

## PERENCANAAN BENDUNG TETAP

### A. Pendahuluan

Bangunan utama dapat didefinisikan sebagai: “Semua bangunan yang direncanakan di sepanjang sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan saluran irigasi agar dapat di pakai untuk keperluan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bisa mengurangi sedimen yang berlebihan serta kemungkinan untuk mengukur air masuk”.

Yang termasuk bangunan utama ini adalah :

- Waduk, yaitu suatu bangunan yang terbuat dari urugan batu, urugan tanah atau kombinasi dari keduanya, yang berfungsi untuk menyimpan air pada waktu musim penghujan untuk di keluarkan kembali pada saat yang di perlukan. Atau dengan perkataan lain berfungsi untuk mengatur debit aliran sungai.
- Bendung, yaitu suatu bangunan yang melintang pada aliran sungai (palung sungai), yang terbuat dari pasangan batu kali atau bronjong, atau beton, yang berfungsi untuk meninggikan muka air agar dapat dialirkan ke tempat yang di perlukan.  
Bendung ini di bagi dalam dua tipe, yaitu :
  - Bendung Tetap.
  - Bendung Gerak (*Barrage*).
- Stasion Pompa, yaitu suatu bangunan yang di lengkapi dengan sejumlah pompa, yang fungsinya mengambil air dari sungai dan dialirkan ke tempat-tempat yang memerlukan. Biasanya bangunan ini didirikan apabila secara teknis dan ekonomis tidak menguntungkan apabila didirikan atau membuat sebuah bendung.
- Bangunan Pengambilan Bebas, yaitu bangunan yang didirikan di pinggir sungai berfungsi mengalirkan air sungai secara langsung tanpa meninggikan muka air sungai tersebut.

### B. Pengertian Bendung

Seperti yang di uraikan di atas, bendung adalah suatu bangunan yang di buat dari pasangan batu kali, bronjong atau beton, yang terletak melintang pada sebuah sungai, yang berfungsi meninggikan muka air agar dapat di alirkan ke tempat-tempat yang memerlukan. Tentu saja bangunan ini dapat digunakan pula untuk keperluan lain selain irigasi, seperti untuk keperluan air minum, pembangkit listrik atau untuk penggelontoran suatu kota.

Menurut macamnya bendung di bagi dua, yaitu bendung tetap dan bendung sementara. Biasanya bendung sementara ini di buat dari bronjong, yaitu suatu jala-jala kawat yang berukuran 2 m x 1 m x 0,5 m lobang dari jala-jala ini berukuran ( berdiameter )  $\pm 10$  cm, kemudian jala-jala ini diisi dengan batu-batu kali yang berukuran 13 – 15 cm. Tebal kawat untuk bronjong ini 3 ; 4 atau 5 mm.

### C. Data yang di gunakan

Data yang di perlukan dalam perencanaan bendung adalah :

- a. Data Tropografi
- b. Data Hidrologi
- c. Data Morfologi
- d. Data Geologi
- e. Data Mekanika tanah
- f. Standar perencanaan ( PBI, PKKI, PMI, dll.)
- g. Data lingkungan dan Ekologi.

#### ***D. Pemilihan lokasi***

Pemilihan lokasi bendung tetap hendaknya memperhatikan syarat-syarat topografi daerah yang akan diairi, topografi lokasi bendung, keadaan hidrolisis sungai, tanah pondasi dan lain-lain sebagai berikut :

- a. Agar seluruh daerah yang di rencanakan dapat di airi secara gravitasi.
- b. Tinggi bendung dari dasar sungai tidak lebih dari tujuh meter.
- c. Saluran induk tidak melewati trase yang sulit.
- d. Letak bangunan pengambilan ( intake ) harus di letakan sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kelancaran masuknya air.
- e. Sebaiknya lokasi bendung itu berada pada alur sungai yang lurus.
- f. Keadaan pondasi cukup baik.
- g. Tidak menimbulkan genangan yang luas di udik bendung, serta tanggul banjir sependek mungkin.
- h. Pelaksanaan tidak sulit dan biaya pembangunan tidak mahal.

#### ***E. Menentukan Elevasi Mercu Bendung.***

Muka air rencana di depan pengambilan bergantung pada :

- a. Elevasi muka air yang di perlukan untuk irigasi (eksploitasi normal)
- b. Beda tinggi energi pada kantong lumpur (kalau ada) yang di perlukan untuk membilas sedimen dari kantong.
- c. Beda tinggi energi pada bangunan pembilas yang di perlukan untuk membilas sedimen dekat pintu pengambilan.
- d. Beda tinggi energi yang di perlukan untuk meredam energi pada kolam olak.

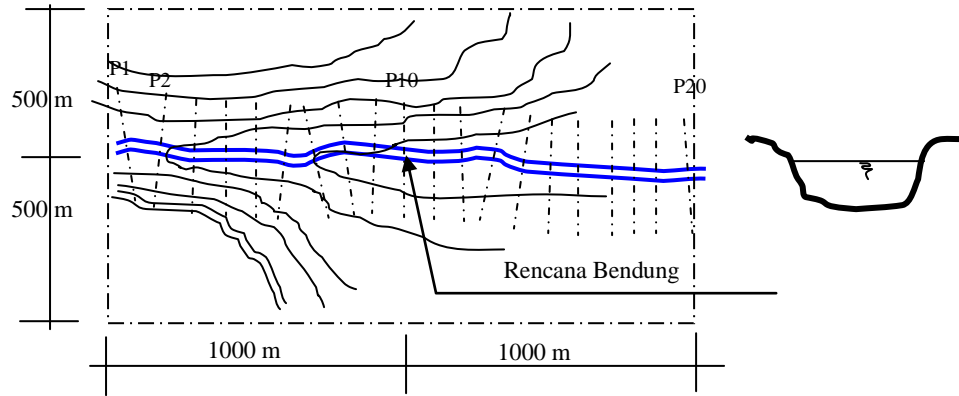
Jadi untuk merencanakan tinggi muka air rencana, harus di pertimbangkan pula :

- elevasi sawah tertinggi yang akan diairi
- tinggi air di sawah
- kehilangan tinggi energi di saluran dan boks tersier
- kehilangan energi di bangunan sadap
- variasi muka air untuk eksploitasi di jaringan primer
- kemiringan saluran primer
- kehilangan energi di bangunan-bangunan pada jaringan primer : sipon, pengatur, flum, dan sebagainya.
- kehilangan energi di bangunan utama.

#### ***F. Perhitungan Muka Air Banjir (MAB) di hilir Rencana Bendung.***

Perhitungan ini sangat penting di lakukan, oleh karena MAB hilir ini merupakan patokan untuk merencanakan kolam olakan (perendam energi). Dengan adanya MAB ini, dapat di hitung berapa kedalaman lantai ruang olakan.

Adapun faktor utama yang harus di miliki adalah peta situasi sungai di sekitar bendung, yaitu 1 km ke udik dan 1 km ke hilir serta kearah kiri dan kanan sepanjang 0,50 km dari as rencana bendung. Kemudian profil memanjang sungai tersebut beserta profil melintangnya (lihat gambar 1.1).



**Gambar 1.1 Peta Situasi Sungai dan Potongan Melintang Sungai**

Setelah itu yang perlu diperhatikan pula ialah keadaan sungai itu sendiri, tipe-tipe sungai seperti berbatu, pasir, banyak pohon-pohon, berumput dan sebagainya mempunyai nilai kekasaran yang berbeda.

Profil memanjang di gunakan untuk mencari kemiringan rata-rata sungai. Dengan jalan menjumlahkan kemiringan dari setiap profil dan dibagi dengan jumlah profil di kurangi satu, maka akan di dapat kemiringan rata-rata di sekitar bendung, atau dengan perkataan lain :

$$I_{rata-rata} = \sum_i^j I / (n - 1) \dots\dots\dots(1.1)$$

Profil melintang di gunakan untuk mencari luas tampang basah rata-rata sungai ( $F_{rata-rata}$ )

Kemudian :  $Q = F \times V \dots\dots\dots(1.2)$

- Dimana : Q = debit sungai  
 F = luas tampang basah sungai  
 V = kecepatan aliran sungai

Untuk mencari V dapat di gunakan metode sbb :

Manning :  $V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots(1.3)$

- Dimana : n = koefisien kekasaran Manning  
 R = jari-jari hidrolis  
 I = kemiringan rata-rata sungai

Chezy :  $V = C \sqrt{R \cdot I} \dots\dots\dots(1.4)$

Basin :  $C = \frac{87}{(1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}})} \dots\dots\dots(1.5)$

- Dimana : C = koefisien Chezy (koefisien kekasaran sungai)  
 R = jari-jari hidrolis  
 I = kemiringan rata-rata sungai.

Bila debit banjir sudah di ketahui, maka akan didapat tinggi air banjir tersebut.

Contoh : jumlah profil (n) = 28

$$\text{Jumlah kemiringan } \left( \sum_i^j I \right) = 0,135$$

$$\text{Kemiringan rata-rata } ( I ) = 0,135 / (28 - 1) = 0,005$$

$$\text{Luas profil rata-rata} = 110 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling basah } (O) = 49 \text{ m}$$

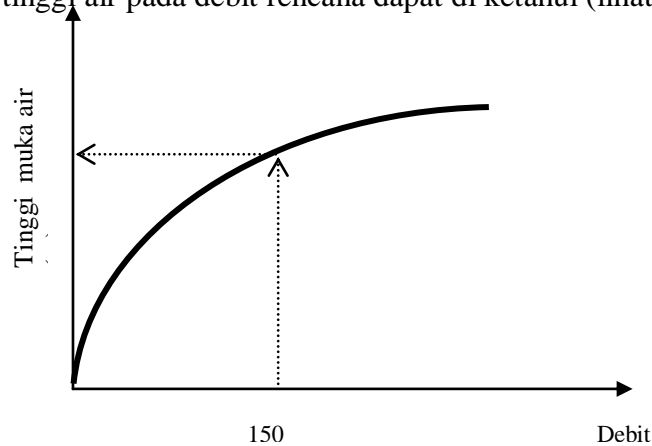
$$\text{Jari-jari hidrolis } (R) = 110 / 49 = 2,245 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekesaran sungai } ( n ) = 0,030$$

$$V = ( / 0,030) \times 2,245^{2/3} \times 0,005^{1/2} = 4,041 \text{ m/det}$$

$$Q = F \times V = 110 \times 4,041 = 444,51 \text{ m}^3/\text{dt.}$$

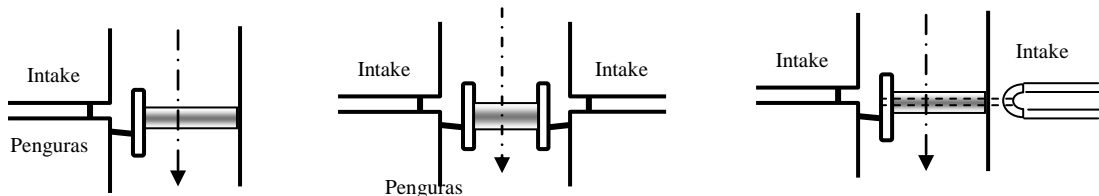
Atau dengan di ketahui debit banjir rencana, kemudian dengan mencoba beberapa tinggi muka air, misalkan setiap setengah meter, maka akan dapat di buat suatu lengkung debit, sehingga tinggi air pada debit rencana dapat di ketahui (lihat gambar 1.2).



**Gambar 1.2 Lengkung debit**

### G. Pintu Pengambilan (Intake)

Pintu pengambilan berfungsi mengatur banyaknya air yang masuk saluran dan mencegah masuknya benda-benda padat dan kasar ke dalam saluran. Pada bendung, tempat pengambilan bisa terdiri dari dua buah, yaitu kanan dan kiri, dan bisa juga hanya sebuah, tergantung dari letak daerah yang akan diairi. Bila tempat pengambilan dua buah menuntut adanya bangunan penguras dua buah pula. Kadang-kadang bila salah satu pengambilan debitnya kecil, maka pengambilannya lewat gorong-gorong yang di buat pada tubuh bendung. Dengan demikian kita tidak perlu membuat 2 bangunan penguras, dan cukup satu saja (lihat gambar 1.3 ).



**Gambar 1.3 Posisi intake**

**H. Penentuan Lebar Efektif Bendung**

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal (abutment). Sebaiknya lebar bendung ini sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil (bagian yang lurus). Biasanya lebar total bendung diambil antara 1,0 – 1,2 dari lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil. Agar pembuatan peredam energi tidak terlalu mahal, maka aliran per satuan lebar hendaknya dibatasi sampai sekitar 12 – 14 m<sup>3</sup>/det/m’ dan memberikan tinggi energi maksimum 3,5 – 4,5 m.

Lebar efektif bendung :

$$B_e = B - 2(n.K_p + K_a)H_1 \dots\dots\dots(1.6)$$

- dengan :  $B_e$  = lebar efektif bendung
- $B$  = lebar bendung. (lebar total – lebar pilar)
- $n$  = jumlah pilar
- $K_p$  = koef. kontraksi pilar
- $K_a$  = koef. kontraksi pangkal bd.
- $H_1$  = tinggi energi

Tabel 1.1 : Harga koefisien kontraksi :

<b>Pilar</b>	<b>Kp</b>
Berujung segi empat dengan ujung yang dibulatkan dengan $r \approx 0,1 t$	0,002
Berujung bulat	0,01
Berujung runcing	0,00
<b>Pangkal Tembok</b>	<b>Ka</b>
Segi empat bersudut 90° ke rah aliran	0,20
Bulat bersudut 90° ke rah aliran dengan $0,5 He > r > 0,15 He$	0,10
Bulat bersudut 45° ke arah aliran dengan $r > 0,5 He$	0,00

Contoh soal :

- Misal :  $B_{total} = 45,00 \text{ m}$
- $N = 2$  buah
- $T = 1,50 \text{ m}$
- Ujung pilar bulat,  $K_p = 0,01$
- Ujung pangkal tembok bulat, bersudut 45°
- Karah aliran,  $K_a = 0,00$
- $B = B_t - t = 45 - 2 \cdot 1,50 = 42,00 \text{ m}$
- $B_e = 42 - 2 ( 2 \cdot 0,01 - 0,00 ) He$
- $B_e = 42 - 0,04 He$
- Bila di andaikan  $He = 3,00 \text{ m} \rightarrow B_e = 41,88 \text{ m}$ .

**I. Perhitungan Muka Air Banjir di atas Mercu Bendung**

Persamaan tinggi energi debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah :

$$Q = Cd.2/3.\sqrt{2/3.g}.Be.He^{1.5} \dots\dots\dots(1.7)$$

dengan : Q = debit banjir  
 Cd = koef debit, (Cd = Co.C1.C2)  
 g = grafitasi, (=9,8 m/det)  
 Be = lebar efektif bd.  
 He = tinggi energi di atas mercu  
 Co = merupakan fungsi He/r  
 C1 = merupakan fungsi p/He  
 C2 = merupakan fungsi p/He dan kemiringan muka hulu (up stream) bendung

Bila disederhanakan rumus di atas menjadi :

$$Q = 1,704 \cdot Be \cdot He^{1,5} \dots\dots\dots(1.8)$$

Dari literatur lain (VT. Chow) :  $Q = C \cdot L \cdot Be \cdot He^{1,5} \dots\dots\dots(1.9)$

Dimana L = Be, C mempunyai nilai 1,7 – 2,2

Contoh soal 2 :

Bila di tentukan  $Q_d = 350,00 \text{ m}^3/\text{det}$   
 $B_e = 41,88 \text{ m}$  ( sesuai dengan soal 1 )  
 $P = 2,50 \text{ m}$

Hitung muka air banjir di udik mercu.

Penyelesaian :

$$Q_d = C \cdot L \cdot H_e^{1,5}$$

Ambil C = 2,2

$$H_e = ( 350 / ( 2,2 \times 41,88 ) )^{3/2} = 2,435 \text{ m}$$

Debit per satuan lebar  $q = Q/B_e = 350 / 41,88 = \underline{8,36 \text{ m}^3/\text{det} / \text{m}}$

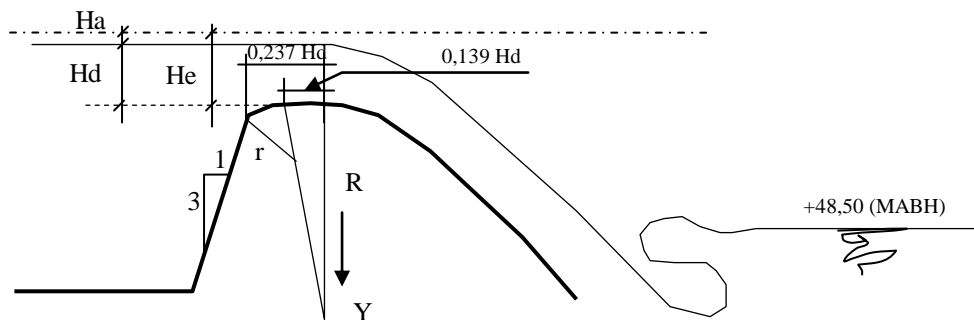
Kecepatan di udik:

$$V = q / ( p + H_e ) = 8,36 / ( 2,5 + 2,435 ) = 1,694 \text{ m/det}$$

$$H_a = k = V^2 / 2g = 1,694^2 / 2 \cdot 9,8 = 0,146 \text{ m}$$

$$h_c = \sqrt[3]{q^2 / g} = \sqrt[3]{8,36^2 / 9,8} = 1,925 \text{ m}$$

$$H_d = H_e - H_a = 2,435 - 0,146 = 2,289 \text{ m.}$$



**Gambar 1.4 Muka air di atas Mercu**

Bila *upstream* 3 : 1 dan *down stream* 1 : 1

Hitung kordinat mercu tipe Ogee ini ?

Tabel Kemiringan Upstream face :

Item	k	n
Vertikal	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
3 : 3	1,873	1,776

Rumus lengkung mercu Ogee

$$X^n = k.H_d^{n-1}.Y \dots\dots\dots(1.10)$$

untuk upstream 3 : 1 → k = 1,939 dan n = 1,836

Jadi persamaannya menjadi :  $X^{1,836} = 1,939 \cdot 2,289^{1,836-1} \cdot Y$  atau

$$X^{1,836} = 3,869 Y$$

$$Y = X^{1,836}/(3,869)$$

Koordinatnya menjadi sebagai berikut :

Y	X
0,00	0,00
0,50	1,432
1,00	2,090
1,50	2,606

Untuk downstream 1 : 1

Maka  $dy/dx = 1/1 = 1$

$$Y = X \cdot 1,836/3,869 \rightarrow dy/dx = (1,836 \cdot X^{0,836})/(3,869) = 1$$

$$1,836 \cdot X^{0,836} = 3,869$$

$$X^{0,836} = 2,107 \rightarrow X = 2,439 \text{ m}$$

$$Y = 1,328 \text{ m}$$

### J. Kolam Peredam Energi

Bila kita membuat bendung pada aliran sungai baik pada palung maupun pada sodetan, maka pada sebelah hilir bendung akan terjadi loncatan air. Kecepatan pada daerah itu masih tinggi, hal ini akan menimbulkan gerusan setempat (*local scouring*).

Untuk meredam kecepatan yang tinggi itu dibuat suatu konstruksi peredam energi. Bentuk hidrolisnya adalah merupakan suatu pertemuan antara penampang miring, lengkung, dan lurus.

Secara garis besar konstruksi peredam energi dibagi menjadi 4 (empat) tipe, yaitu :

- Ruang Olak tipe Vlughter
- Ruang Olak tipe Schoklitsch
- Ruang Olak tipe Bucket
- Ruang Olak tipe USBR

Pemilihan tipe peredam energi tergantung pada

- Keadaan tanah dasar
- Tingi perbedaan muka air hulu dan hilir
- Sedimen yang diangkut aliran sungai

**1. Ruang olakan tipe Vlughter**

Ruang olak ini dipakai pada tanah aluvial dengan aliran sungai tidak membawa batuan besar.

Bentuk hidrolis kolam ini akan dipengaruhi oleh tinggi energi di hulu di atas mercu (He), dan perbedaan energi di hulu dengan muka air banjir hilir (Z).

Sebagai batasan tipe ini maka daam lantai olakan dari mercu bendung  $\leq 8,00$  m dan  $Z \leq 4,50$  m

Perhitungan hidrolisnya sebagai berikut :

Untuk  $1/3 \leq Z/He \leq 4/3 \rightarrow D = L = R = 0,6 = He + 1,4 Z \dots\dots\dots(1.11)$

$\rightarrow a = 0,20 He \sqrt{He/Z} \dots\dots\dots(1.12)$

Untuk  $4/3 \leq Z/He \leq 10 \rightarrow D = L = R = He + 1,1 Z \dots\dots\dots(1.13)$

$\rightarrow a = 0,15 He \sqrt{He/Z} \dots\dots\dots(1.14)$

dengan : D = kedalaman kolam diukur dari puncak mercu sampai permukaan kolam

L = panjang kolam yang diukur dari perpotongan bidang miring dan horizontal

R = jari-jari kolam, dengan titik pusat sejajar dengan elevasi mercu.

a = end sill

Contoh :

Diketahui  $Q_d = 350 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $Be = 41,88 \text{ m}$ ,  $p = 2,50 \text{ m}$ ,  $He = 2,435 \text{ m}$ , seperti terlihat pada gambar. Rencanakan ruang olakan tipe Vlughter.

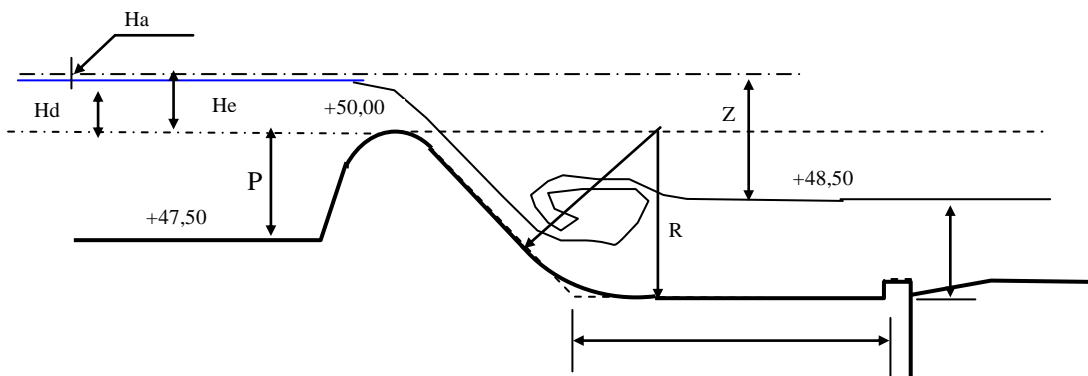
Solusi :

$Z = 50 + 2,435 - 48,50 = 3,935 \text{ m}$

$Z/He = 3.935/2,435 = 1,616 > 4/3$

$D = L = R = He + 1,1 Z = 6,7635 \approx 6,80 \text{ m}$

$a = 0,15 \cdot 2,435 \cdot \sqrt{2,435/3,935} = 0,30 \text{ m}$ .



**Gambar 1.5 : Ruang Olakan Tipe Vlughter**

**2. Ruang olakan tipe Schoklitsch**

Peredam tipe ini mempunyai bentuk hidrolis yang sama sifatnya dengan peredam energi tipe Vlughter. Berdasarkan percobaan, bentuk hidrolis kolam peredam energi ini dipengaruhi oleh faktor-faktor :

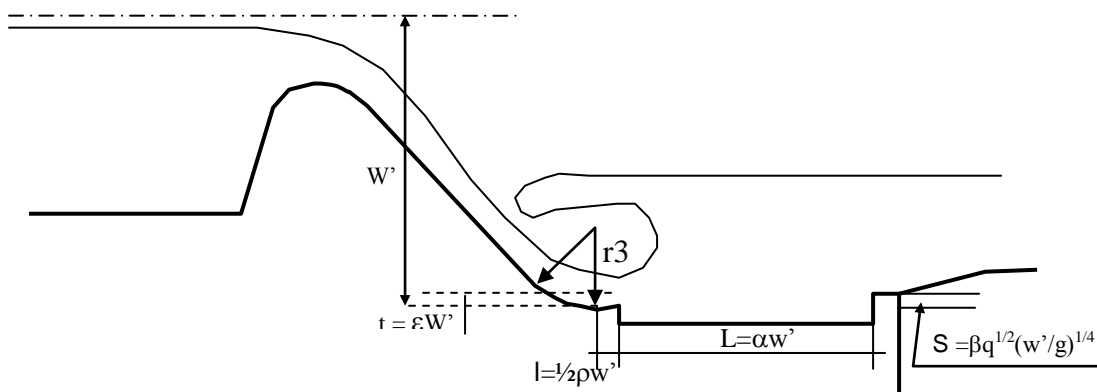
- Tinggi energi di atas mercu
- Perbedaan tinggi energi di hulu dan muka air banjir di hilir (Z).

Perhitungan hidrolis :

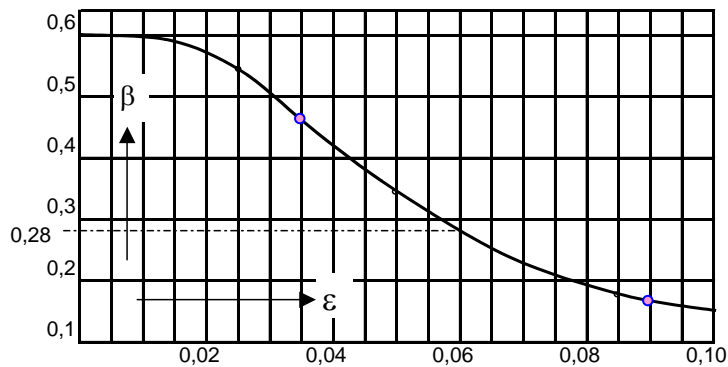
Tipe ini adalah sama sifatnya dengan tipe Vlughter dan dipakai apabila pada tipe Vlughter besarnya D, L, R lebih besar dari atau sama dengan 8,00 m, atau apabila  $Z \geq 4,50$  m.



$$\left. \begin{aligned}
 r_3 &\geq 0,15 W' \\
 s &= \beta q^{1/2} \cdot (W'/g)^{1/4} \\
 s \text{ min.} &= 0,10 W' \\
 \rho &= 0,15 W' \\
 0,50 &< \alpha < 1,00 \\
 t &= \varepsilon W' \\
 l &= \frac{1}{2} \rho W' \\
 L &= \alpha W'
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.15)$$



**Gambar 1.6 : Ruang Olakan Tipe Schoklitsch**



**Gambar 1.7 : Grafik. Schoklitsch**

Contoh :

Seperti soal di muka, elevasi MAB hilir + 47,00 m, elevasi dasar sungai + 45,00 m.

Rencanakan kolam peredam energinya.

Solusi :

$$Z = 52,435 - 47,00 = 5,435 \text{ m}$$

$$H_e = 2,435 \text{ m}$$

$$Z/H_e = 5,435/2,435 = 2,232 > 4/3$$

$$D = L = R = 2,435 + 1,1 \cdot 5,435 = 8,41 \text{ m}$$

→ Kolam olakan tipe Vlughter tidak dapat digunakan, dan dipilih tipe Schoklitsch.

Adaikan elevasi dasar  $r_3 = + 43,50$  m  
 $W' = 52,435 - 43,50 = 8,935$  m  
 $R_3 = 0,15 \cdot W' = 1,34$  m  $\rightarrow$  ambil  $r_3 = 1,50$  m  
 Dari grafik : pilih  $\varepsilon = 0,06$   
 $\beta = 0,28$ , ambil  $\alpha = 0,80$ ,  $\rho = 0,15$   
 $s = 0,28 \cdot 8,36^{1/2} \cdot (8,935/9,8)^{1/4} = 0,80$  m  
 $t = 0,06 \cdot 8,935 = 0,54$  m  
 $l = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot 9,435 = 0,71$  m  
 $L = 0,80 \cdot 8,935 = 7,15$  m

**3. Ruang olakan tipe Bucket**

Kolam peredam energi ini terdiri dari 3 tipe, yaitu :

- Solid bucket
- Slotted Rooler bucket atau dentated Roller bucket
- Sky jump

Ketiga tipe ini mempunyai bentuk hampir sama dengan tipe Vlughter, perbedaannya sedikit pada ujung ruang olakan.

Umumnya peredam ini digunakan bilamana sungai membawa batuan sebesar kelapa (boulder). Untuk menghindarkan kerusakan lantai belakang maka dibuat lantai yang melengkung sehingga bilamana ada batuan yang terbawa kan melanting ke arah hilirnya.

**a. Solid bucket**

Dibuat bilamana material hanyutan membawa batuan sebesar kelapa yang akan menghancurkan lantai olakan. Ruang lantai dibuat melingkar sampai bagian depan cut off.

Bentuk hidrolisnya sbb :

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - Hd)} \dots\dots\dots(1.16)$$

$$R = 0,305 \cdot 10^P \rightarrow (VT. Chow) \dots\dots\dots(1.17)$$

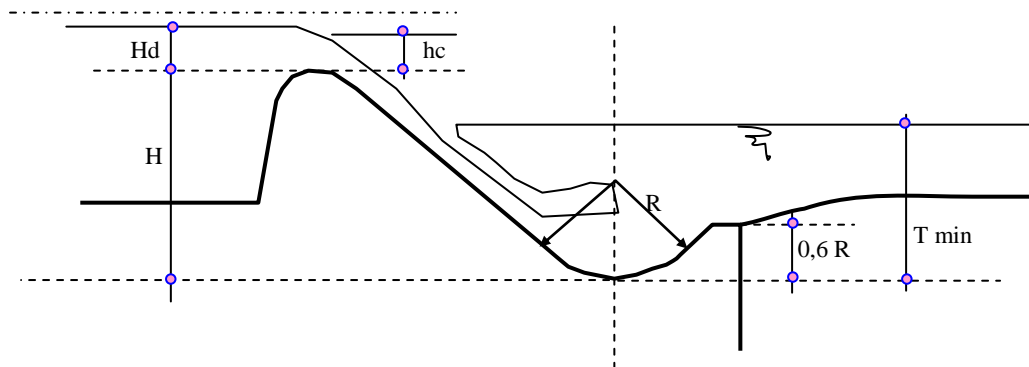
$$p = (V_1 + 6,4 Hd + 4,88) / (3,6 Hd + 19,5) \dots\dots\dots(1.18)$$

$$R = 0,6 \sqrt{H \cdot Hd} \rightarrow (Varshney) \dots\dots\dots(1.19)$$

Untuk menentukan elevasi dasar lantai peredam :

$$\Delta H / hc \leq 2,4 \rightarrow T_{min} / hc = 1,88 (\Delta H / hc)^{0,215} \dots\dots\dots(1.20)$$

$$\Delta H / hc > 2,4 \rightarrow T_{min} / hc = 1,7 (\Delta H / hc)^{0,33} \dots\dots\dots(1.21)$$



**Gambar 1.8 : Kolam olakan tipe Bucket**

**b. Slotted Roller bucket**

Peredam ini digunakan bila loncatan air rendah maupun tinggi dan deras akan lebih baik karena di ujung olakan dibuat pemecah arus.

**c. Sky Jump**

Jenis bucket ini digunakan bila keadaan loncaca air sangat tinggi dan keadaan air di belakang kolam kecil. Tipe ini akan lebih baik digunakan bila letak kolam pada daerah batuan yang sangat kokoh. Selain itu lantai olakan ini akan lebih tahan terhadap terjangan banjir yang membawa batu-batuan.

Perhitungan hidrolis :

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g(H - 0,5Hd)}$$

$$R = 0,305 \cdot 10^p \rightarrow (\text{VT. Chow})$$

$$R = 0,5 \cdot \sqrt{H \cdot Hd}$$

$$p = (V_1 + 6,4 Hd + 4,88)/(3,6 Hd + 19,5)$$

$$R = 0,6 \sqrt{H \cdot Hd} \rightarrow (\text{Varshney})$$

$$\sqrt{F_1} = 0,09 \cdot R/D + 1,95$$

$$F_1 = 13 \cdot R^{1/2} - 19,5$$

Untuk jarak loncatan air (x) dan tinggi loncatan air terhadap lip (y) adalah sebagai berikut :

$$x = (V^2 \sin 2\Phi) / g$$

$$y = h \sin 2\Phi$$

Contoh soal :

Diketahui : elevasi mercu = +50,00 m

Hd = 2,289 m

He = 2,435 m, hc = 1,925 m

Elevasi MAB di hilir = +48,50 m

Elevasi dasar sungai di hilir = +46,50 m

Hitung radius kolam olakan tipe bucket.!

Solusi :

$$\Delta H = Z = 50 + 2,435 - 48,50 = 3,935 \text{ m}$$

$$\Delta H/hc = 3,935/1,925 = 2,044 < 2,4$$

$$T_{\min}/hc = 1,88 (\Delta H/hc)^{0,215} = 2,19$$

$$T_{\min} = 2,19 \cdot 1,925 = 4,215 \text{ m} \rightarrow \text{ambil } 4,50 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi kolam olakan} = 48,50 - 4,50 = +44,00$$

$$H = 50 - 44 = 6 \text{ m}$$

$$R = 0,6 \sqrt{6 \cdot 2,289} = 2,22 \text{ m}$$

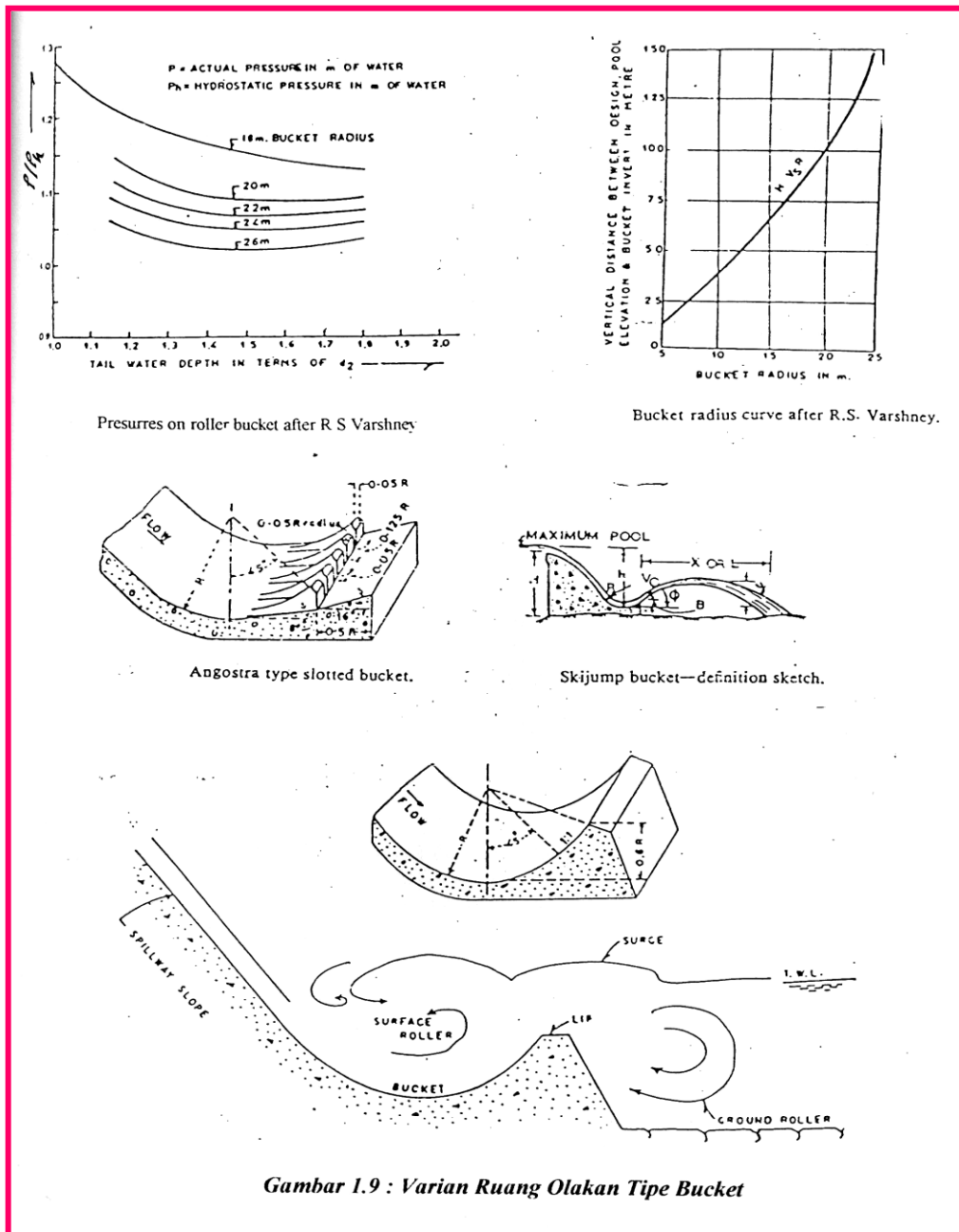
$$V_1 = \sqrt{2 \cdot 9,8(6 - 0,5 \cdot 2,289)} = 9,755 \text{ m/det}$$

$$p = (9,755 + 6,4 \cdot 2,289 + 4,88)/(3,6 \cdot 2,289 + 19,5) = 1,005$$

$$R = 0,305 \cdot 10^{1,005} = 3,462 \rightarrow \text{ambil } R = 3,70 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi cut off} = 0,6 \cdot 3,70 = 2,22 \text{ m}$$

(Lihat gambar !)

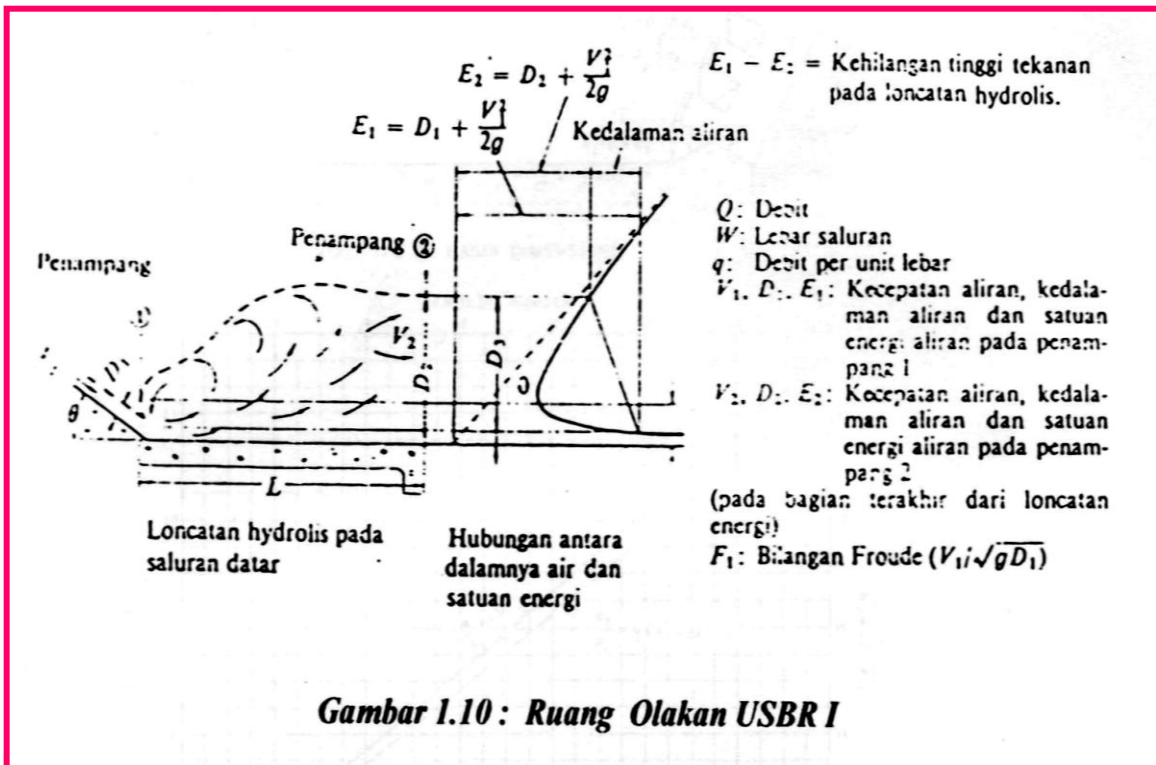


#### 4. Ruang olakan tipe USBR

Type ini biasanya dipakai untuk *head drop* yang lebih tinggi dari 10 meter. Ruang olakan ini mempunyai berbagai variasi dan yang terpenting ada empat type yang dibedakan oleh rezim hidraulik aliran dan konstruksinya.

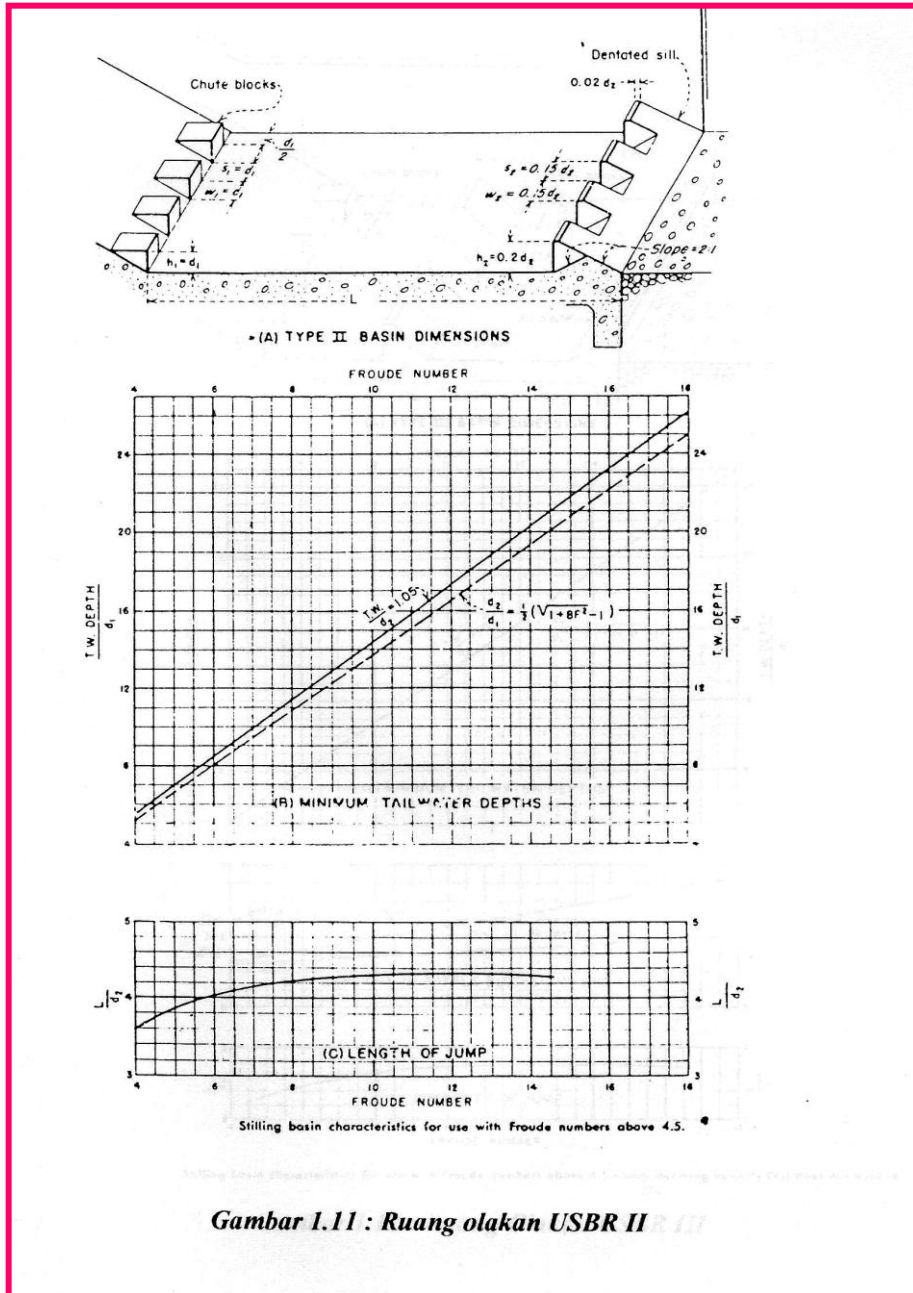
##### a. Ruang olakan USBR I

- Ruang olakan datar, peredaman terjadi akibat benturan langsung dari aliran dengan permukaan dasar kolam.
- Ruang olakan /kolam menjadi panjang.
- Cocok untuk debit kecil, dengan kapasitas peredaman yang kecil.



b. Ruang olakan USBR II

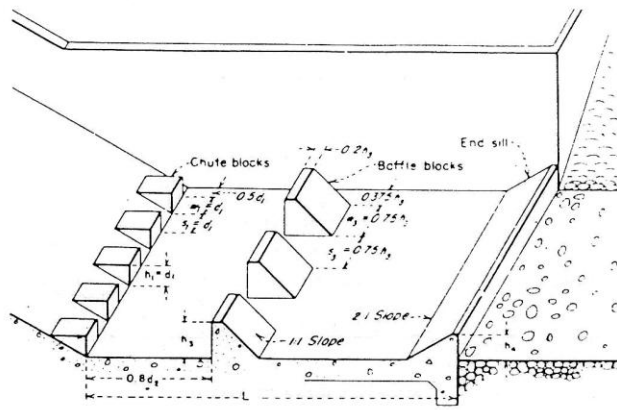
- Ruang olak tipe ini memiliki blok-blok saluran tajam (gigi pemencar) di ujung hulu dan di dekat ujung hilir (*end sill*).
- Cocok untuk aliran dg tekanan hidrostatik > 60 m
- $Q > 45 \text{ m}^3/\text{det}$
- Bilangan Froude > 4,5



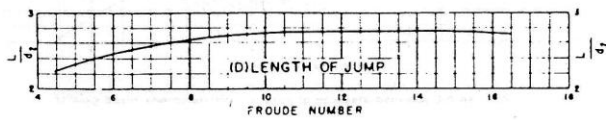
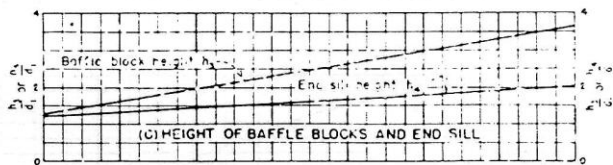
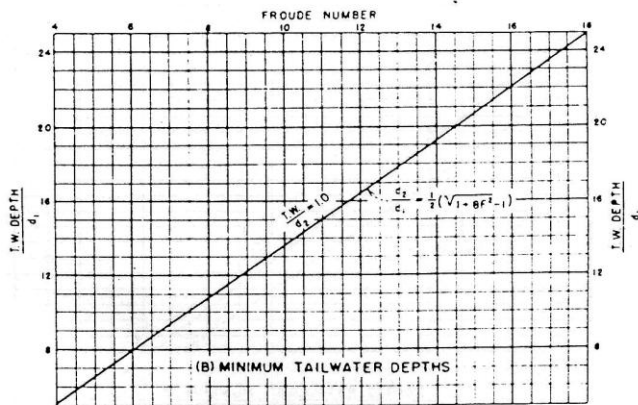
Gambar 1.11 : Ruang olakan USBR II

c. Ruang olakan USBR III

- Dipasang gigi pemencar di ujung hulu, pada dasar ruang olak dibuat gigi penghadang aliran, dan di ujung hilir dibuat perata aliran.
- Cocok untuk mengalirkan air dg tekanan hidrostatis rendah
- $Q < 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$
- $V < 18,0 \text{ m}/\text{det}$
- Bilangan Froud  $> 4,5$



(A) TYPE III BASIN DIMENSIONS

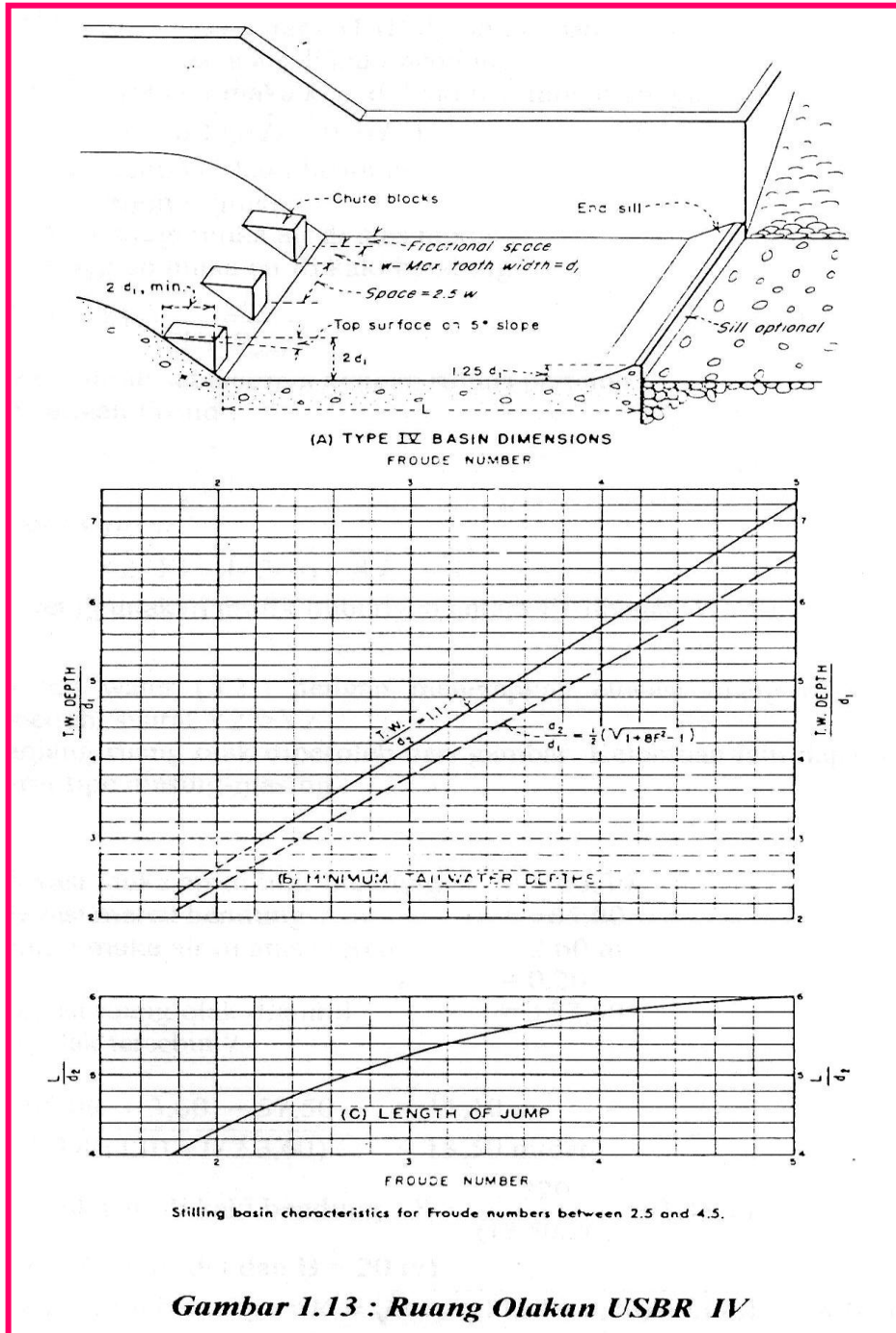


Stilling basin characteristics for use with Froude numbers above 4.5 where incoming velocity ( $V_1$ ) does not exceed

**Gambar 1.12 : Ruang Olakan USBR III**

d. Ruang olakan USBR VI

- Dipasang gigi pemencar di ujung hulu, dan di ujung hilir dibuat perata aliran.
- Cocok untuk mengalirkan air dg tekanan hidrostatis rendah
- Bilangan Froud antara 2,5 - 4,5



**Gambar 1.13 : Ruang Olakan USBR IV**

Yang paling penting dalam perencanaan ruang olak tipe USBR adalah menghitung *rating jump* dan *tail water* serta mencari bilangan Froud.

Selanjutnya dilakukan uji model pada tipe ruang olak yang terpilih.

Langkah perhitungan :

- Menghitung kec. Aliran di kaki bendung

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - Y1)} \dots\dots\dots(1.22)$$

dengan : V = kec. Aliran di kaki bendung

H = beda tinggi antara MAB dg dasar ruang olak

Y1 = tinggi muka air di kaki bendung



Karena Y1 belum diketahui maka kec. di kaki bendung dianggap sbb:

$$V1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - 0,5Hd)}$$

dengan : V1 = kec. aliran di kaki bendung

H = tinggi terjunan

Hd = tinggi muka air di atas mercu

- Menghitung ketinggian muka air di kaki bendung :

$$Y1 = \frac{Q}{(V1 \cdot B_{total})} \dots\dots\dots(1.23)$$

- Menghitung kec. aliran sebenarnya dengan rumus pertama.

- Menghitung bilangan Froud :

$$F1 = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y1}} \dots\dots\dots(1.24)$$

- Menghitung *rating jump* :

$$Y2/Y1 = 1/2(\sqrt{1 + 8 \cdot F^2} - 1) \dots\dots\dots(1.25)$$

- Atau dengan menggunakan grafik hubungan antara F1 dengan Y2/Y1

- Menghitung tail water (Y2') dengan menetapkan elevasi ruang olak sedemikian sehingga memenuhi syarat Y2' > Y2.

- Penentuan panjang ruang olak diperoleh dari gambar. Ketentuan lain dapat dilihat dari gambar menurut tipe masing-masing.

Contoh :

Diketahui :	Elevasi muka air di hilir bendung	= + 66,30
	Elevasi mercu bendung	= +65,00
	Tinggi muka air di atas mercu	= 3,60 m
	k	= 0,20
	Elevasi ruang olak diambil	= +57,50

Rencanakan ruang olak tersebut ?

Solusi :

- $Z = (+65,00 + 3,60) - 57,50 = 11,10 \text{ m}$
- $V = \sqrt{2 \cdot 9,8(11,10 - 1/2 \cdot 3,60)} = 13,50 \text{ m/det}$
- Tinggi muka air di kaki bendung :  $Y_1 = \frac{320}{(13,50 \cdot 20)} = 1,19 \text{ m}$   
(misal Q = 320 m<sup>3</sup>/det dan B = 20 m)
- Kecepatan air sebenarnya :  $V = \sqrt{2 \cdot 9,8((11,10 + 0,20) - 1,17)} = 14,08 \text{ m/det}$
- Bilangan Froud :  $F_1 = \frac{14,08}{\sqrt{9,8 \cdot 1,19}} = 4,2$
- Tinggi rating jump :  $Y_2/Y_1 = 1/2(\sqrt{1 + (8 \cdot 4,2)^2} - 1) = 5,46 \text{ m}$   
 $Y_2 = 5,46 \cdot 1,17 = 6,40 \text{ m}$
- Tinggi tail water :  $Y_2' = +66,30 - (+57,50) = 8,80 \text{ m}$   
Syarat  $Y_2' > Y_2 \rightarrow 8,80 > 6,40 \text{ m (ok)}$
- Berdasarkan hasil perhitungan parameter di atas, dipilih tipe ruang olak USBR II

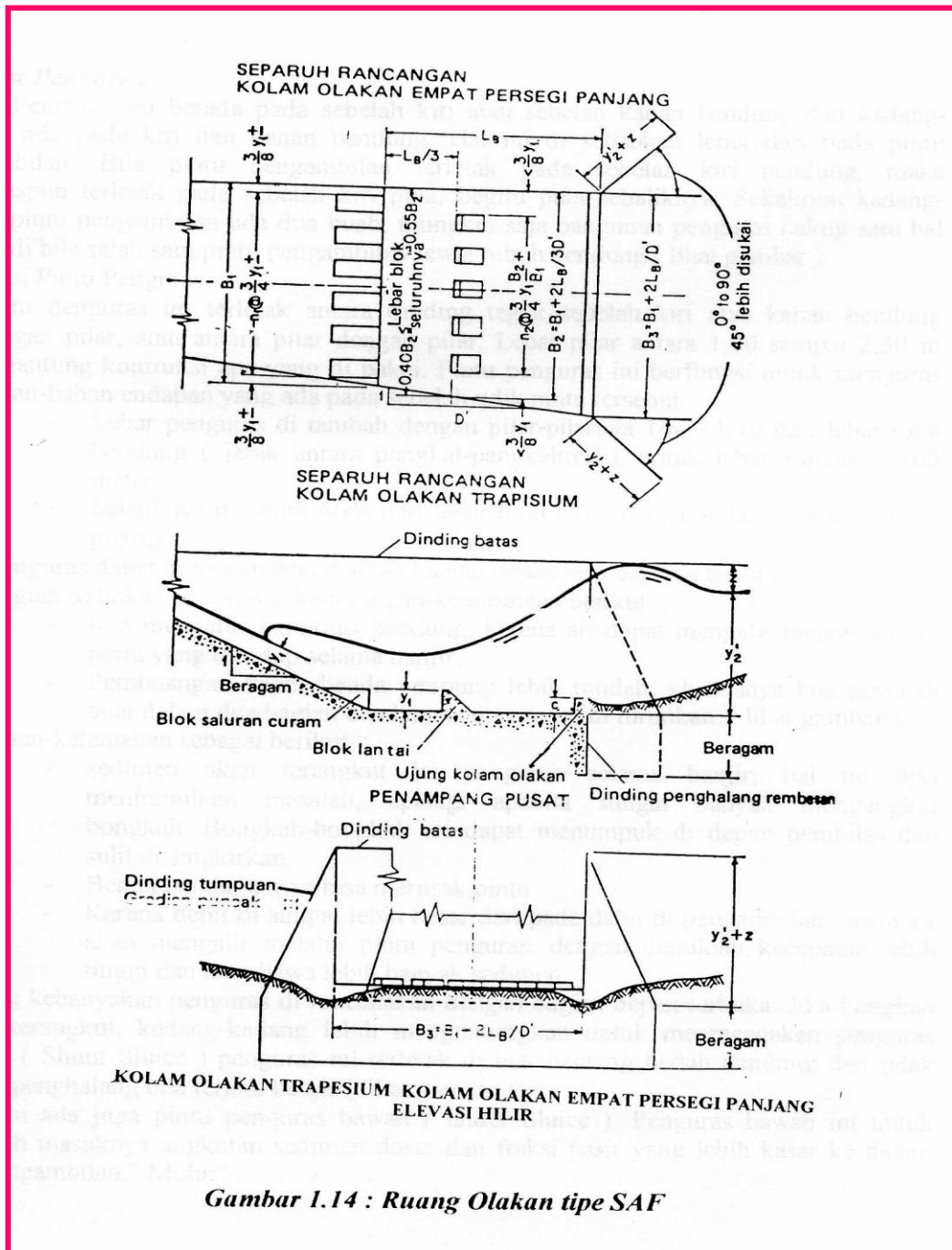
- Panjang ruang olak dicari dengan grafik hubungan antara  $F_1$  dengan  $L/D_2 \rightarrow L/D = 3,60 \rightarrow L = 3,6 \cdot 6,4 = 23,00 \text{ m}$
- $0,5 D_1 = 0,5 \cdot 1,17 = 0,60 \text{ m}$
- $0,02 D_2 = 0,02 \cdot 6,4 = 0,13 \rightarrow \text{ambil} = 0,15 \text{ m}$
- $0,15 D_2 = 0,15 \cdot 6,4 = 0,96 \text{ m}$
- $0,2 D_2 = 0,2 \cdot 6,4 = 1,28 \text{ m}$

#### 5. The SAF Stilling Basin (SAF = Saint Anthony Falls)

Kalau bukaan pada hilir kolam olakan type yang lain melebar, maka bentuk dari type SAF ini berbentuk trapesium ( lihat gambar ).

Bentuk hidrolis type ini mensyaratkan  $F_r$  ( bilangan Froude ) berkisar antara 1,7 sampai dengan 17. Pada pembuatan kolam ini, dapat di perhatikan bahwa panjang kolam dan tinggi loncatan dapat di reduksi sekitar 80% dari seluruh perlengkapan. Kolam ini akan lebih pendek dan ekonomis akan tetapi mempunyai beberapa kelemahan yaitu faktor keselamatan rendah ( Open Chanel Hidraulics, V.T.Chow : 417 – 420 )

- $L_B = 4,5y_2/F_r^{0,76}$
- Tinggi chute blocks =  $Y_1$
- Lebar dan jaraknya kira-kira  $0,75 Y_1$
- Jarak dari akhir upstream dengan floor blocks =  $1/3 L_B$
- Jarak floor blocks terhadap dinding tegak  $3Y_1/8$
- Total lebar floor blocks yang di gunakan sebesar 40 – 50% dari lebar kolam olakan ( peredam energi ).
- Tinggi end sill =  $C = 0,07 Y_1$
- Tinggi air di atas kolam peredam =  $Y_2$  di pengaruhi oleh bilangan Froude.  
Untuk  $Fr = 1,7 - 5,5 \rightarrow Y_2' = ( 1,1 - Fr^2/120 ) Y_2$   
Untuk  $Fr = 5,5 - 11 \rightarrow Y_2' = 0,85 Y_2$   
Untuk  $Fr = 11 - 17 \rightarrow Y_2 = ( 1,0 - Fr^2/800 ) Y_2$
- Tinggi dinding tegak hilir minimum di tambah dengan  $z = Y_2/3$
- Arah tembok sayap membentuk sudut  $45^0$  dengan centerline.



Gambar 1.14 : Ruang Olakan tipe SAF

Dimana :

- V = kecepatan air
- R = hidrolis dari ruang olakan
- X = jarak loncatan air
- Y = tinggi loncatan air
- F = froude number

### **K. Pintu Penguras.**

Penguras ini berada pada sebelah kiri atau sebelah kanan bendung dan kadang-kadang ada pada kiri dan kanan bendung. Hal ini disebabkan letak dari pada pintu pengambilan. Bila pintu pengambilan terletak pada sebelah kiri bendung, maka penguraspun terletak pada sebelah kiri pula, begitu pula sebaliknya. Sekalipun kadang-kadang pintu pengambilan ada dua buah, mungkin saja bangunan penguras cukup satu hal ini terjadi bila salah satu pintu pengambilan lewat tubuh bendung ( lihat gambar ).

#### **1. Fungsi Pintu Penguras.**

Pintu penguras ini terletak antara dinding tegak sebelah kiri atau kanan bendung dengan pilar, atau antara pilar dengan pilar. Lebar pilar antara 1,00 sampai 2,50 m tergantung konstruksi apa yang di pakai. Pintu penguras ini berfungsi untuk menguras bahan-bahan endapan yang ada pada sebelah udik pintu tersebut.

- Lebar penguras di tambah dengan pilar-pilarnya  $1/6 - 1/10$  dari lebar total bendung ( jarak antara pangkal-pangkalnya ), untuk lebar sungai  $< 100$  meter.
- Sebaiknya di ambil 60% dari lebar total pintu pengambilan termasuk pilar-pilarnya.

Pintu penguras dapat di rencanakan dengan bagian depan terbuka atau tertutup.

Pintu bagian terbuka mempunyai keuntungan-keuntungan berikut :

- ikut mengatur kapasitas bendung, karena air dapat mengalir melalui pintu-pintu yang tertutup selama banjir.
- Pembuangan benda-benda terapung lebih mudah, khususnya bila pintu di buat dalam dua bagian dan bagian atas dapat di turunkan. ( lihat gambar )

Kelemahan-kelemahan sebagai berikut :

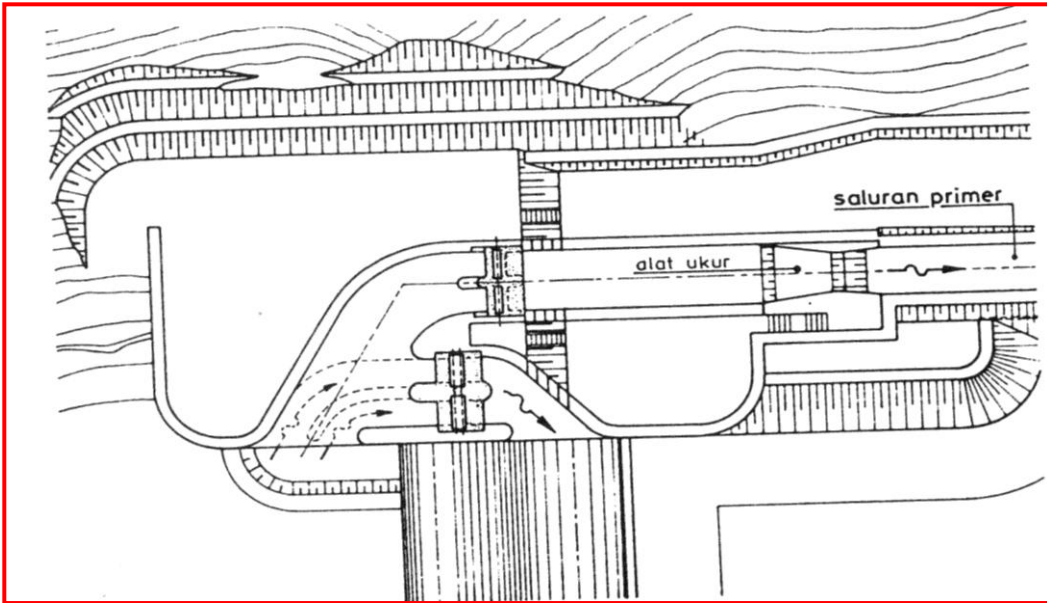
- sedimen akan terangkut ke penguras selama banjir, hal ini bisa menimbulkan masalah, apalagi apabila sungai banyak mengangkut bongkah. Bongkah-bongkah ini dapat menumpuk di depan pembilas dan sulit di singkirkan.
- Benda-benda hanyut bisa merusak pintu
- Karena debit di sungai lebih besar dari pada debit di pengambilan, maka air akan mengalir melalui pintu penguras, dengan demikian kecepatan lebih tinggi dan membawa lebih banyak sedimen.

Sekarang kebanyakan penguras di rencanakan dengan bagian depan terbuka. Jika bongkah banyak terangkut, kadang-kadang lebih menguntungkan untuk merencanakan penguras samping ( Shunt Sluice ) penguras ini terletak di luar bentang bersih bendung dan tidak menjadi penghalang bila terjadi banjir ( lihat gambar ).

Selain itu ada juga pintu penguras bawah ( under Sluice ). Penguras bawah ini untuk mencegah masuknya angkutan sedimen dasar dan fraksi pasir yang lebih kasar ke dalam pintu pengambilan.” Mulut”

Penguras bawah di tempatkan di hulu pengambilan di mana ujung penutup pembilas membagi air menjadi dua lapisan : lapisan atas mengalir ke pengambilan dan lapisan bawah mengalir melalui saluran penguras lewat bendung.

Untuk membilas kandungan sedimen dan agar pintu tidak tersumbat, pintu tersebut akan di buka setiap harinya selama kurang lebih 60 menit. Bila ada benda-benda hanyut mengganggu eksploitasi pintu penguras, sebaiknya di pertimbangkan untuk membuat pintu menjadi dua bagian, sehingga bagian atas dapat di turunkan dan benda-benda hanyut dapat lewat di atasnya.



**Gambar 1.15 : Penguras Samping**

Dimensi-dimensi dasar penguras adalah :

- tinggi saluran bawah hendaknya lebih besar dari 1,5 kali diameter butir terbesar sedimen dasar di sungai.
- Tinggi saluran pembilas bawah sekurang-kurangnya 1,0 meter.
- Tinggi sebaiknya di ambil 1/3 sampai 1/4 dari kedalaman air di depan pengambilan selama debit normal.

Dimensi rata-rata dari penguras bawah yang di rencanakan berkisar dari :

- 5 sampai 20 meter untuk panjang saluran penguras bawah,
- 1 sampai 2 meter untuk tinggi saluran penguras bawah.
- 0,20 sampai 0,35 m untuk tebal beton bertulang.

## 2. Besarnya Butir Yang Dapat Di Kuras.

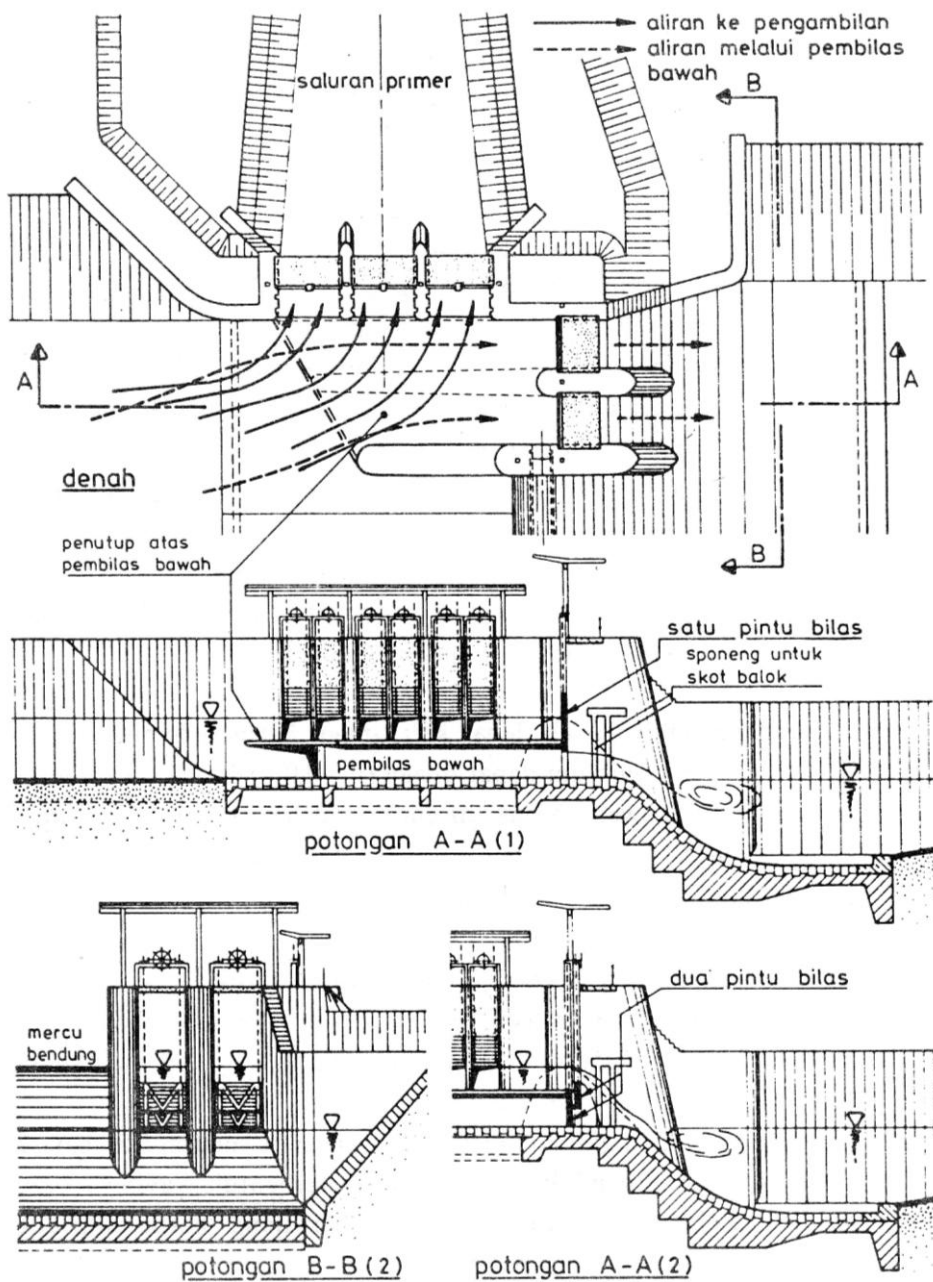
Fungsi dari pintu penguras ini adalah untuk menguras atau membilas butiran-butiran yang ada di udik pintu penguras. Tentu saja hanya sekitar pintu saja yang dapat di bersihkan, sedangkan sedimen yang ada di depan mercu tidak dapat di kuras.

Pelaksanaannya penguras ini di adakan pada dua keadaan, yaitu :

- a. Pada keadaan pintu di buka setinggi under sluice.
- b. Pada keadaan pintu di buka setinggi mercu.

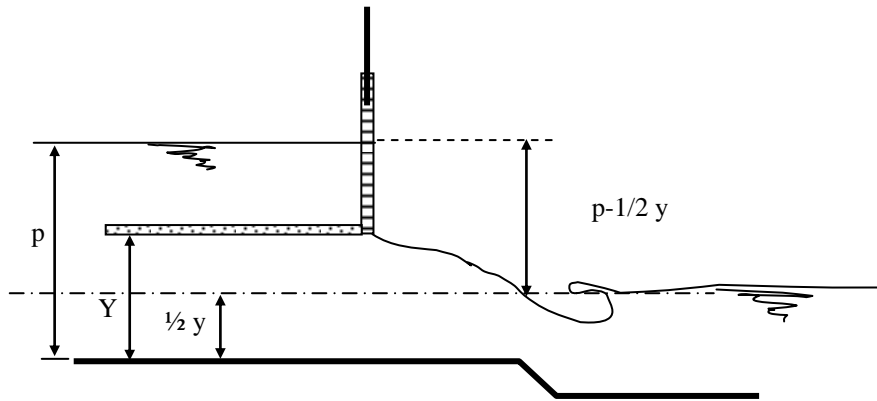
Untuk menghitung kecepatan air yang melalui pintu di penggunaan rumus sebagai berikut :

$$Q = \mu.F\sqrt{2.g.h} = \mu.b.h\sqrt{2.g.h} \dots\dots\dots(1.26)$$



**Gambar 1.16 : Penguras bawah**

a. Pada keadaan pintu di buka setinggi *undersluice*.



**Gambar 1.17 : Kondisi pintu dibuka setinggi undersluice**

$$Q = \mu \cdot b \cdot y \sqrt{2 \cdot g \cdot (P - 1/2 y)} \dots\dots\dots(1.27)$$

- Dimana :
- Q = Debit yang mengalir pada pintu ( m<sup>3</sup>/det )
  - μ = koefisien kontraksi = 0,62
  - b = Lebar pintu penguras
  - y = Tinggi under sluice
  - p = Tinggi mercu
  - g = Gravitasi
  - V<sub>c</sub> = Q/F ( m/det )

Diameter butir yang dapat di kuras adalah sebagai berikut :

$$V_c = 1,5 \cdot C \sqrt{d} \dots\dots\dots(1.28)$$

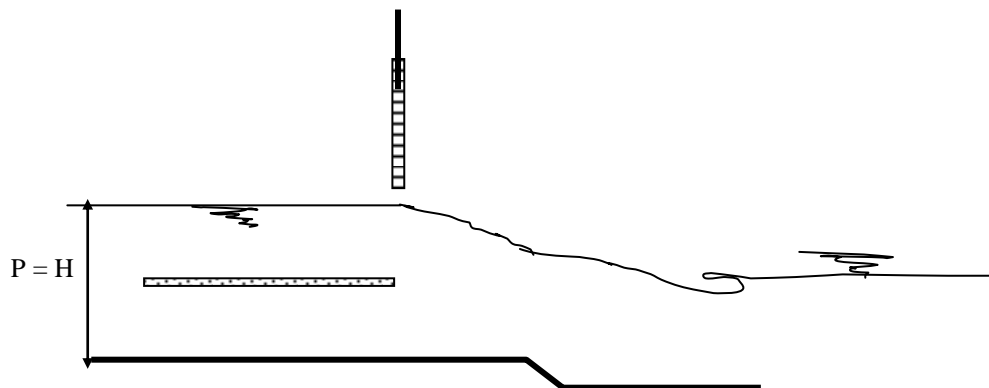
- Dimana :
- V<sub>c</sub> = kecepatan kritis yang di perlukan untuk menguras.
  - C = koefisien sedimen antara 3,2 – 5,5
  - D = diameter butiran yang dapat di kuras.

Atau  $d = ( V_c / 1,5 \cdot C )^2$

b. Pada keadaan pintu di buka setinggi mercu.

$$Q = \mu \cdot b \cdot h \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \dots\dots\dots(1.29)$$

- Dimana : z = 1/3H → ( H = P )
- μ = 0,75



**Gambar 1.18 : Kondisi pintu dibuka setinggi mercu**

### L. Lantai Muka

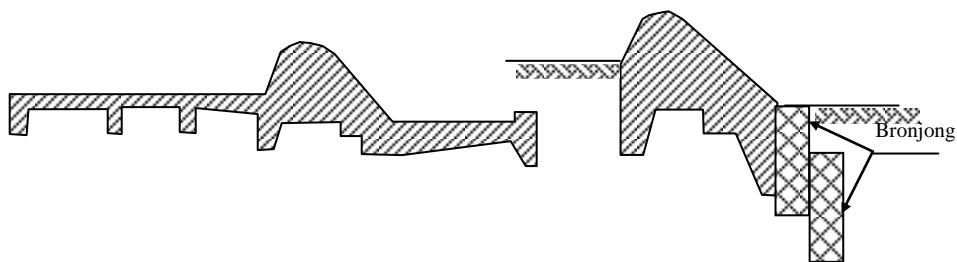
Pada saat air terbendung maka akan terjadi perbedaan tekanan antara hilir dan udik bendung. Perbedaan ini akan menimbulkan adanya aliran di bawah bendung, lebih-lebih bila tanah dasar bersifat tiris (*porous*).

Aliran air ini akan menimbulkan tekanan pada butir-butir tanah dibawah bendung. Bila tekanan ini cukup besar untuk mendesak butir-butir tanah, maka lama kelamaan akan timbul penggerusan, terutama di ujung belakang bendung.

### Fungsi Lantai Muka

Air yang mendapat hambatan akan mencari jalan keluar melalui hambatan yang paling kecil, hambatan yang paling kecil di sini adalah pertemuan antara tanah dengan bangunan, biasanya hal ini di sebut *creep line*. Bila *creep line* ini pendek, maka hambatannya akan kecil dan tekanan yang di timbulkan oleh air itu akan besar.

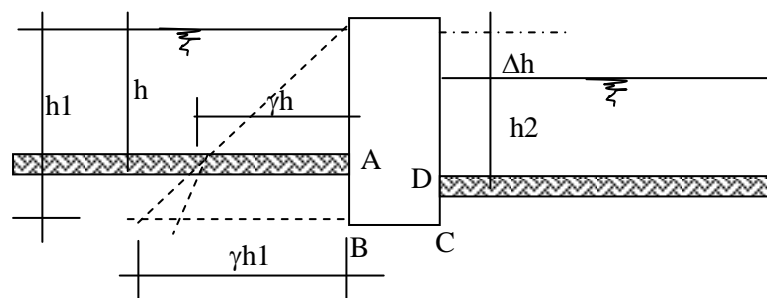
Untuk memperkecil tekanan air ini, maka hambatan harus di perbesar atau di perpanjang. Cara lain adalah dengan membuat lantai muka atau juga dengan dinding vertikal (*cut off wall*).



**Gambar 1.19 : Bendung dengan dan tanpa lantai muka**

### 1. Perhitungan Lantai Muka.

Tekanan air ini bergerak kesegala jurusan, demikian juga air yang berada di bawah bendung. Gaya tekan air yang menekan dibawah bendung ini di sebut sebagai “uplift – pressure”, yang hakekatnya berusaha mendorong bendung ke atas.



**Gambar 1.20 : Tekanan hidrostatik pada bendung**

Tekanan pada titik A =  $\gamma \cdot h$  sebagai tekanan hidrostatik. Tekanan pada titik B, jika ada tanah yang sebesar  $\gamma \cdot h_1$ . Tetapi karena ada tanah dan air ini akan melewati jalan sepanjang AB dan dengan sendirinya akan mengurangi energinya ( untuk di ubah menjadi kecepatan ) maka tekanan di B akan menjadi kecil, kurang dari  $\gamma \cdot h_1$ .



Jumlah pengurangan tekanan sebesar  $\Delta h$  di atas akan terbagi pada seluruh creep line-nya. ( ABCD). Beberapa teori untuk mencari pembagian besarnya pengurangan tekanan tersebut, antara lain :

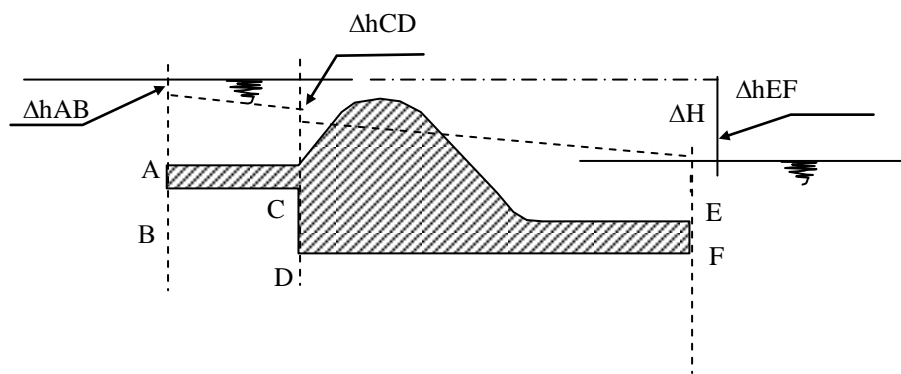
- a.teori Bligh
- b.teori Lane
- c.teori Khosla

2.1.1 Teori Bligh.

Teori ini berpendapat bahwa besarnya perbedaan tekanan di jalur pengaliran adalah sebanding dengan panjangnya jalan air ( creep line ) dan di nyatakan sebagai :

$$\Delta h = l/C \dots\dots\dots(1.30)$$

dimana :  $\Delta h$  = beda tinggi.



Gambar 1.21 : Creep Line

$$\Delta h_{AB} = l_{AB}/C ; \Delta h_{BC} = l_{BC}/C ; \Delta h_{CD} = l_{CD}/C \text{ dan seterusnya.}$$

Kalau di ambil seluruh beda tekanan dan jumlah seluruh creep line, maka rumus di atas di ubah menjadi :

$$\Delta H = L/C \dots\dots\dots(1.31)$$

Agar supaya konstruksi aman terhadap tekanan air, maka :

$$\Delta H \leq L/C \text{ atau } L \geq \Delta H.C \dots\dots\dots(1.32)$$

Harga C dapat di lihat pada tabel berikutnya.

b.Teori Lane.

Teori ini memberikan korekasi terhadap teori Bligh dengan menyatakan bahwa energi yang di butuhkan oleh air untuk melewati jalan yang vertikal lebih besar dari jalan horizontal, dengan perbandingan 3 : 1.

Jadi anggapanya adalah  $L_v = 3.L_h$  untuk suatu panjang yang sama.

Sehingga rumus Bligh di rubah menjadi :

$$H = ( L_v + 1/3 L_h ) /C \dots\dots\dots(1.33)$$

$$\text{atau } L = L_v + 1/3 L_h \geq C \times \Delta h \dots\dots\dots(1.34)$$

Harge C untuk Bligh dan Lane berlainan. Sebagai catatan untuk bilangan yang bersudut 45° atau lebih terhadap bilangan horizontal di anggap sebagai bilangan vertikal. Sedangkan yang bersudut kurang dari 45° dari bilangan horizontal, di anggap sebagai horizontal.

**TABEL : WEIGHTED CREEP RATIO**

BAHAN	C (Lane)	C (Bligh)
pasir amat halus	8,5	18
pasir halus	7,0	15
pasir sedang	6,0	-
pasir kasar	5,0	12
Krikil halus	4,0	-
Krikil sedang	3,5	-
Krikil campur pasir	-	9
Krikil kasar termasuk batu kecil	3,0	-
Boulder, batu kecil dan krikil kasar	2,5	-
Boulder, batu kecil dan krikil	-	4-6
Lempung lunak	3,0	-
Lempung sedang	1,8	-
Lempung keras	1,8	-
Lempung sangat keras atau padas	1,6	-

**TABEL HARGA-HARGA PERKIRAAN UNTUK KOEFISIEN GESEKAN**

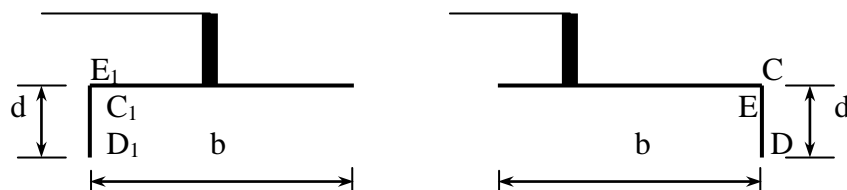
BAHAN	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 - 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

c. Teori Khosla.

Khosla berpendapat bahwa masalah bandungan dan bendung bukan merupakan suatu bentuk yang sederhana, dan oleh karenanya tidak dapat di selesaikan langsung pers Laplace. Persamaan ini merupakan persamaan analitis, di susun secara praktis dan hanya berlaku untuk keadaan tanah yang homogen. Sedangkan Khosla berpendapat bahwasusunan tanah di bawah bangunan air sangat bervariasi.

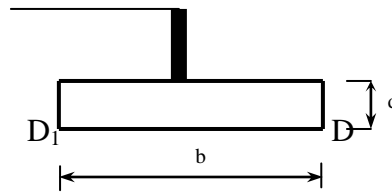
Beberapa bentuk standar yang di berikan Khosla, adalah :

- Lantai horizontal lurus, ketebalannya di abaikan dengan cukup memasang sheet pile pada ujung-ujungnya.



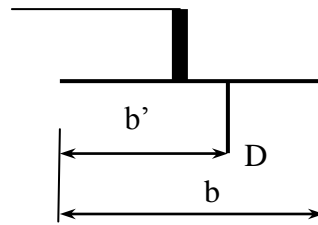
**Gambar 1.22 : Lantai bendung dengan sheet pile**

- Lantai horijontal lurus yang mempunyai tekanan kebawah, tidak memakai cut of vertikal.



**Gambar 1.23 : Lantai bendung tanpa cut of vertical**

- Lantai horijontal lurus, ketebalannya di abaikan cukup memasang beberapa sheet piles tengah.



**Gambar 1.24 : Lantai bendung dengan beberapa sheet piles**

Biasanya kontruksi gedung di buat dengan memadukan ketiga bentuk tersebut di atas. Pan Jang dari seluruh lantai di lengkapi dengan beberapa sheet piles. Agar suatu bangunan air aman terhadap bahaya seepage maka Khosla mengemukakan beberapa syarat yang harus dipenuhi, seperti berikut ini :

- Harus mempunyai *pile* yang dalamnya  $>$  *maximum depth of scour*
- Harus mempunyai *safe exit gradient* (*exit gradien*  $<$  *Cricakal Exit Gradient*)
- Harus terdapat keseimbangan ( minimal ) antara berat tubuh gedung dengan *uplift-pressure* pada tiap titik.

1) *Maximum Depth of Scour*, dapat dicari dengan persamaan Lacey, sebagai berikut :

$$R = 1,35 ( q^2/f )^{1/3} \dots\dots\dots(1.35)$$

Dimana :R = Maximum Depth of Scour, ( m )

Q = Debit persatuan lebar, ( m<sup>3</sup>/det )

$$F = \text{Material factor} = 1,75\sqrt{d_{mn}} \dots\dots\dots(1.36)$$

d<sub>mn</sub> = Diameter rata-rata partikel tanah ( mm )

2) *Safe Exit Gradien* dari Khosla.

Tabel : *Safe exit gradient*

Type Of Material	Safe Exit Gradient
Shingle (kerikil)	1/4 sampai 1/5
Coarse sand (pasir kwarsa)	1/5 sampai 1/6
Fine sand (pasir lepas)	1/6 sampai 1/7

Untuk menghitung besarnya Exit Gradien, Khosla memberikan rumus sebagai berikut :

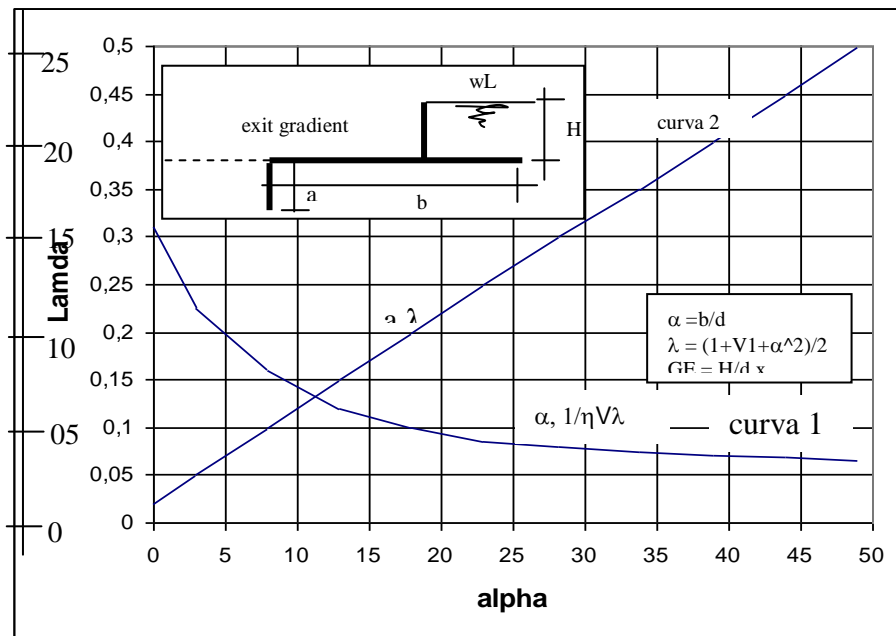
$$G_E = \frac{H}{d} \left( \frac{1}{\eta\sqrt{\lambda}} \right) \dots\dots\dots(1.37)$$

Dimana :  $G_E$  = Exit gradient  
 $H$  = Perbedaan head Maximum  
 $d$  = Dalamnya pile.

$$\lambda = \frac{1 + \sqrt{1 + \alpha^2}}{2} \dots\dots\dots(1.38)$$

$\alpha$  =  $b/d$   
 $b$  = Panjang total bendung.

Harga  $\frac{1}{\eta\sqrt{\lambda}}$  dapat di lihat dari monogram di bawah ini.



Gambar 1.25 : Grafik Khosla's Safe exit gradient

### 3) Uplift Pressure

Menurut Khosla, dalam perhitungan Uplift – Pressure mengalami 3 koreksi, yaitu :

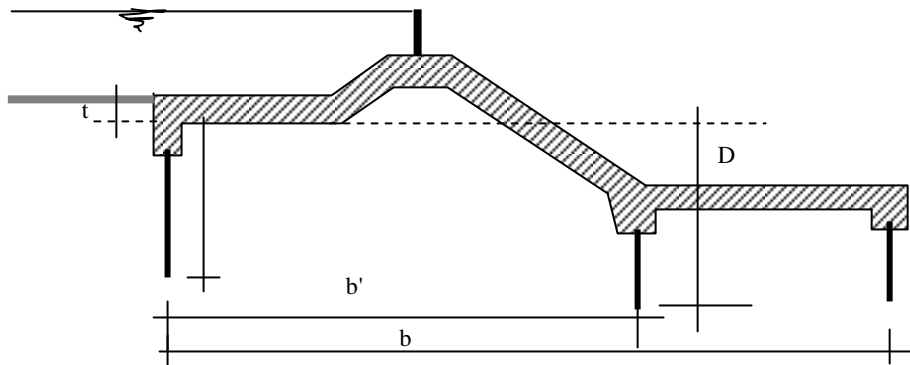
- Koreksi terhadap pengaruh ‘Sheep Pile’
- Koreksi terhadap pengaruh “ketebalan lantai”
- Koreksi terhadap pengaruh “kemiringan lantai”

▪ Koreksi terhadap pengaruh “Sheet Pile”

$$C_1 = 19\sqrt{D/b} \left( \frac{d + D}{b} \right) \dots\dots\dots(1.39)$$

Dimana :  $C_1$  = koreksi pengaruh  
 $D$  = dalamnya pile yang berpengaruh, diukur dari pile yang terpengaruh (dikoreksi)  
 $d$  = Dalamnya pile yang terpengaruh ( dikoreksi )

- b = Panjang total bendung
- b` = Jarak antara pile yang bersangkutan.



**Gambar 1.26 : Koreksi pada Uplift pressure**

- *Koreksi Terhadap Pengaruh “Ketebalan Lantai”*

Pada dasarnya koreksi terhadap pengaruh ketebalan lantai ini, merupakan hasil interpolasi dari prosentase uplift yang bekerja pada titik sheet pile dibawahnya. Titik E dan C mengalami koreksi uplift akibat pengaruh ketebalan lantai di atasnya, yang besarnya adalah:

$$Koreksi = \frac{\phi D1 - \phi C1}{d} \cdot xt \dots\dots\dots(1.40)$$

- dimana :
- φ D1 = besarnya prosentase uplift di titik D1
  - φ C1 = besarnya prosentase uplift di titik C1
  - d = dalamnya sheet pile
  - t = tebal lantai

koreksi pada titik E dan C mempunyai harga sama, bedanya pada titik E mempunyai harga minus (-), karena aliran menuju titik E dan pada titik C mempunyai harga positif (+) karena alirannya meninggalkan titik C.

- *Koreksi terhadap pengaruh “Kemiringan Lantai”*

Koreksi ini mempunyai harga (+) jika down slope dan mempunyai harga (-) jika up slope. Menurut Khosla harga koreksi itu adalah sebagai berikut :

Tabel : Variasi kemiringan lantai terhadap faktor koreksi (k)

Slope vertikal : horizontal	Correction % for pressure k
1 : 1	11,20
1 : 2	6,50
1 : 3	4,50
1 : 4	3,30
1 : 5	2,80
1 : 6	2,50
1 : 7	2,30
1 : 8	1,00

Contoh :

$$C_3 = k (b_s/b_1) \dots\dots\dots(1.41)$$

Dimana :  $C_3$  = koreksi pengaruh

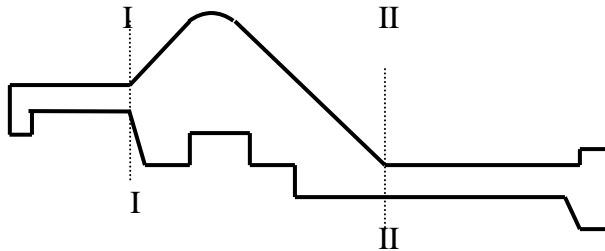
$k$  = faktor koreksi

$b_s$  = jarak horizontal slope, (m)

$b_1$  = jarak antara pile, (m)

**M. Stabilitas Bendung**

Dalam peninjauan stabilitas bendung, maka potongan-potongan yang di tinjau terutama adalah potongan-potongan I-I dan II-II karena potongan ini adalah yang terlemah. Potongan lain yang perlu di tinjau akan di jelaskan di belakang.



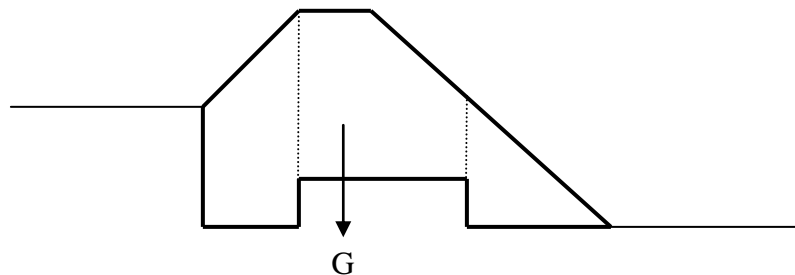
**Gambar 1.27 : Potongan terlemah pada Bendung**

1. Gaya-gaya yang bekerja.

Sebuah bendung akan menderita tekanan gaya-gaya seperti gaya berat, gaya gempa, tekanan lumpur, gaya hidrostatis dan gaya uplift-pressure.

a. Gaya berat.

Gaya berat ini adalah berat dari kontruksi, berarah vertikal ke bawah yang garis kerjanya melewati titik berat kontruksi.



**Gambar 1.28 : Gaya berat tubuh bendung**

Untuk memudahkan perhitungan, biasanya dibagi-bagi yang berbentuk segitiga-segitiga, segi empat atau trapesium. Karena peninjauannya adalah tiap lebar 1 meter, maka gaya yang di perhitungkan adalah luas bidang kali berat jenis kontruksi ( untuk pasangan batu kali biasanya di ambil 1,80 ).

b. Gaya gempa.

Untuk daerah-daerah yang banyak gunung berapinya seperti di Indonesia, maka gaya gempa harus di perhitungkan terhadap kontruksi.

Gaya gempa sebesar,  $K = f \cdot G$

Dimana :  $f$  = koefisien gempa.

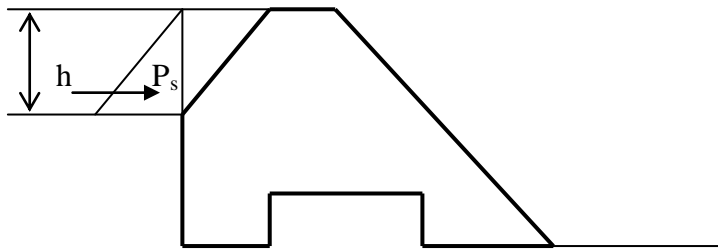
$G$  = berat kontruksi.

Gaya gempa ini berarah horizontal, kearah yang berbahaya ( yang merugikan ), dengan garis kerja yang melewati titik berat kontruksi. Sudah tentu juga ada komponen vertikal, tetapi ini relatif tidak berbahaya di dibandingkan dengan komponen yang horizontal.

Harga  $f$  tergantung dari lokasi tempat kontruksi sesuai dengan peta zone gempa.

c. Tekanan Lumpur.

Apabila bendung sudah ber-exploitasi, maka akan tertimbun endapan di depan bendung. Endapan ini di perhitungkan sebagian setinggi mercu.



**Gambar 1.29 : Tekanan lumpur**

$$P_s = 1/2 \cdot \gamma_s \cdot h^2 \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) \dots\dots\dots(1.42)$$

Dimana :  $\gamma_s$  = b.d. lumpur (biasanya di ambil 1,6)

$\varphi$  = sudut geser alam dari silt (*repose angle*)

untuk silt diambil  $\varphi = 30^\circ$

$$\left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) = \left( \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} \right) = 1/3 \rightarrow P_s = 1/6 \cdot \gamma_s \cdot h^2$$

d. Gaya hidrostatis.

Sebagaimana akan tercantum dalam syarat-syarat stabilitas nanti, maka harus di tinjau pada waktu air banjir dan pada waktu air normal ( air di muka setinggi mercu dan di belakang kosong).

Di samping itu di tinjau pula terhadap pengaliran dimana mercu tenggelam dan mercu tidak tenggelam.

1) Mercu tidak tenggelam.

$$W_1 = 1/2 \cdot \gamma \cdot a \cdot h$$

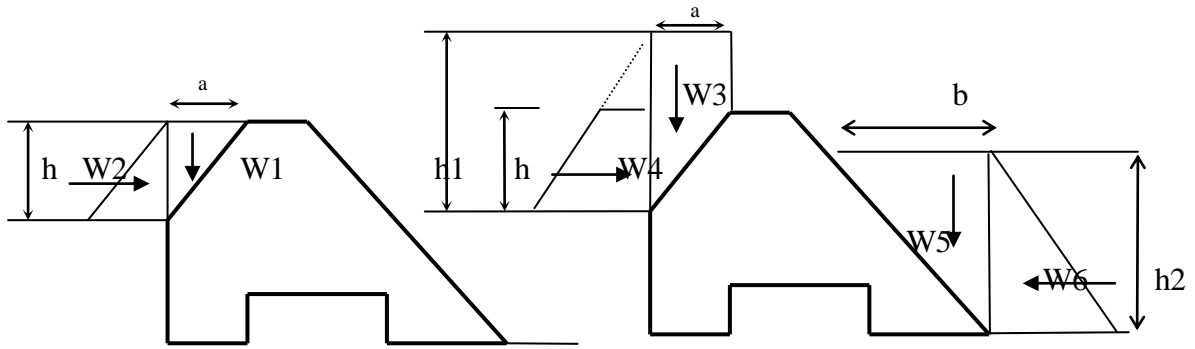
$$W_2 = 1/2 \cdot \gamma \cdot h^2$$

$$W_3 = 1/2 \cdot \gamma \cdot a \cdot (2h_1 - h)$$

$$W_4 = 1/2 \cdot \gamma \cdot h \cdot (2h_1 - h)$$

$$W_5 = 1/2 \cdot \gamma \cdot b \cdot h_2$$

$$W_6 = 1/2 \cdot \gamma \cdot h_2^2$$

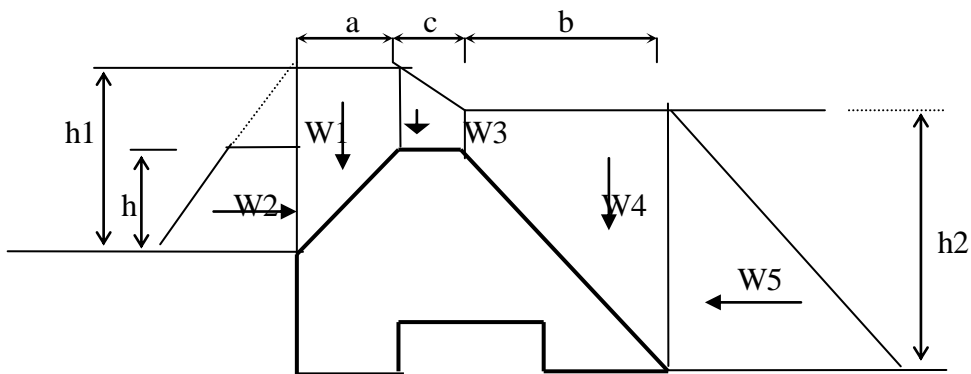


**Gambar 1.30 : Gaya hidrostatis kondisi air normal dan banjir**

Untuk mercu tidak tenggelam pada saat air banjir sebenarnya ada lapisan air yang mengalir diatas mercu. Tetapi karena lapisan ini biasanya tidak tebal, dan di samping itu kecepatannya besar, maka untuk keamanan laoisan ini tidak di perhitungkan. Lain halnya dengan untuk mercu tenggelam, yang lapisannya lebih tebal.

2) Mercu tenggelam.

Pada saat air normal adalah sama dengan peristiwa mercu tidak tenggelam. Pada saat air banjir keadaannya sebagai berikut : gambar :



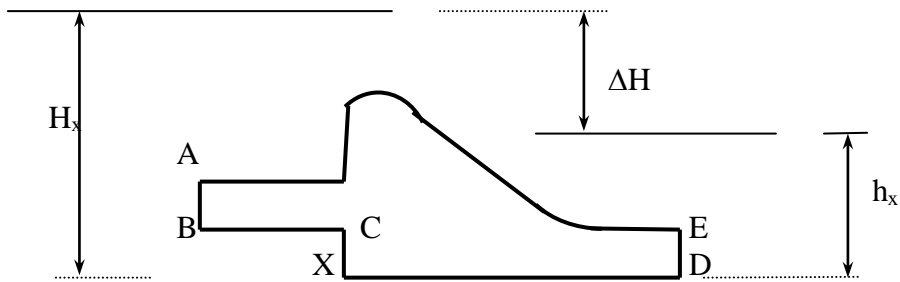
**Gambar 1.31 : Gaya hidrostatis kondisi air banjir**

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot a (2h_1 - h) \\
 W_2 &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h (2h_1 - h) \\
 W_3 &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot c (h_1 - h + d) \\
 W_4 &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot b (h_2 + d) \\
 W_5 &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h_2^2
 \end{aligned}$$

f. Uplift – pressure.

Untuk ini harus di cari tekanan pada tiap-tiap titik sudut, baru kemudian bisa di cari besarnya gaya yang bekerja pada tiap-tiap bidang.





**Gambar 1.32 : Tekanan pada tiap titik sudut**

Secara umum besarnya tekanan pada titik X adalah :

$$U_x = \Delta H - \frac{l_x}{\Sigma L} \Delta H + h_x = \Delta H + h_x - \frac{l_x}{\Sigma L} \Delta H \dots\dots\dots(1.43)$$

$$U_x = H_x - \frac{l_x}{\Sigma L} \Delta H \dots\dots\dots(1.44)$$

Dimana :  $U_x$  = uplift – pressure titik X.

$H_x$  = tingginya titik X terhadap air di muka.

X = panjangnya creep line sampai ke titik X ( ABCX ).

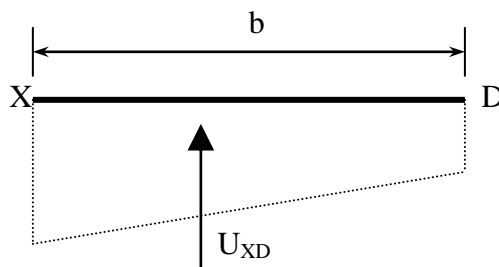
L = jumlah panjang creep line ( ABCXDE )

H = beda tekanan.

Dengan demikian maka besarnya tekanan tiap-tiap titik akan dapat di ketahui.

Di lihat dari rumus di atas maka teoritis uplift-pressure kemungkinan dapat bernilai positif maupun negatif. Dalam hal ini tekanan negatif kenyataannya tidak akan terjadi oleh karena adanya liang-liang renik di antara butir-butir tanah, sehingga akan berhubungan dengan atmosphere.

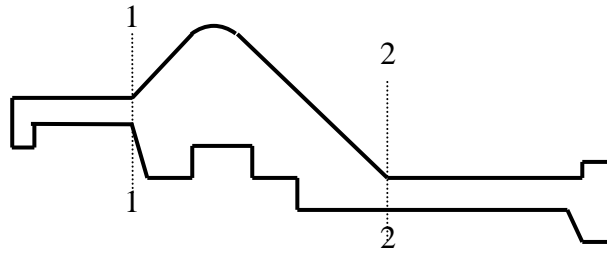
Jadi untuk tekanan negatif ini besarnya di anggap nol.



**Gambar 1.33 : Uplift pressure**

Gaya uplift di bidang XD adalah :  $U_{XD} = 1/2.b ( U_x + U_d )$  dan bekerja pada titik berat trapesium. Untuk tanah dasar yang baik di sertai dengan drain yang baik pula maka uplift dapat di anggap bekerja 67% nya. Jadi bekerja uplift-pressure antara 67% sampai 100%.

2. Anggapan-anggapan dalam stabilitas.



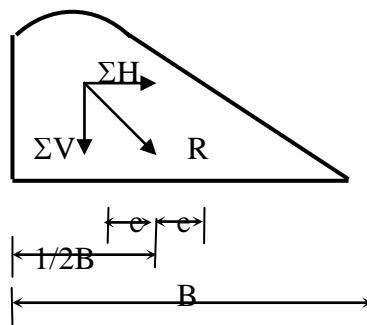
**Gambar 1.34 : Potongan yang paling lemah**

Untuk menyederhanakan perhitungan tanpa mengurangi hakekat dari perhitungan itu sendiri, maka di adakan anggapan-anggapan sbb :

- a. Peninjauan potongan vertikal adalah pada potongan-potongan yang paling lemah ( dalam hal ini potongan 1-1 dan 2-2 )
  - b. Lapisan puddel tetap berfungsi.
  - c. Titik guling pada peninjau vertikal di atas adalah titik A.
  - d. Kontruksi bagian depan bendung akan penuh lumpur setinggi mercu bendung.
  - e. Harus di perhitungkan sekurang-kurangnya pada dua keadaan muka air, yaitu muka air banjir dan muka air normal.
  - f. Ditinjau pula potongan-potongan mendatar pada kedudukan :
    - Bagian di atas lantai muka, tiap 1 meter vertikal.
    - Bagian di bawah lantai muka, dua potongan pada tempat-tempat yang di anggap terlemah.
3. Syarat-syarat stabilitas.

- a. Pada kontruksi dengan batu kali, maka tidak boleh terjadi tegangan tarik. Ini berarti bahwa resultante gaya-gaya yang bekerja pada tiap-tiap potongan harus masuk kern.

$$e = 1/6 B$$



**Gambar 1.35 : Daerah kern**

- b. Momen tahanan (  $M_t$  ) harus lebih besar dari pada momen guling (  $M_g$  ). Faktor keamanan untuk ini dapat di ambil antara 1,50 dan 2.

$$R \geq \frac{\Sigma M_t}{\Sigma M_g} \quad R = \text{faktor keamanan. ....(1.45)}$$

c. Kontruksi tidak boleh menggeser.

Faktor keamanan untuk ini dapat di ambil antara 1,2 dan 2,00.

$$F = \frac{\Sigma V \cdot f}{\Sigma H} \dots\dots\dots(1.46)$$

F = faktor keamanan.

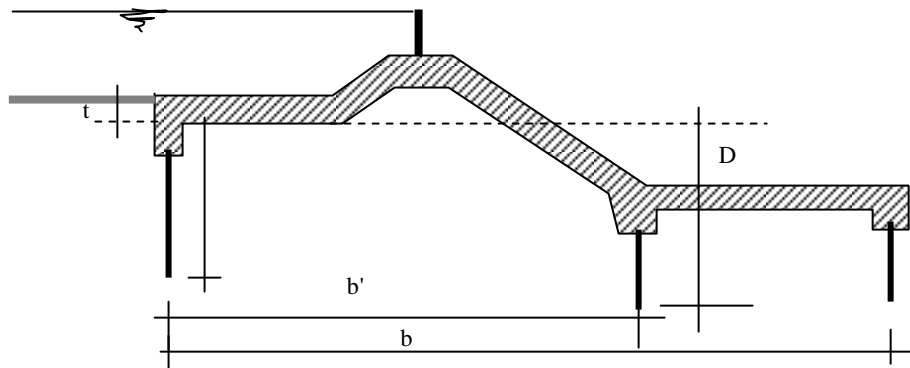
F = koef. Gesekan antara kontruksi dan dasarnya.

Harga untuk f ini seperti pada tabel 5.

d. Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tanah yang di izinkan.

$$(\sigma_g \leq \bar{\sigma}_g) \dots\dots\dots(1.47)$$

e. Setiap titik pada seluruh kontruksi tidak boleh terangkat oleh gaya keatas (balance antara tekanan keatas dan tekanan kebawah).



-oOo-

**Daftar Bacaan**

Galang Persada. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi KP-01 s/d KP-07*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Garg, Santos Kumar. 1981. *Irrigation Engineering and Hydraulic Structures*. New Delhi: Khana Publihsers

Mazumder, S.K. 1983. *Irrigation Engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited

Punmia, B.C, and Pande B.B.Lal. 1979. *Irrigation and Water Power Engineering*. New Delhi: Nai Sarak, Nem Chand Jain.

Radjulaini dan Odih Supratman. (2001) *Diktat Perkuliahan Irigasi II*, Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan FPTK UPI

Sub Direktorat Perencanaan Teknis. 1981. *Pedoman dan Kriteria Perencanaan Teknis Irigasi*. Jakarta: DPU, Ditjen Pengairan, Ditgasi.

Sudjarwadi. (1989/1990). *Teori dan Praktek Irigasi*. Yogyakarta: PAU Ilmu Teknik UGM.

Varshney, R.S, et al. 1979. *Theory & Design of Irrigation Structures*, Vol. I & II. Roorkee: Nem Chand & Bros