BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Perencanaan Stabilitas Bendung

4.1.1 Perencanaan Tubuh Bendung

Berdasarkan perhitungan elevasi dari Profil memanjang daerah irigasi maka di peroleh elevasi mercu sebesar 139.39 m

- Tinggi bendung (P) = Elev. mercu bendung – Elev. lantai bendung

  = 139.39 – 136.82

  = 2.57 ~ 2.60 m

- Kemiringan (i) = (Elv. Hulu sungai – Elv. Hilir sungai)/Jarak Sungai

  = (1500 – 438)/11750

  = 0.09038

- Lebar sungai rata-rata = 30 m

- Lebar bendung (Bn) = untuk perencanaan bendung

  Lebar bendung diambil sama dengan lebar sungai.

- Lebar penguras (b) = 1.5 m ...di buat 1 pintu

- Tebal pilar (t) = 1 m

➢ **Lebar efektif bendung**

Untuk menghitung lebar efektif bendung digunakan rumus

Beff = $Bn – 2 ((n \times Kp) + Ka) H1 - \sum t – 0.2 \sum b$

Dimana :

Beff = Lebar bendung efektip

Bn = Lebar bendung

n = Jumlah pilar

Kp = Koefisien konstraksi pilar

Ka = Koefisien konstraksi pangkal bendung

H1 = Tinggi energi (m)

t = Tebal pilar (m)

b = Lebar pintu penguras (m)

Tabel 4.1 Harga – harga koefisien kontraksi

Jenis Pilar	**Kp**
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut – sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0.1 dari tebal pilar	0.02
Untukl pilar berujung bulat	0.01
Untuk pilar berujung runcing	0
Jenis pangkal tembok	**Ka**
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90^o kearah aliran	0.20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90^o ke arah aliran dengan 0.5 > r >0.15 H1	0.10
Untuk pangkal tembok bulat dimana r > 0.5 H1 dan tembok hulu tidak lebih dari 45^o kearah aliran	0

Diketahui :

Lebar bendung = 30 m

n = 2 buah

Kp = 0.01

Ka = 0

t = 1 m

b = 1.5 m

$\sum t$ = 1 x 2 = 2 m

$\sum b$ = 1 x 1.5 = 1.5 m

Beff = Bn – 2 ((n x Kp) + Ka)H1 - $\sum t$ – 0.2 $\sum b$

= 30 – 2 ((2 x 0.01) +0) H1 – 2 – (0.2 x 1.5)

= 27.7 – 0.04 H1

- **Perhitungan tinggi muka air di atas mercu**

Rumus pengaliran :

$Q_r = C_d \times 2/3 \times \sqrt{((2/3) \times g)} \times Beff \times h^{1.5}$

Dimana :

Q = Debit (m3/det)

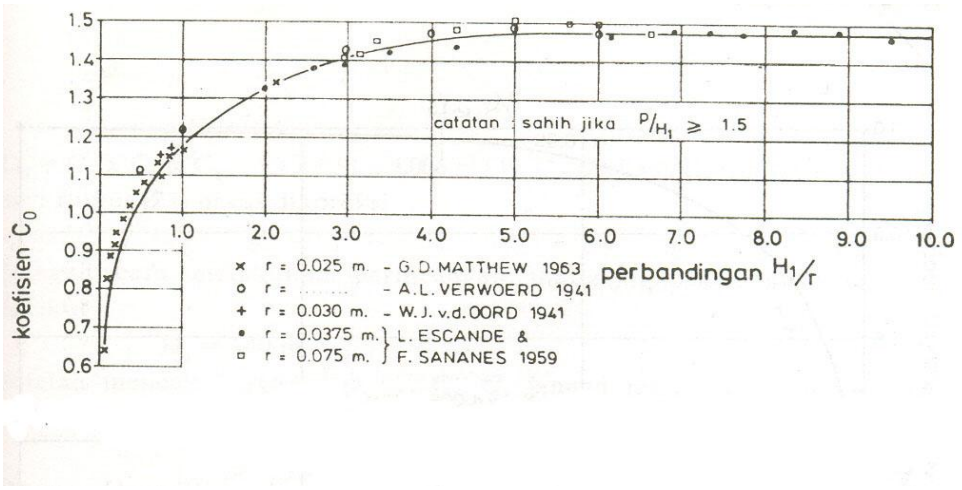
Cd = Koefisien debit ($Cd = C_o \times C_1 \times C_2$)

g = Gravitasi (m/det2)

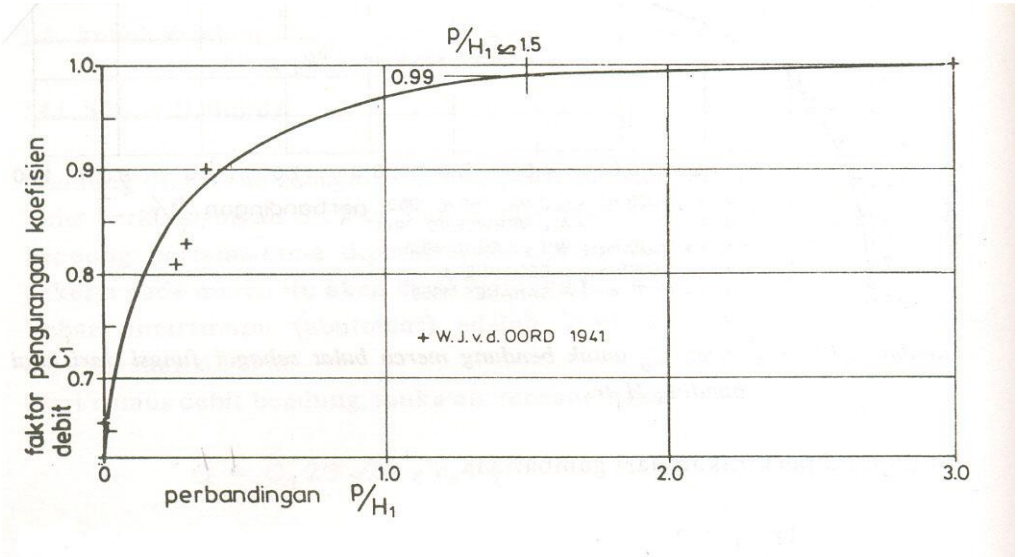
Beff = Lebar efektif mercu bendung (m)

h1 = Tinggi (muka air banjir) diatas mercu bendung (m)

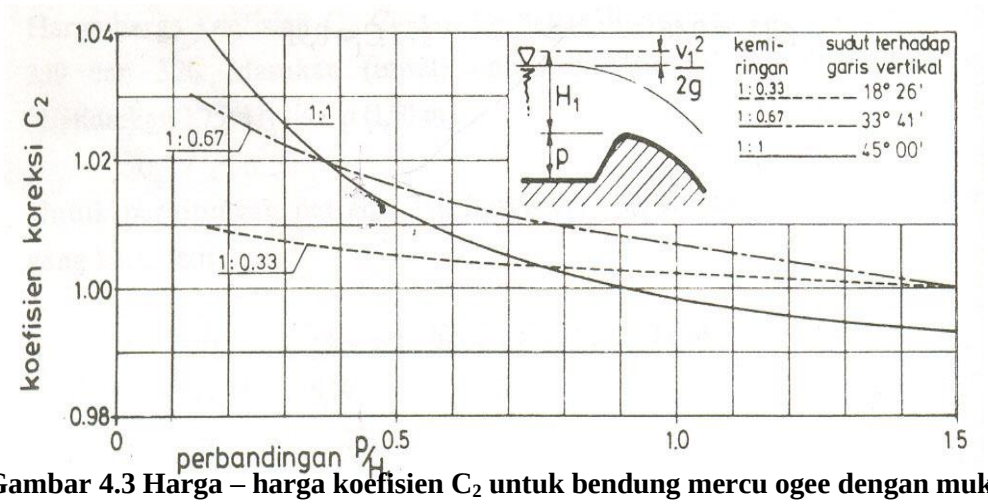
Harga Cd diperoleh dari grafik di bawah ini



Gambar 4.1 Harga – harga Co untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan h1/r



Gambar 4.2 Koefisien C_1 sebagai fungsi perbandingan P / h1



Gambar 4.3 Harga – harga koefisien C_2 untuk bendung mercu ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR 1960)

Harga h1 saling berkaitan dengan koefisien debit Cd sedangkan persamaan aliran debit melalui bendung berkaitan juga dengan h1 dan lebar efektifnya, maka untuk dapat menyelesaikan persamaan tersebut diatas dilakukan dengan cara coba-coba sebagai berikut :

Percobaan 1

Diketahui : P = 2.60 m Q = 280.38 m^3/det

Dicoba h1 = 2.5 m 60 r = 1.40 m

Beff = 30 – (0.04 x 2.5)

= 29.9 m

h1/r = 2.5 /1.4 = 1.786 C_o = 1.290 (dari grafik diatas)

P/h1 = 2.60 / 2.5 = 1.04 C_1 = 0.957 (dari grafik diatas)

P/h1 = 2.60 / 2.5 = 1.04 C_2 = 1.002 (dari grafik diatas)

Maka harga Cd = C_o x C_1 x C_2

= 1.290 x 0.957 x 1.002

= 1.2369 ~ 1.24

Rumus pengaliran

$Q_r = C_d \times 2/3 \times \sqrt{((2/3) \times g)} \times Beff \times h^{1.5}$

$Q_r = 1.24 \times 2/3 \times \sqrt{((2/3) \times 9.81)} \times 29.9 \times 2.5^{1.5}$

$= 250.53\ m^3/det$

Percobaan 2

Diketahui : P = 2.60 m Q = 280.38 m^3/det

Dicoba h1 = 2.68 m r = 1.40 m

Beff = 30 – (0.04 x 2.68)

= 29.89 m

h1/r = 2.68 /1.4 = 1.914 C_o = 1.31 (dari grafik diatas)

P/h1 = 2.60 / 2.68 = 0.970 C_1 = 0.948 (dari grafik diatas)

P/h1 = 2.60 / 2.68 = 0.970 C_2 = 1.006 (dari grafik diatas)

Maka harga Cd = $C^o \times C^1 \times C^2$

= 1.31 x 0.948 x 1.006

= 1.249 ~ 1.25

Rumus pengaliran

$Q_r = C_d \times 2/3 \times \sqrt{((2/3) \times g)} \times Beff \times h^{1.5}$

$Q_r = 1.25 \times 2/3 \times \sqrt{((2/3) \times 9.81)} \times 29.9 \times 2.68^{1.5}$

$= 280.379\ m^3/det$

$H_{d1} = H_1 - H_{a1}$

$H_{a1} = V^2/(2.g)$.....$V = Q_{50} / (p + H_{d1} x B)$

Dimana

H_{d1} = Tinggi air diatas mercu (m)

h1 = Tinggi energi di atas mercu bendung (m)

V = Kecepatan aliran (m/det)

Q50 = Debit banjir periode ulang 50 tahun (m^3/det)

g = Gravitasi (m/det^2)

B = Lebar bendung (m)

P = Tinggi mercu bendung (m)

H_{d1}' = $H_1 - H_{a1}$

$=2.68 - (V^2/(2.g))$

$= 2.68 - ((280.38 / (2.60 + H_{d1} x30))/(2*9.81))$

Tabel 4.2 Coba-coba harga H_{d1}

Hd_1	V	Ha_1	Hd_1'
1	2,93	0,44	2,24
2,3	1,98	0,20	2,48
2,49	1,90	0,18	2,50
2,5	1,90	0,18	2,50

Dari trial and eror didapat nilai Hd_1 = 2.50 m

Dengan Hd_1 = 2.50 dengan radius 1.4 m tekanan negatif yang bekerja pada mercu dapat di cek.

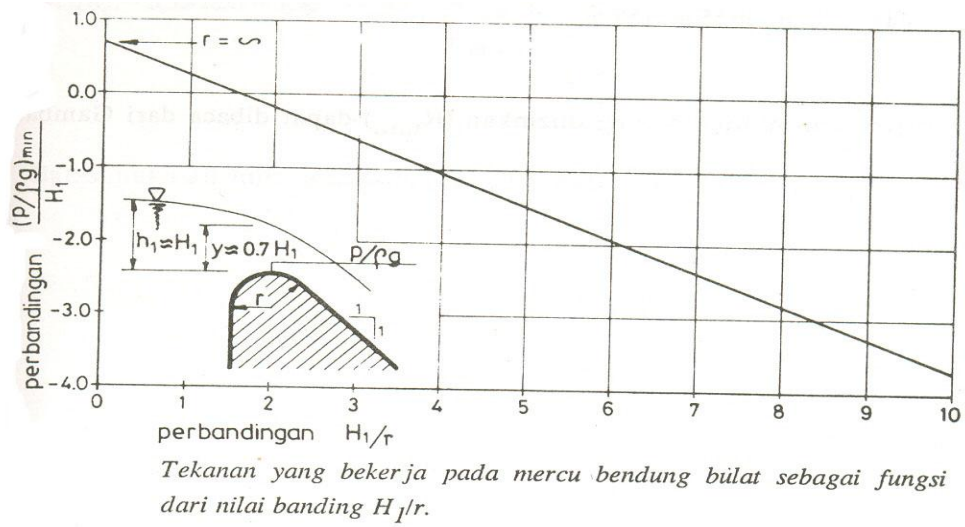
Karena bendungnya terbuat dari pasangan batu kali besar tekanan harus kurang dari -1.0 m dan apabila bendung terbuat dari beton maka tekanan tidak boleh melebihi – 4m.

Dengan H_1/r = 2.50 / 1.40

= 1.7857

Besar tekanan adalah (p/π g) / h_1 = -0.1

Jadi p/π g = -0.1 x 1.7857 = -0.178> -1 .....ok



Tekanan yang bekerja pada mercu bendung bulat sebagai fungsi dari nilai banding H_1/r.

Gambar 4.4 Harga Tekanan yang bekerja sebagai fungsi dari nilai banding H1/r

Elevasi mercu bendung = + 439.39 m, maka elevasi muka air banjir di hulu bendung = + 439.39 + 2.50

= + 441.19 m

Tinggi kecepatan

K = $V^2/2.g$

= $3.345^2/2.9.8$

= 0.571 m

- **Perhitungan Tinggi Muka Air Di Hilir Bendung**

Perhitungan dalam menentukan tinggi muka air di hilir bendung ditentukan berdasarkan rumus kontinuitas dan rumus Strickler sebagai berikut :

Q = V. A

$V = KR^{2/3}.S^{1/2}$ $\qquad R = \frac{A}{P}$

Perhitungan selanjutnya di laksanakan dengan cara coba-coba untuk setiap harga h. Setelah itu di buat lengkung debit yang merupakan hubungan antara harga h dengan Q sehingga harga h yang sama dengan harga h yang dilakukan dengan coba-coba.

Contoh perhitungan

Diketahui :

Q = 280.38 m^3/det

b = 30 m

i = 0.09038

k = 35 dari tabel koeff

m = 1

h = ..

A = $bh + mh^2$

= $h (b+ mh)$

= $h *(30 + (1+h)$

= $30 h + h^2$

P = $b + 2h \sqrt{(1+m^2)}$

= $30 + 2 h \sqrt{(1 + 1^2)}$

= 30 + 2.828 h

R = A / P

= $(30 h + h^2)/(30 + 2.828 h)$

V = $K * R^{(2/3)} * S^{(1/2)}$

= $35 * ((30 h + h^2)/(30 + 2.828 h))^{2/3} * 0.09038^{0.5}$

Q = A * V

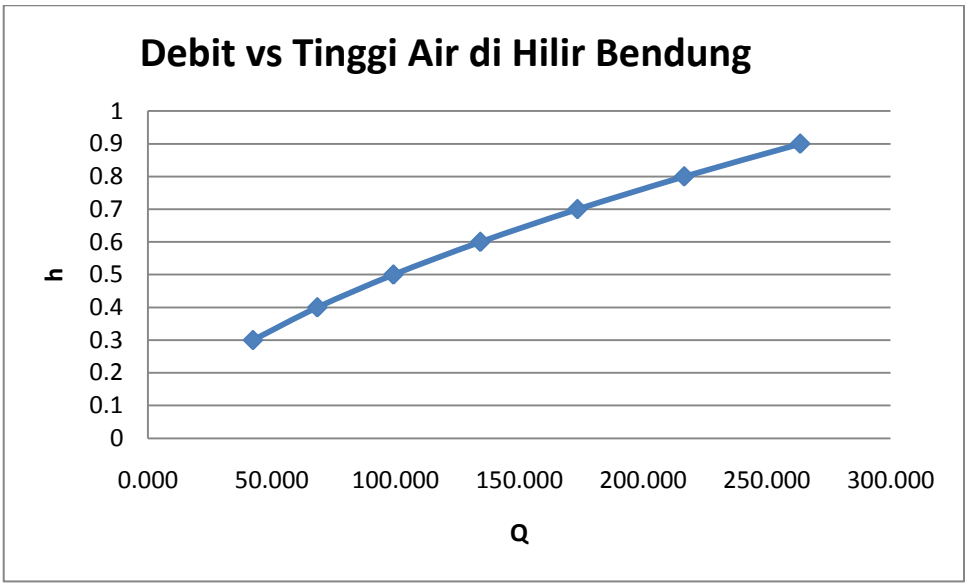
Dicoba dengan h = 0.5 m

Q = $(35* ((30 * 0.5+ (0.5)^2)/(30 + 2.828 (0.5)))^{2/3} * 0.09038^{0.5}) * (0.5 *30) + h^2$

= 99.114 m^3/det

Tabel 4.3 Perhitungan h Dengan Cara Coba-coba

Q	k	V	A	m	P	R	b	h	i
m^3/det	Tabel	m/det	m^2		m	m	m	m	
42,353	35	4,659	9,09	1	30,848	0,294667	30,0	0,3	0,09038
68,370	35	5,622	12,16	1	31,131	0,390605	30,0	0,4	0,09038
99,115	35	6,499	15,25	1	31,414	0,485452	30,0	0,5	0,09038
134,240	35	7,312	18,36	1	31,697	0,579238	30,0	0,6	0,09038
173,480	35	8,073	21,49	1	31,980	0,671991	30,0	0,7	0,09038
216,625	35	8,792	24,64	1	32,262	0,763737	30,0	0,8	0,09038
263,500	35	9,475	27,81	1	32,545	0,854504	30,0	0,9	0,09038



Grafik 4.1 Grafik hubungan debit dengan h

Jadi tinggi h_2 di hilir bendung = 0.95 m

Elevasi dasar sunga di hilir bendung 134.87 + 0.95= +135.82

Tinggi kecepatan

K = $V^2/2.g$

= $9.702^2/2.9.8$

= 4.802 m

4.1.2 Perhitungan Kolam Olak

Untuk menentukan lantai kolam olak, dicoba dengan peredam energi type Bucket.

Tinggi air diatas mercu h_1 = 2.50 m

Kecepatan diatas mercu (v_o) = Q / (h*beff)

= 280.38 / (2.50 * 29.89)

= 3.752 m/det

Tinggi air dihilir (h) = 0.95 m

A = $bh + mh^2$

= h (b+ mh)

= 0.95 * (30 + (1*0.95))

= 29.4025 m^2

P = $b + 2h \sqrt{(1+m^2)}$

= $30 + 2* 0.95 \sqrt{(1 + 1^2)}$

= 32.687 m

R = A / P

= 0.8995

V = $K * R^{(2/3)} * S^{(1/2)}$

= $35 * 0.8995^{2/3} * 0.09038^{0.5}$

= 9.8047 m/det

q = Q / b_{eff}

= 280.38 / 29.89

= 9.38 m^3/det/m

Kedalaman kritis

$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$

$$= \sqrt[3]{\frac{9.38^2}{9.8}}$$

=2.077 m

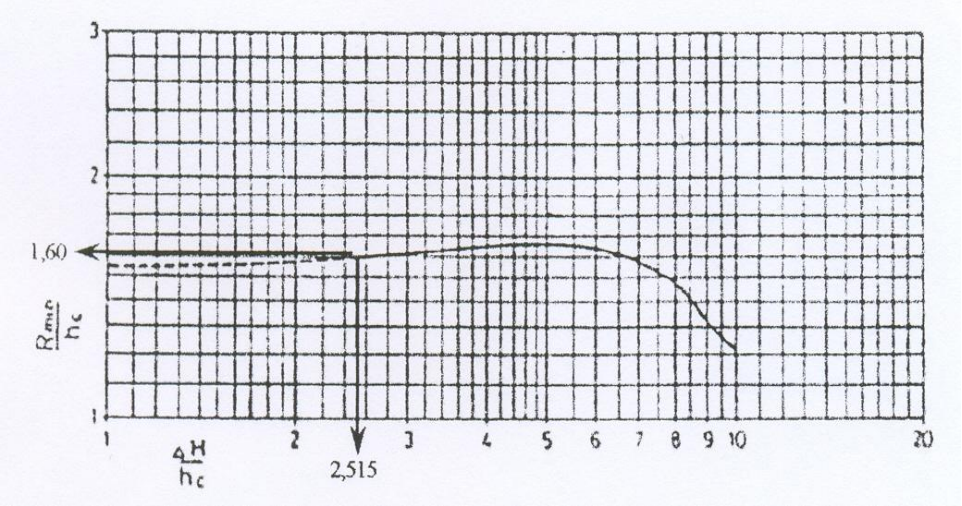
Perbedaan tingkat energi

Maka (ΔH) = (Elv. Muka air banjir di hulu+k)–(Elv. Muka air banjir di hilir+k)

= (141.9+0.571) – (135.82+4.082)

= 2.569 m

- Mencari Jari – jari minimum bak (Rmin)



Gambar 4.5 Jari- jari minimum bak (R min)

$\Delta H/h_c$ = 2.539/2.077

= 1.222

Dari grafik diperoleh

R_{min}/h_c =1.55.....R_{min} = 1.55 * h_c

= 1.55 * 2.077

= 3.21 m~ 3.5 m

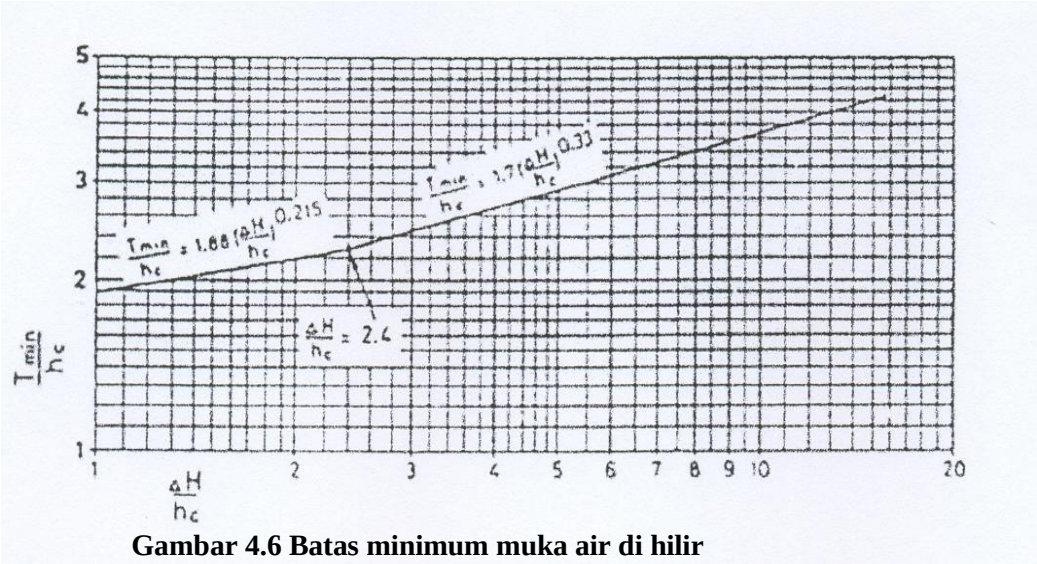
a = 0.1 * R_{min}

= 0.1 * 3.5

= 0.35 m

Maka diambil R = 3.5 m

- Batas minimum tinggi air di hilir (Tmin)



Gambar 4.6 Batas minimum muka air di hilir

$\Delta H/h_c$= 2.539/2.077

= 1.222

Dari grafik diperoleh

T_{min}/h_c = 1.98..... T_{min} = 1.98 * h_c

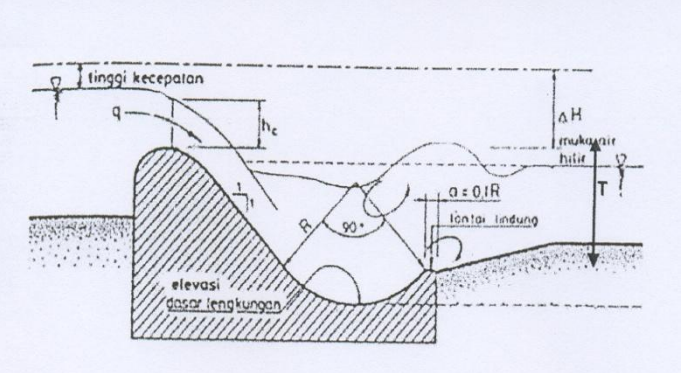
= 1.98 * 2.077

= 4.11 m

Ellev. Kolam olak = Elv. Muka air banjir di hilir – Tmin

= 135.82 – 4.11

= + 131.71 m



Gambar 4.7 Skema Bendung

4.1.3 Bangunan Pengambilan

Dari data perhitungan sebelumnya :

NFR = 1.282 l/det/ha

Q aliran= 3.137 m^3/det

A = 27.61 ha

B = 2 m

Rumus pengaliran melewati pintu

$$Q = 1.71 * b.H^{\frac{2}{3}}$$

Maka tinggi bukaan (a)

$$H = \left(\frac{3.137}{1.71x2} \right)^{2/3} = 0.95m$$

4.1.4 Bangunan Penguras

Bangunan penguras di buat di bagian kanan bendung dengan lebar pintu penguras (b) = 1.5 meter di buat satu buah. Dasar bangunan penguras di tempatkan pada lantai sungai + 136.82 m

- Kecepatan untuk pengurasan

Kecepatan aliran yang diperlukan untuk pembilasan di hitung dengan rumus :

Vc = 1.5 x C x $d^{1.5}$ (Desain step Ir Mashudi)

Dimana

Vc = Kecepatan kritis yang diperlukan untuk pengurasan

C = Koefisien yang tergantung dari bentuk sedimen diambil = 5

D = Diameter maksimum sedimen = 0.1

Vc = 1.5 x 5 x $0.1^{1.5}$

=2.370 m/det

- Debit minimum untuk pengurasan

qm = Vc^3/g

Dimana :

qm = Debit minimum pengurasan per meter

Vc = Kecepatan kritis untuk pengurasan

g = Gravitasi

qm = $2.370^3/9.81$

= 1.3569 m^3/det/m

→ qm = 1.3569 x 1 (lebar pintu)

= 1.3569 m^3/det

Kecepatan aliran pada saat di buka penuh dihitung dengan rumus :

$V = C\sqrt{2xgxZ}$ Z = 1/3 *H

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

H = Tinggi bukaan pintu di buka penuh

436.96 – 435.66 = 1.3 m

Z = 1/3 * 1.3

= 0.43333 m

V = 0.8 √(2 * 9.8 * 0.4333)

= 2.33137 m/det > 2.370 m/det ....ok

Debit minimum pengurasan :

Q = V x (H x b)

= 2.331 x (1.3 x 1)

= 3.0303 m^3/det

Cek..

q = Q/b

= 3.0303 / 1

= 3.0303 m^3/det > qm = 1.3569 m^3/det.....ok

4.2 Stabilitas Tubuh Bendung

4.2.1 Perhitungan Lantai Muka

Untuk menghitung panjang garis/line creep line dibawah pondasi menggunakan rumus Lane sesuai dengan syarat KP – 02 mengenai stabilitas terhadap erosi bawah tanah (piping).

Rumus Lane : Rumus Bligh:

$$\frac{Lv + \frac{1}{3} Lh}{C} \geq \Delta H$$

L=C*ΔH

Dimana :

L = Panjang Creep line

Lv = Panjang Creep line vertikal (m)

Lh = Panjang Creep line horizontal (m)

C = Koefisien lane /Weight Creed Ratio

ΔH = Beda Tinggi M.a di hulu dan hilir

Tabel 4.4 Weight Creed 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	-

Data sungai jenis material sungai adalah jenis sungai torensial dengan angkutan sediment dasar dominant krikil dan pasir sehingga Weight Creed Ratio (c) dikategorikan pada jenis Medium Grvel dengan angka koefisien lane 3.5

a. Untuk kondisi normal

ΔH = Elevasi mercu – Elevasi dasar kolam olak

= 139.39 – 131.71

= 7.68 m

Lv = 42. m (dicoba-coba)

Lh = 35 m (dicoba-coba)

Maka :

$$\frac{Lv + \frac{1}{3} Lh}{\Delta H} \geq C$$

$$\frac{42. + \frac{1}{3} 35}{7.68} \geq 5$$

6.98≥5 ……Ok

b. Untuk kondisi air banjir

ΔH = Elevasi m.a banjir dihulu – Elevasi m.a banjir dihilir

= 141.9 – 135.82

= 6.08 m

Lv = 42 m (dicoba-coba)

Lh = 35 m (dicoba-coba)

Maka :

$$\frac{Lv + \frac{1}{3} Lh}{\Delta H} \geq C$$

$$\frac{42 + \frac{1}{3}35}{6.08} \geq 5$$

8.826≥ 5 ……Ok

4.2.2 Kontrol Tebal Lantai Belakang

Syarat tabal lantai belakang :

$$dx \geq Sx\frac{Ux - Wx}{\gamma}$$

Dimana :

dx = Tebal lantai pada titik x (m)

Ux = Gaya angkat (Up-lift) pada titik x (ton/m^2)

Wx = Kedalaman air pada titik x (m)

γ = Berat jenis pasangan batu (2.2 ton/m^3)

S = Faktor keamanan (1.5 untuk kondisi air normal dan 1.25 untuk kondisi air banjir/ekstrim)

Untuk mengitung besar tekanan ke atas dihitung dengan rumus

$$Ux = \left(Hx - \frac{lx}{\sum l} * \Delta H \right) * \gamma_{air}$$

Dimana :

Ux = Gaya angkat (uplift preassure) pada titik (ton/m^2)

Hx = Tingi titik x terhadap air muka (m)

lx = Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

∑l = Panjang total bidang kontak bendung dengan tanah (m)

ΔH = Beda tinggi energi (m)

γ_{air} = Berat jenis air (1 ton/m^3)

1. Kontrol terhadap air normal

ΔH = Elevasi mercu – Elevasi dasar kolam olak

= 139.39 – 131.71

= 7.68 m

Hx = 9.57 m

Lx = 106.5m

∑l = 116 m

Tekanan ke atas di titik x :

$$Ux = \left(9.57 - \frac{106.5}{116} * 7.68\right) * 1 = 2.519 \text{ ton /m}^2$$

Tekanan ke bawah di titik X :

γ = Berat jenis pasangan batu (2.2 ton/m^3)

Kontrol : $dx \geq S.\frac{Ux - Wx}{\gamma}$

$$2 \geq 1.5 * \frac{2.519 - 0}{2.2}$$

2 m ≥1.717 m.....Ok

Tebal lantai belakang (t) desain = 1.5 m

1. Kontrol terhadap air Banjir

ΔH = Elevasi m.a banjir dihulu – Elevasi m.a banjir dihilir

= 141.9 – 135.82

= 6.08 m

Hx = 12.07 m

Lx = 106.5 m

∑l = 116 m

Tekanan ke atas di titik x :

$$Ux = \left(12.07 - \frac{106.5}{116} * 6.08\right) * 1 = 6.488 \text{ ton /m}^2$$

Tekanan ke bawah di titik X :

Wx = Tekanan air diatas lantai kolam olak dititik x (m)

= (elev. M.a banjir hilir – Dasar kolam olak) x γ_{air}

= (135.82 – 131.71) x 1

= 4.11 ton/m^2

Kontrol : $dx \geq S.\frac{Ux - Wx}{\gamma}$

$$1.5 \geq 1.25 * \frac{6.488 - 4.11}{2.2}$$

1.5 m ≥1.351 m.....Ok

Tebal lantai belakang (t) desain = 1.5

4.2.3 Daya Dukung Tanah

Untuk menghitung daya dukung pondasi dihitung dengan rumus terzaghi berukut:

$$qu = C\ x\ Nc + \gamma_t\ x\ D\ x\ Nq + 0{,}5\ x\ \gamma_t\ x\ B\ x\ N\gamma$$

Dimana :

qu = Daya dukung batas persatuan luas (ton/m^2)

C = Kohesi tanah (tom/m^2)

γ_t = Berat jenis tanah (ton/m^3)

D = Dalam pondasi (m)

B = Lebar pondasi (m)

Nc,Nq,Nγ = Faktor daya dukung terzaghi tergantung sudut geser

Tabel 4.5 Koefisien daya dukung Terzaghi

Φ	Nc	Nq	Nγ
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	36
35	57,8	41,4	42,4
45	95,7	81,3	100,4

Data penyelidikan tanah bendung :

- Kohesi (C) = 3 t/m^2
- γ_t = 1,8 t/m^3
- D = (+136.83) – (129.72) = 7.1 m
- B = 10 m
- Sudut geser tanah Ø = 25^o
- Dari tabel terzaghi untuk Ø besarnya : 30^o

  Nc =25.1 ; Nq = 12.7 ; Nγ = 9.7

Jadi tegangan yang timbul pada tanah pondasi uplift preassure tidak diperhitungkan,maka :

$$qu = C\ x\ Nc + \gamma_t\ x\ D\ x\ Nq + 0{,}5\ x\ \gamma_t\ x\ B\ x\ N\gamma$$

$$qu = \ 0x\ 37.2 + 1.6\ x\ 7\ x\ 22.5 + 0{,}5\ x\ 1.6\ x\ 10\ x\ 19.7$$

$$qu = 0 + 252 + 157.6$$

$qu = 409.6 \ ton/m^2$

Daya dukung batas netto :

$qn \ ult = qu - \gamma_t \ x \ D$

$qn \ ult = 409.6 - 1{,}8 \ x \ 7$

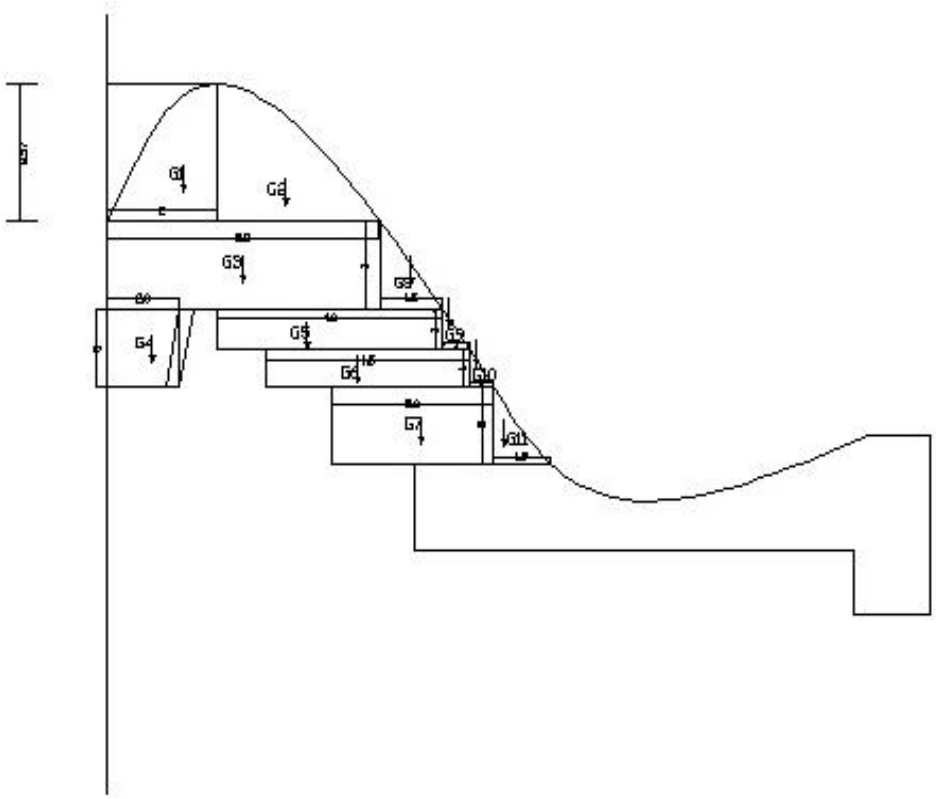
$qn \ ult = 397 \ ton/m^2$

Daya dukung ijin :

$$\bar{\sigma}_t = \frac{qu}{fk}$$

$$\bar{\sigma}_t = \frac{397}{3} = 132.333 \ ton/m^2$$

4.2.4 Gaya Akibat Berat Sendiri Bendung (weight of structur)



Gambar 4.8 Gaya berat sendiri bendung

Contoh perhitungan :

Diketahui Bj $_{pas\ batu}$ = 2.2 ton/m^3

Besarnya gaya berat sendiri segmen G1 ;

Luas = 0.5 x panjang x tinggi

= 0.5 x 2 x 2.57

= 2.57 m^2

Besar gaya = Luas x Bj $_{pas\ batu}$ x 1 *meter lebar bendung*

= 2.57x 2.2 x 1

= 5.654 ton

Momen = Gaya x jarak

= 5.654 x 8.715

= 49.2746 tm

Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan cara tabelaris

Tabel 4.6 Perhitungan gaya berat sendiri

Notasi	Luas m^2	Bj$_{pas\ batu}$	Lebar m	Jarak titik berat m	Besar gaya ton	Momen terhadap titik X t.m
G1	2.57	2.2	1	8.715	-5.654	-49.2746
G2	3.855	2.2	1	5.8567	-8.481	-49.6707
G3	5	2.2	1	7.5	-11	-82.5000
G4	4	2.2	1	9	-8.8	-79.2000
G5	4	2.2	1	7.5	-8.8	-66.0000
G6	4.5	2.2	1	4.75	-9.9	-47.0250
G7	10	2.2	1	4	-22	-88.0000
G8	0.75	2.2	1	4.33	-1.65	-7.1445
G9	0.5	2.2	1	3.33	-1.1	-3.6630
G10	0.5	2.2	1	2.33	-1.1	-2.5630
G11	1.5	2.2	1	0.66	-3.3	-2.1780
G12	10	2.2	1	1	-22	-22.0000
Jumlah	37.175				-81.785	-477.2188

4.2.5 Gaya Akibat Gempa

Perhitungan gaya gempa dapat di hitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$K = fxG$$

Dimana

K = Gaya gempa komponen horizontal

G = Berat sendiri konstruksi

F = Koefisien gempa

$$f = \frac{Ad}{g} \rightarrow Ad = n(ACxz)^m$$

Dimana

Ad = Percepatan gempa (cm/dtk^2)

n/m = koefisien untuk jenis tanah

AC = Percepatan kejut dasar (cm/det^2)

f = Koefisien gempa

g = Koefisien grafitasi (9.81 m/det^2 ~ 981 cm/det^2)

z = Koefisien zona

Tabel 4.7 Koefisien Jenis Tanah.

Jenis Tanah	n	m
Batu	2,76	0,71
Diluvium	0,87	1,05
Aluvium	1,56	0,89
Aluvium Lunak	0,29	1,32

Tabel 4.8 Periode ulang dan percepatan dasar gempa (AC)

Periode Ulang	AC (gal = cm/det^2)
20	85
50	113
100	160
500	225
100	275

Jenis tanah yang terdapat di lokasi merupakan jenis tanah batuan campuran halus sampai kasar maka di kategorikan jenis tanah diluvium maka koefisien gempanya adalah :

n = 0.87

m = 1.05

z = 0.56

AC = 113 cm/det ^{2}

Maka :

$K = fxG$

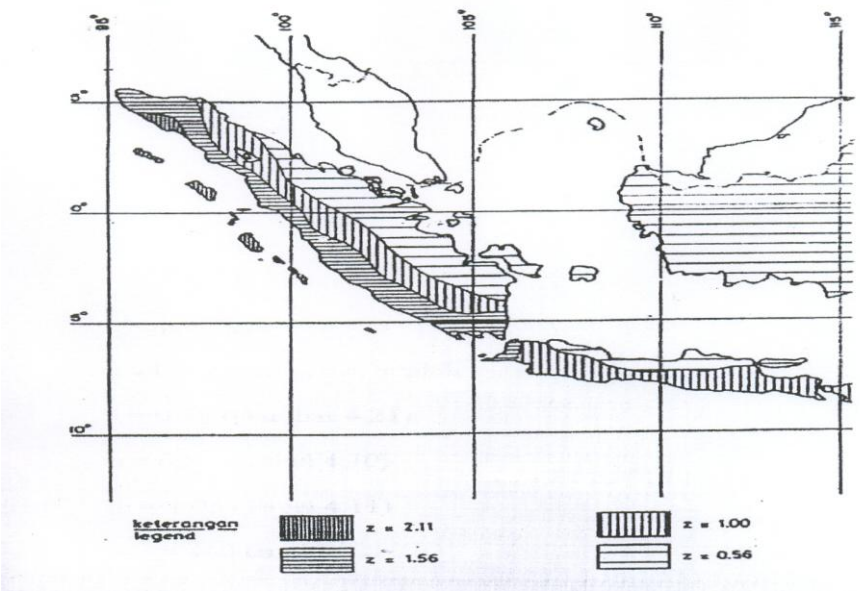
$Ad = n(ACxz)^m$

$Ad = 0.87(113x0.56)^{1.05}$

= 67.741 cm/det

$f = \frac{67.741}{981}$

= 0.0691



Gambar 4.9 Zona gempa daerah Indonesia bagian barat

Pembebanan akibat gempa

Contoh perhitungan

Diketahui :

$\gamma_{pas\ batu}$ = 2.2 ton/m^3

Besarnya gaya berat sendiri segmen K1

Luas = ½ x panjang x tinggi

= ½ x 0.98 x 2

= 0.98 m^2

Besar gaya = f x Luas x Bj $_{pas\ batu}$ x 1 *meter lebar bendung*

= 0.0691 x 2.57 x 2.2 x 1

= 0.3906914 ton

Momen = Gaya x jarak titik berat terhadap titik x

= 0.3906914x 8.3

= 3.2427 tm

Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan cara tabelaris

Tabel 4.9 Gaya gempa yang bekerja di tubuh bendung

$Bj_{pas\ batu}$	Lebar m	f	Jarak titik berat m	Besar gaya (k) ton	Momen terhadap titik X t.m
2.2	1	0.0691	8.3	0.3906914	3.2427
2.2	1	0.0691	7	0.5860371	4.1023
2.2	1	0.0691	4.5	0.7601	3.4205
2.2	1	0.0691	3	0.60808	1.8242
2.2	1	0.0691	3.5	0.60808	2.1283
2.2	1	0.0691	2.5	0.68409	1.7102
2.2	1	0.0691	1	1.5202	1.5202
2.2	1	0.0691	4.5	0.114015	0.5131
2.2	1	0.0691	3.167	0.07601	0.2407
2.2	1	0.0691	2.167	0.07601	0.1647
2.2	1	0.0691	1	0.22803	0.2280
2.2	1	0.0691	4	1.5202	6.0808
				5.6513	19.0949

Momen guling (mg) = 19.0949 t.m

4.2.6 Gaya Hidrostatis Akibat Tekanan Air (external water pressure)

Dalam perhitungan gaya hidrostatis di tinjau pada keadaan :

a. Kondisi air normal

b. Kondisi air banjir

Gaya hidrostatis di hitung dengan rumus :

$$W = Luasx\gamma_{air}x1mlebar$$

Dimana :

W = Besar gaya hidrostatis

γ_{air} = Berat jenis air (1 ton/m^3)

Contoh perhitungan pada W1 :

$W = Luas x \gamma_{air} x 1 m lebar$

$W = 3.30245 x 1 x 1 m lebar$

= 3.302 ton

Momen = W x jarak = 3.302 x 10.771 = 35.56584 t.m

Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan cara tabelaris.

Tabel 4.10 Perhitungan gaya hidrostatis pada kondisi air normal

Notasi	Luas m^2	Bj_{air}	Lebar m	Jarak terhadap titik X m	Besar Gaya		Momen terhadap titik X t.m
					v (ton)	H (ton)	
W1	3.30245	1	1	7.3		3.30245	24.108
W2	2.65	1	1	11.69	-2.65		-30.979
Jumlah					-2.65	3.30245	-6.871

Tabel 4.11 Perhitungan gaya hidrostatis pada kondisi air banjir

Notasi	Luas m^2	Bj_{air}	Lebar m	Jarak terhadap titik X m	Besar Gaya		Momen terhadap titik X t.m
					v (ton)	H (ton)	
W1	9.253	1	1	7.79		9.253	72.08087
W2	2.814	1	1	12.88	-2.814		-36.2443
W3	4.736	1	1	11.47	-4.736		-54.3219
W4	9.123	1	1	3.14	-9.123		-28.6462
W5	6.806	1	1	0.83	-6.806		-5.64898
W6	8.405	1	1	1.37		-8.405	-11.5149
Jumlah					-23.479	0.848	-64.2954

4.2.7 Gaya Hidrolis Akibat Tekanan Air (Uplift Pressure)

Untuk menghitung gaya uplift pressure perlu dicari terlebih dahulu tekanan pada tiap titik sudut, kemudian dicari besarnya gaya yang bekerja pada tiap titik sudut, kemudian dicari besarnya gaya yang bekerja pada tiap-tiap bidang. Secara umum besarnya tekanan dititik x adalah

$$Ux = Hx - \frac{lx}{\sum l} x\Delta H$$

Dimana

Ux = Gaya angkat pada titik x (ton/m^2)

Hx = Tinggi titik x terhadap air muka (m)

lx = Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

$\sum$l = Panjang total bidang kontak bendung dengan tanah (m)

ΔH = Beda tinggi energi (m)

Perbedaan tekanan atau head di bagian hulu mercu bendung dengan bagian hilir mengakibatkan terjadinya rembesan di bagian bawah konstriksi bendung dari hulu ke hilir. Bila energi aliran bawah tanah ini cukup besar, maka akan terjadi erosi bawah tanah (piping). Jalur rembesan sepanjang bidang kontak antara konstruksi bendung dengan tanah (creep line) harus cukup panjang agar energi aliran menjadi lemah dan menghindari terjadinya piping.

Creep line dapat diperpanjang dengan pembuatan :

1. Dinding halang (Cut off wall)
2. Lantai muka (Up stream apron)

Menurut teori Bligh panjang creep line sebanding dengan perbedaan tekanan tanah di hulu dan hilir bendung.

$L \geq C.\Delta H$

Dimana

L = Panjang creep line

C = Creep line ratio

ΔH = Perbedaan tekanan (hulu dan hilir)

$L \geq C.\Delta H$

$117 \geq 15*7.68$

$117 \geq 115.2$

Bendung dinyatakan aman apabila $L \geq C.\Delta H$

Sedangkan menurut teori Lane bahwa rembesan akan lebih sulit terjadi pada creep line vertikal dibanding horisontal, sehingga :

$L_V + 1/3L_H \geq C.\Delta H$

$86.5+30.5/3 \geq 7*7.68$

$96.67 \geq 53.76$

Jika creepline membentuk sudut ≤45° dianggap horisontal dan ≥45° dianggap vertikal.

a. Perhitungan uplift pressure pada kondisi air normal

ΔH = Elevasi mercu – Elevasi dasar kolam olak

= 139.39 – 131.71

= 7.68 m

Lx = 0 m

γ_{air} = 1 ton/m^3

∑l = 117 m

Contoh perhitungan :

$$Ux = Hx - \frac{lx}{\sum l} x\Delta H$$

Diketahui segmen A

Lx = 0

Hx = 2.57

∑l = 117 m

$$2.57 = 2.57 - \frac{0}{117} x 7.68$$

Tabel 4.12 Jalur rembesan dan tekanan air pada kondisi air normal

Titik	Segmen	Lx	Hx	ΔH	∑L	Ux
A		0	2.57	7.68	116	2.57
	A-B					
B		3	5.57	7.68	116	5.37
	B-C					
C		4.6	5.57	7.68	116	5.27
	C-D					
D		6.6	3.57	7.68	116	3.13
	D-E					
E		7.1	3.57	7.68	116	3.10
	E-F					
F		8.1	4.57	7.68	116	4.03
	F-G					
G		8.8	4.57	7.68	116	3.99
	G-H					
H		9.8	5.57	7.68	116	4.92
	H-I					
I		10.5	5.57	7.68	116	4.87
	I-J					
J		12.5	7.57	7.68	116	6.74
	J-K					
K		13.9	7.57	7.68	116	6.65
	K-L					
L		15.9	9.57	7.68	116	8.52
	L-M					
M		20.9	9.57	7.68	116	8.19

Tabel 4.13 Perhitungan uplift pressure pada kondisi air normal

Notasi	Luas m^2	Bj_{air}	Lebar m	Jarak terhadap titik x m	Besar gaya		Momen terhadap titik X t.m
					V (ton)	H (ton)	
GAYA UPLIFT PRESSURE HORIZONTAL							
U1	12	1	1	3		11.912	35.736
U2	8.4	1	1	-2.667		8.398	-22.397
U3	3.6	1	1	3.333		3.567	11.889
U4	4.5	1	1	2.333		4.454	10.391
U5	12	1	1	0.667		11.617	7.749
U6	15	1	1	-1.333		15.167	-20.218
GAYA UPLIFT PRESSURE VERTIKAL							
U7	8.5	1	1	1.067	8.509		9.079
U8	1.6	1	1	0.333	1.558		0.519
U9	2.8	1	1	0.467	2.807		1.311
U10	3.9	1	1	0.533	3.918		2.088
U11	9.4	1	1	0.933	9.374		8.746
U12	42	1	1	3.333	41.759		139.183
Jumlah					67.925	55.115	184.075

Apabila gaya uplift negative/menekan tanah dianggap nol

b.Perhitungan uplift pressure pada kondisi air banjir

ΔH = Elevasi m.a banjir dihulu – Elevasi m.a banjir dihilir

= 141.9 – 135.82

= 6.08 m

Lx = 65.85 m

γ_{air} = 1 ton/m^3

$\sum l$ = 72 m

Tabel 4.14 Jalur rembesan dan tekanan air pada kondisi air banjir

Titik	Segmen	Lx	Hx	ΔH	∑L	Ux
A		0	5.07	6.08	116	5.07
	A-B					
B		3	8.07	6.08	116	7.91
	B-C					
C		4.6	8.07	6.08	116	7.83
	C-D					
D		6.6	6.07	6.08	116	5.72
	D-E					
E		7.1	6.07	6.08	116	5.70
	E-F					
F		8.1	7.07	6.08	116	6.65
	F-G					
G		8.8	7.07	6.08	116	6.61
	G-H					
H		9.8	8.07	6.08	116	7.56
	H-I					
I		10.5	8.07	6.08	116	7.52
	I-J					
J		12.5	10.07	6.08	116	9.41
	J-K					
K		13.9	10.07	6.08	116	9.34
	K-L					
L		15.9	12.07	6.08	116	11.24
	L-M					
M		20.9	12.07	6.08	116	10.97

Tabel 4.15 Perhitungan uplift pressure pada kondisi air banjir

Notasi	Luas	Bj_{air}	Lebar	Jarak terhadap titik x	Besar gaya		Momen terhadap titik X
	m^2		m	m	V (ton)	H (ton)	t.m
GAYA UPLIFT PRESSURE HORIZONTAL							
U1	19	1	1	3		19.474	58.422
U2	14	1	1	-2.667		13.553	-36.146
U3	6.2	1	1	3.333		6.172	20.571
U4	7.1	1	1	2.333		7.083	16.525
U5	17	1	1	0.667		16.934	11.295
U6	21	1	1	-1.333		20.578	-27.430

GAYA UPLIFT PRESSURE VERTIKAL							
U7	13	1	1	1.067	12.593		13.437
U8	2.9	1	1	0.333	2.855		0.951
U9	4.6	1	1	0.467	4.639		2.166
U10	6	1	1	0.533	6.03		3.214
U11	13	1	1	0.933	13.129		12.249
U12	56	1	1	3.333	55.528		185.075
Jumlah					94.774	83.794	260.329

Apabila gaya uplift negative/menekan tanah dianggap nol

4.2.8 Gaya Akibat Tekanan Lumpur

Apabila bendung telah berexploitasi, maka akan ada endapan lumpur di bawah bendung. Endapan lumpur ini diperhitungkan setinggi mercu. Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_x = luas.\gamma_{lumpur}.Ka.1mlebar$$

$$Ka = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$$

Dimana

P_x = Besar gaya lumpur

γ_{lumpur} = Berat lumpur (ton/m^3)

= Bj lumpur - γ_{air}

Φ = Sudut gesekan dalam (derajat)

Dari data dan sifat parameter tanah yang diambil dari hasil penyelidikan tanah di dapat data sebagai berikut :

Berat isi tanah = 1.8 t/m^3

Berat satuan air = 1 t/m^3

γ_{lumpur} = 1.8 – 1 =0.8 t/m^3

Φ = 0

Sehingga Ka

$$Ka = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

$$Ka = \frac{1 - \sin 0}{1 + \sin 0} = 1$$

Tabel 4.16 Gaya akibat lumpur

Notasi	Luas m^2	Ka	Bj_{lumpur}	Lebar m	Jarak terhadap titik x m	Besar gaya		Momen terhadap titik X t.m
						V (ton)	H (ton)	
P_{s1}	3.30245	1	0.8	1	7.3		2.642	19.29
P_{s2}	1.285	1	0.8	1	11.69	-2.12		-24.78
Jumlah						-2.12	2.642	-5.50

Tabel 4.17 Resume gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung

a. Gaya – gaya yang timbal akibat air normal

Gaya	Besar Gaya		MG	MT
	Vertikal	Horizontal		
	ton	ton	t.m	t.m
Berat sendiri	-103.785			-493.8476
Gempa		4.131	15.880	
Hidrostatis	-2.65	3.30245		-11.636
Uplift pressure	67.925	55.115	184.075	
Tekanan lumpur	-2.12	2.642		-5.50
∑ jumlah	-40.630	65.191	199.956	-510.980

b. Gaya – gaya yang timbal akibat air banjir

Gaya	Besar Gaya		MG	MT
	Vertikal	Horizontal		
	ton	ton	t.m	t.m
Berat sendiri	-103.785			-493.848
Hidrostatis	-23.479	0.848		-82.181469
Uplift pressure eff 70%	94.774	83.794	260.3286	

Tekanan lumpur	-2.12	2.642		-5.50
∑ jumlah	-34.61	87.28396	260.3286	-581.526

4.3 Kontrol Stabilitas Bendung

Syarat-syarat stabilitas

Syarat – syarat yang harus dipenuhi dalam perencanaan suatu bendung antara lain

a. Momen tahan (Mt) harus lebih besar dari momen guling (Mg) Stabilitas terhadap gaya guling dihitung dengan rumus :

$$Sf = \frac{\sum Mt}{\sum Mg}$$

Dimana

∑Mt = Jumlah momen tahan

∑Mg = Jumlah momen guling

Sf = Safety factor (faktor keamanan) = 1.5

b. Konstruksi tidak boleh menggeser, dihitung dengan rumus :

$$Sf = \frac{\sum Vxf}{\sum H}$$

Dimana

∑V = Jumlah gaya vertikal

∑H = Jumlah gaya horizontal

Sf = Safety factor (faktor keamanan) =1.2

f = Koefisien geser antara konstruksi dengan tanah dasar

untuk perencanaan ini diambil f = 0.7

Tabel 4.18 Harga perkiraan untuk korfisien gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada : pasangan batu	0.6-0.75
Batu keras berkualitas baik	0.75
Kerikil	0.5
Pasir	0.4
Lempung	0.3

c. Eksentrisitas guling. Dihitung dengan rumus

$$e = \frac{\sum Mt - \sum Mg}{\sum V} - \frac{B}{2} \leq \frac{B}{6}$$

Dimana :

e = Eksentrisitas guling

∑Mt = Jumlah momen tahan (tm)

∑Mg = Jumlah momen guling (tm)

∑V = Jumlah gaya vertical (ton)

B = Panjang bendung (m)

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

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

f. Pengecekan stabilitas dilakukan pada kondisi air normal dan kondisi banjir.

4.3.1Kontrol Stabilitas

1. Kontrol terhadap guling

Untuk air normal :

Dengan perhitungan sebelumnya didapat

$\sum$ MT = 510.980 t.m

$\sum$ MG = 199.956 t.m

$$fk = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} = \frac{510.980}{199.956} = 2.55 > 1.5 \text{ .....ok}$$

Untuk air banjir

Dengan perhitungan sebelumnya didapat

$\sum$ MT = 581.526 t.m

$\sum$ MG = 260.329 t.m

$$fk = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} = \frac{581.526}{260.329} = 2.23 > 1.5 \text{ .....ok}$$

2. Kontrol Terhadap geser

Untuk air normal :

Dengan perhitungan sebelumnya didapat

$\sum$ V = 108.555 t

$\sum$ H = 10.076 t

$$fk = f.\frac{\sum V}{\sum H} = 0.7.\frac{108.555}{10.076} = 7.541 > 1.2 \text{ .....ok}$$

Untuk air banjir :

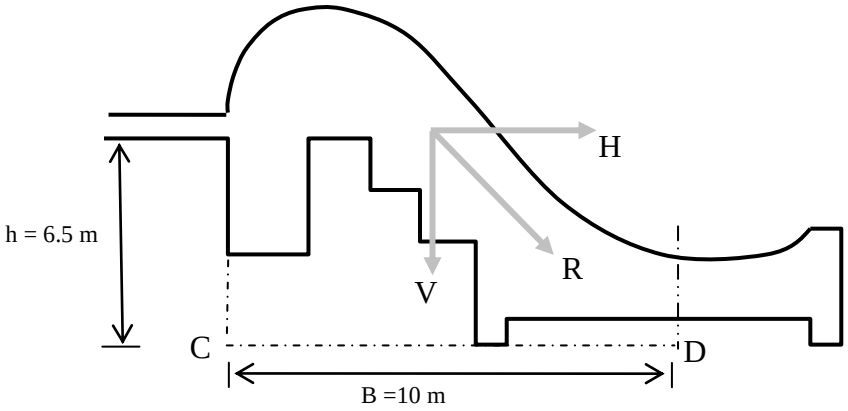
Dengan perhitungan sebelumnya didapat

$\sum$ V = 129.384 t

$\sum$ H = 3.490 t

$$fk = f.\frac{\sum V}{\sum H} = 0.7.\frac{129.384}{3.490} = 25.950 > 1.2 \text{ .....ok}$$

3. Kontrol eksentrisitas tegangan – tegangan tanah yang timbul pada pondasi.



Gambar 4.10 Tegangan yang bekerja pada bendung

<u>Untuk kondisi air normal</u>

Dari perhitungan sebelumnya di dapat gaya-gaya yang bekerja :

∑ MT = 510.980 tm

∑ MG = 199.956 tm

∑ V = 108.555 t

∑ H = 10.076 t

h = 6.5

B = 10 m (dari titik d ke titik c)

Tegangan pada titik C

$$e_c = \left| \frac{\sum MT - \sum MG}{\sum V} - \frac{B}{2} \right|$$

$$e_c = \left| \frac{510.980 - 199.956}{108.555} - \frac{10}{2} \right|$$

$$e_c = -2.134m \; < \; \frac{1}{6} B = 1.667 \; \text{.....Ok}$$

$$\sigma_c = \frac{\sum V}{A} x \left(1 \pm \frac{6xe_c}{B} \right) \text{.....A = B x b}$$

$$\sigma_c = \frac{108.555}{10x1.5} x\left(1 \pm \frac{6x(-2.134)}{10}\right)$$

$$\sigma_c \max = \frac{108.555}{15} x\left(1 + \frac{(-12.804)}{10}\right) = \text{-2.029 t/m}^2$$

$$\sigma_c \min = \frac{108.555}{15} x\left(1 - \frac{(-12.804)}{10}\right) = 16.503 \text{t/m}^2$$

$$\sigma_c < \overline{\sigma}_t = 132.333\ ton/m^2 \text{ .....Ok}$$

Tegangan pada titik D

$$e_D = \left| \frac{\Sigma MT - \Sigma MG}{\Sigma V} - \frac{\Sigma H\ x\ h}{\Sigma V} - \frac{B}{2} \right|$$

$$e_D = \left| \frac{510.980 - 199.956}{108.555} - \frac{10.076\ x\ 6.5}{108.555} - \frac{10}{2} \right|$$

$$e_D = -2.738m\ <\ \frac{1}{6}B = 1.667 \text{ .....Ok}$$

$$\sigma_D = \frac{\Sigma V}{A} x\left(1 \pm \frac{6\ x\ e_D}{B}\right) \rightarrow A = \ B\ x\ b$$

$$\sigma_D = \frac{108.555}{10x1.5} x\left(1 \pm \frac{6\ x\ (-2.738)}{10}\right)$$

$$\sigma_D \min = 7.237\ x\ (1 - (-1.6428)) = 19.125\ ton/m^2$$

$$\sigma_D \max = 7.237\ x\ (1 + (-1.6428)) = -4.651\ ton/m^2$$

$$\sigma_D < \overline{\sigma}_t = 132.333\ ton/m^2 \text{ .....Ok}$$

<u>Untuk kondisi air banjir</u>

Dari perhitungan sebelumnya didapat gaya-gaya yang bekerja :

∑MT = 581.526 t.m

∑MG = 260.329 t.m

∑V = 129.384 ton

∑H = 3.490 ton

Tegangan pada titik C

$$ec = \left| \frac{\Sigma MT - \Sigma MG}{\Sigma V} - \frac{B}{2} \right|$$

$$ec = \left| \frac{581.526 - 260.329}{129.384} - \frac{10}{2} \right|$$

$$ec = -2.517 \ m < \frac{1}{6} xB = 1.667 \ m \text{.....Ok}$$

$$\sigma_C = \frac{\Sigma V}{A} x \left(1 \pm \frac{6 \ x \ e_C}{B} \right) \rightarrow A = B \ x \ b$$

$$\sigma_C = \frac{129.384}{10x1.5} x \left(1 \pm \frac{6 \ x \ -2.517}{10} \right)$$

$$\sigma_C \min = 8.625 \ x \ (1 - (-1.510)) = 21.648 \ ton/m^2$$

$$\sigma_C \max = 8.625 \ x \ (1 + (-1.510)) = -4.398 \ ton/m^2$$

$$\sigma_C < \bar{\sigma}_t = 132.333 \ ton/m^2 \text{ .....Ok}$$

Tegangan pada titik D

$$e_D = \left| \frac{\Sigma MT - \Sigma MG}{\Sigma V} - \frac{\Sigma H \ x \ h}{\Sigma V} - \frac{B}{2} \right|$$

$$e_D = \left| \frac{581.526 - 260.329}{129.384} - \frac{3.490 \ x \ 6.5}{129.384} - \frac{10}{2} \right|$$

$$e_D = -2.693 \ m < \frac{1}{6} B = 1.667 \text{ .....Ok}$$

$$\sigma_D = \frac{\Sigma V}{A} x \left(1 \pm \frac{6 \ x \ e_D}{B} \right) \rightarrow A = B \ x \ b$$

$$\sigma_D = \frac{129.384}{10\ x\ 1.5} x \left(1 \pm \frac{6\ x\ -2.693}{10}\right)$$

$$\sigma_D \min = 8.625\ x\ (1-(-1.615)) = 22.554\ ton/m^2$$

$$\sigma_D \max = 8.625x\ (1+(-1.615)) = -5.304\ ton/m^2$$

$$\sigma_D < \overline{\sigma}_t = 132.333\ ton/m^2\ .....Ok$$

Dari semua kontrol stabilitas bendung yang telah dilakukan ternyata rencana pembangunan bendung tersebut memenuhi semua syarat –syarat yang ada.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Analisis Bendung

	Normal	Banjir	CEK
MT/MG	2.517	2.234	OK
GESER	5.794	25.951	OK
e.c	-2.163	-2.517	OK
σmin	16.629	21.654	OK
σmax	-2.155	-4.403	
e.d	-2.948	-2.693	OK
σmin	20.039	22.562	OK
σmax	-5.565	-5.311	