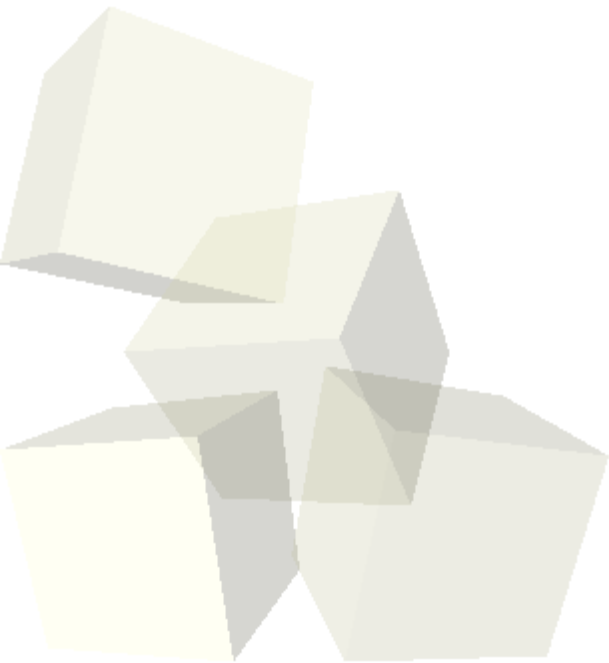
Terjadi karena:

Level muka air di hilir terlalu tinggi sehingga lompatan hidrolis tidak terlihat atau sangat kecil.

Solusinya:

Dilakukan koreksi terhadap perhitungan debit pada kondisi ideal.

$$Q = Ch^n - Q_e$$





Submerge Parshall Flumes (2)

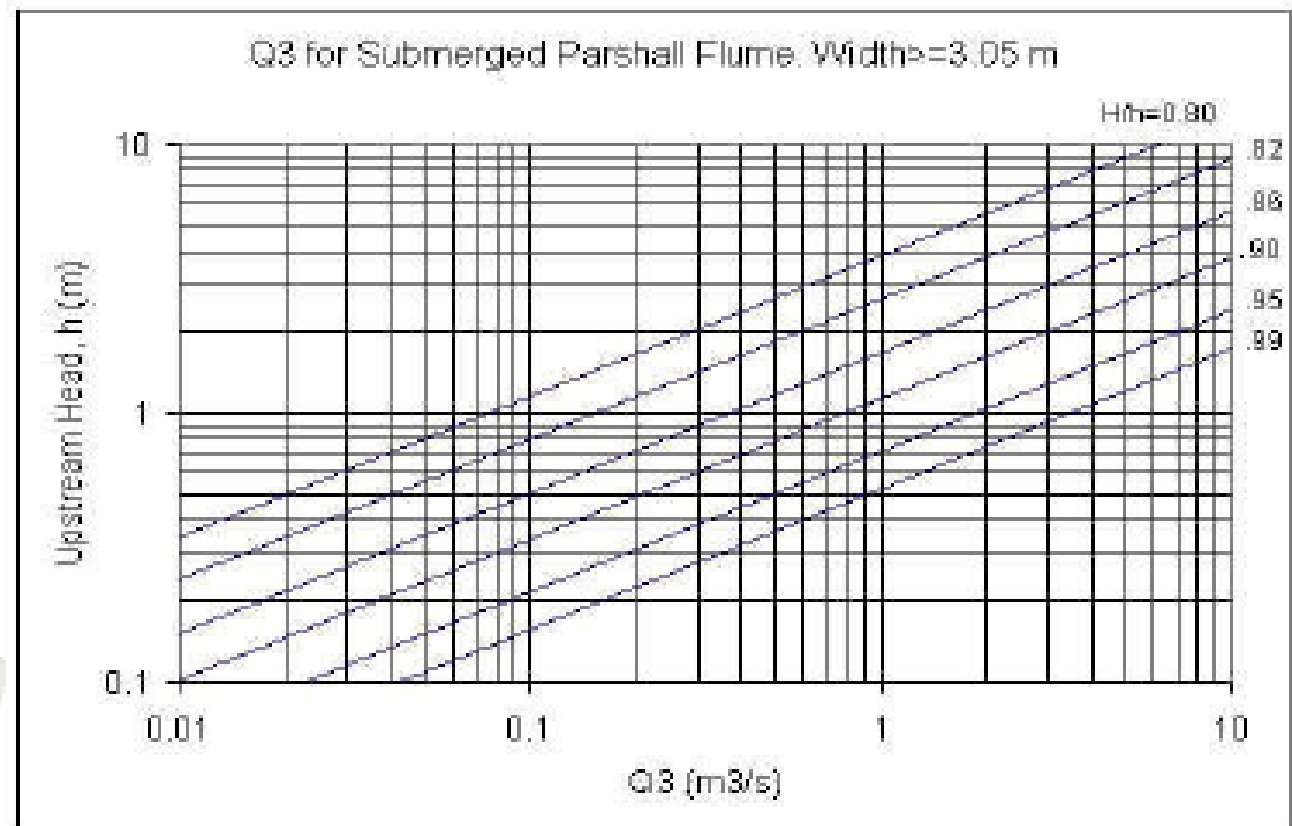
Jika $b < 3.05$ m

$$Q_e = 0.07b^{0.815} \left[\left(\frac{h}{0.305 \left(\left(\frac{1.8}{H/h} \right)^{1.8} - 2.46 \right)} \right)^{4.57 - 3.14(H/h)} + (H/h) \right]$$

Jika $b \geq 3.05$ m

$$Q_e = C_s \cdot Q^3$$

$$C_s = (0.3281)b$$





Questions?

