

BAB VI EVALUASI BENDUNG KALI KEBO

6.1 Data Teknis Bendung

Tipe Bendung

- Mercu bendung : mercu bulat dengan bagian hulu miring 1:1
- Jari – jari mercu (R) : 1,75 m
- Kolam olah : Vlugter
- Debit rencana (Q100) : 165 m³/dtk
- Lebar total bendung (B) : 39,00 m

6.2 Evaluasi Kapasitas Bendung

Evaluasi kapasitas bendung menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat yaitu :

Asumsi

- $P/hd \geq 1,33$
- $H_1/hd = 1$
- di dapat $\rightarrow C_1 = 1$
- $C_0 = 1,3$ (konstanta)
- $Cd = C_0 \cdot C_1$
 $= 1,3 \times 1 = 1,3$
- $Q \leq 2/3 \times Cd \sqrt{2/3g} \times Be \times H_1^{1,5}$
- $165 \leq 2/3 \times 1,3 \cdot \sqrt{2/3 \times 9,81} \times 38,7 \times 2,0$
- $165 \leq 172,8$

Kapasitas bendung lebih besar dari kapasitas debit banjir rencana periode ulang 100 tahun ($Q = 165 \text{ m}^3/\text{dtk}$)

6.3 Evaluasi Kapasitas Debit Intake

Air yang dibutuhkan untuk kebutuhan irigasi sebesar 0,72 m³/detik. Untuk menambah fleksibilitas dan memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur rencana, maka kapasitas pengambilan sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan

pengambilan, sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{pa} &= 1,2 \times Q \\ &= 1,2 \times 0,72 = 0,86 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus: } Q = \mu \cdot b \cdot a \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

Di mana : Q = Debit (m^3/detik)

μ = Koefisien debit = 0,8 (untuk bukaan di bawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi)

a = Tinggi bukaan (in)

b = Lebar bukaan
= 1 m

z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan
= antara 0,15 – 0,30

g = percepatan gravitasi
= 9,8 m/detik^2

Perhitungan

Dasar pintu Intake = 0,75 m diatas dasar pintu pembilas, sehingga tinggi pintu Intake

$$(a) = 1,95 - 0,75 = 1,20 \text{ m.}$$

$$Q = \mu \cdot b \cdot a \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

$$0,86 = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,20 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,20}$$

$$0,86 \leq 1,58 \text{ m} (\text{m}^3/\text{detik})$$

Lebar pintu pengambilan bendung existing (0,75 m) masih dapat dipertahankan

6.4 Evaluasi Struktur Bendung

Badan Bendung Kali Kebo kondisinya masih baik, hanya terjadi kerusakan kecil pada mercu bendung dan kolam bantalan air. Kondisi mercu dan kolam bantalan air yang terbuat dari beton bertulang sebagian rusak karena selimut betonnya terkelupas oleh benturan batu yang mengalir di atasnya.

Pada umumnya bendung masih dapat difungsikan, dapat di lihat pada Gambar 2.4 - 2.7

6.4.1 Analisa Stabilitas Bendung

Untuk menghitung stabilitas bendung harus di tinjau pada saat kondisi normal dan ekstrem seperti kondisi saat banjir. Ada beberapa gaya yang harus di hitung untuk mengetahui stabilitas bendung, antara lain :

- a. Gaya akibat Berat Sendiri
- b. Gaya Gempa
- c. Gaya Angkat (*Up-lift Pressure*)
- d. Tekanan Tanah Pasif dan Aktif
- e. Gaya Akibat Tekanan Lumpur

6.4.1.1 Pada Kondisi Air Normal

6.4.1.1.1 Perhitungan Gaya Yang Bekerja

A. Akibat Berat Sendiri

Tubuh Bendung terdiri dari beton *Cylope* (Beton Tumbuk) dengan lapisan Aus yang terbuat dari beton bertulang.

$$\gamma_{\text{beton tumbuk}} = 23 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_{\text{beton bertulang}} = 24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Rumus : } G = V \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$\text{Di mana : } V = \text{Volume (m}^3\text{)}$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2,4 \text{ t/m}^3$$

Jarak ditinjau ke titik H selanjutnya perhitungan disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel : 6.1. Perhitungan Gaya Akibat berat Sendiri

Segmen	Luas					Massa Jenis		Gaya	Lengan	Momen
	(m2)					(ton/m3)		ton	(m)	(ton M)
G1	0.5	x	0.5	x	1.95	2.4	.=	1.17	4.17	4.879
G2	0.5	x	1.95			2.4	.=	2.34	3.75	8.775
G3	1	x	3			2.4	.=	7.2	4.00	28.800
G4	0.5	x	1.95	x	2	2.4	.=	4.68	2.84	13.291
G5	0.5	x	0.5	x	1	2.4	.=	0.6	3.33	1.998
G6	2	x	2			2.4	.=	9.6	2.50	24.000
G7	0.5	x	1.5	x	1.2	2.4	.=	2.16	1.00	2.160
G8	0.5	x	2	x	0.5	2.4	.=	1.2	1.17	1.404

G9	1.5	x	0.8			2.4	.=	2.88	0.75	2.160
G10	1	x	2			2.4	.=	4.8	0.50	2.400
Gw	0.5	x	0.5	x	1.95	1	.=	0.49	4.33	2.111
Jumlah								37.12	28.34	91.978

B. Gaya Gempa

$$\text{Rumus : } a_d = n(a_c \times z)^m$$

$$E = a_d / g$$

Dimana :

$$a_d = \text{percepatan gempa rencana (cm/dt}^2\text{)}$$

$$N, m = \text{koefisiensi jenis tanah}$$

$$a_d = \text{percepatan gempa dasar}$$

$$= 160 \text{ cm/dt}^2 \text{ untuk periode ulang 100 tahun}$$

$$E = \text{koefisiensi jenis tanah}$$

$$G = \text{percepatan gravitasi (9,8 m/dt}^2\text{)}$$

$$Z = \text{faktor yang tergantung dari letak geografis/ peta zona seismic}$$

$$= 0,56 \text{ (untuk perencanaan bangunan air tahan gempa)}$$

Maka :

$$a_d = 1,56 \times (160 \times 0,56)^{0,89}$$

$$= 85,24 \text{ cm/dt}^2$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

$$= \frac{85,24 \text{ cm/dt}^2}{980 \text{ cm/dt}^2} = 0,086 \approx 0,1$$

Dari koefisien gempa diatas, kemudian dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gempa dengan rumus :

$$K = E \times G$$

Dimana :

$$K = \text{Gaya Gempa}$$

$$E = 0,1 \text{ (koefisien gempa)}$$

$$G = \text{Berat bangunan (ton)}$$

Tabel : 6.2. Perhitungan Gaya Gempa pada Kondisi air normal

Gaya	Berat G (ton)	Gaya Gempa $K = 0,1 \times G$	Lengan (m)	Momen (tonm)
K1	1,17	0,12	1,85	0,22
K2	2,34	0,23	2,18	0,51
K3	7,20	0,72	-0,30	-0,22
K4	4,68	0,47	1,85	0,87
K5	0,60	0,06	-1,13	-0,07
K6	9,60	0,96	0,20	0,19
K7	2,16	0,22	0,40	0,09
K8	1,20	0,12	-1,46	-0,18
K9	2,88	0,29	-0,40	-0,12
K10	4,80	0,48	1,80	0,86
KW	0,49	0,05	2,50	0,12
	$\Sigma =$	3,71	$\Sigma MH =$	2,28

C. Akibat Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

Tekanan air tanah (U_x) dihitung dengan rumus :

$$U_x = H_x - \frac{L_x}{L} * \Delta H$$

Dimana : U_x = Tekanan air pada titik x (t/m^2)

H_x = Tinggi tekan dari titik x sampai muka air hulu (m)

L_x = panjang jalur rembesan pada titik x (m)

L = panjang total jalur rembesan (m)

ΔH = beda tinggi energi

$$= (+ 96,05) - (+ 92,94)$$

$$= 3,11 \text{ m}$$

Tabel : 6.3. Perhitungan gaya-gaya Uplift Pada Saat Air Normal

No Ttk	Batas	LV	LH	1/3 H	Lx	L	ΔH	Hx	Ux
A					0,00	9,41	3,11	1,95	1,950
B	A-B	3,00	-		3,00	9,41	3,11	4,95	3,959
C	B-C	-	1,00	0,33	3,33	9,41	3,11	4,95	3,848
D	C-D	1,00	-		4,33	9,41	3,11	3,95	2,518
E	D-E	-	0,50	0,17	4,50	9,41	3,11	3,95	2,463
F	E-F	2,00	-		6,50	9,41	3,11	5,95	3,802
G	F-G	-	0,33	0,11	6,61	9,41	3,11	5,95	3,765
H	G-H	2,80	-	-	9,41	9,41	3,11	3,11	0,000
Jumlah		8,80	1,83	0,61	37,69				

Tabel : 6.4. Perhitungan Tekanan Uplift pada Kondisi air Normal

Segmen	Perhitungan	Gaya (ton)	Lengan (m)	Momen (tonm)
U.BC	3,848x1	3,848	4,00	15,39
U.BC'	0,5.(3,959-3,848).1	0,056	4,17	0,23
U.CD	2,518 x 0,5	1,259	3,25	4,09
U.CD'	0,5.(3,848-2,518).0,5	0,333	3,33	1,11
U.DE	2,463 x 1,5	3,695	2,25	8,31
U.DE'	0,5.(2,518-2,463).1,5	0,041	2,50	0,10
U.EF	2,463 x 0,5	1,322	1,25	1,65
U.EF'	0,5.(3,802-2,463).0,5	0,335	1,17	0,39
U.FG	3,765 x 1,0	3,765	0,50	1,88
U.FG'	0,5.(3,802-3,765).1,0	0,019	0,67	0,01
	Σ U =	10,49	Σ MU =	28,54

Tabel : 6.5 Perhitungan Gaya Hidrolisis

Gaya	Luas x Tekanan	Gaya Horizontal (ton)	Jarak (m)	Momen Horizontal (ton.m)
WH1	0,5 x 4,95 x 4,95	12,251	-0,15	-1,838
WH2	0,5 x 2,84 x 2,84	-4,033	-1,89	7,622
	Jumlah	8,218		5,784

D. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

➤ Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_a = \gamma_s \cdot K_a \cdot H - 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a}$$

Dimana

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2(45^\circ - \Phi / 2) \\ &= \tan^2(45^\circ - 21/2) \\ &= 0,472 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 1,76 \cdot 0,742 \cdot 3 - 2 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{0,472} \\ &= 3,89 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_p = \gamma_s \cdot K_p \cdot H + 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_p}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2(45^\circ + \Phi / 2) \\ &= \tan^2(45^\circ + 21/2) \\ &= 2,117 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 1,76 \cdot 2,117 \cdot 2,8 + 2 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{2,117} \\ &= 10,491 \text{ ton} \end{aligned}$$

Keterangan

$$P_a = 0,5 \cdot \sigma_a \cdot h$$

$$P_p = 0,5 \cdot \sigma_p \cdot h$$

P_a = tekanan tanah aktif

P_p = tekanan tanah pasif

Φ = sudut geser dalam 21°

- g = gravitasi bumi = 9,8 m/detik²
 H = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)
 γ_s = berat jenis tanah 1,72 ton/m³
 γ_w = berat jenis air 1,0 ton/m³

Tabel : 6.6 Perhitungan Tekanan Tanah

Gaya	Luas x Tekanan	Gaya Horizontal (ton)	Jarak (m)	Momen Horizontal (tonm)
Pa	0,5 x 3,89 x 4,95	9,628	0,80	7,702
Pp	0,5 x 10,491 x 2.8	-14,687	1.89	-27,758
	Σ RH =	-5.059	Σ MH =	-20,056

E. Akibat Tekanan Lumpur

$$P_s = \frac{\gamma_s \times h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} \right)$$

Di mana :

Ps = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara normal.

Φ = sudut geser dalam (21°)

γ_s = berat jenis lumpur = 1,6 ton/m³

h = kedalaman lumpur (m)

$$P_s = \frac{1,6 \times 1,95}{2} \left(\frac{1 - \sin 21^\circ}{1 + \sin 21^\circ} \right) = 0,737 \text{ ton}$$

Gaya horizontal akibat Tekanan Lumpur ;

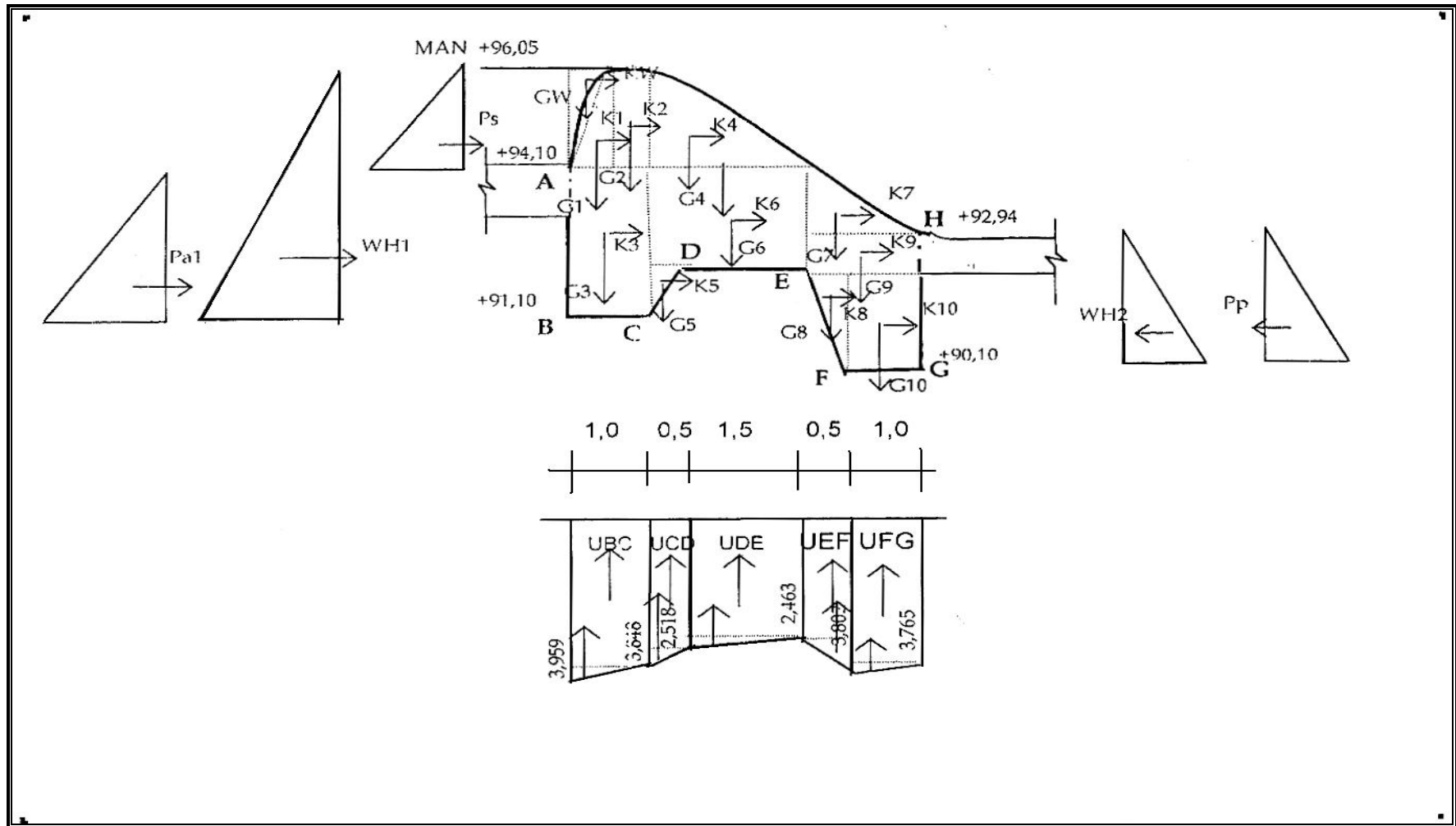
$$\begin{aligned} H_s &= 0,5 \times P_s \times h \\ &= 0,5 \times 0,737 \times 1.95 \\ &= 0,718 \text{ ton} \end{aligned}$$

Momen Horizontal akibat Lumpur ;

$$\begin{aligned} M_H &= H_s \times \text{jarak lengan} \\ &= 0,718 \times 1,85 = 1,328 \text{ ton m} \end{aligned}$$

Tabel : 6.7. Rekapitulasi Gaya-gaya Kondisi Air Normal

No	Uraian /Gaya	Gaya		Momen		Arah
		H (ton)	V (ton)	MH (tm)	MV (tm)	
1	Berat sendiri (G)	-	37,12	-	91,97	↺
2	Gaya Gempa (K)	3,71	-	2,28	-	↻
3	Tekanan Lumpur (Hs)	0,718	-	1,33	-	↻
4	Tekanan Hidrostatik (WH)	8,218	-	5,78	-	↻
5	Tekanan <i>Uplift</i> (U)	-	-10,49	-	-28,54	↻
6	Tekanan Tanah (P)	-5,059	-	-20,06	-	↻
	Jumlah	7,587	26,63	-10,66	63,43	



Gambar 5.2 Diagram Gaya – gaya Kondisi Air Normal

6.4.1.1.2 Kontrol Stabilitas Bendung pada Kondisi Air Normal

A. Terhadap Guling

$$\begin{aligned} Sf &= \frac{\Sigma MV}{\Sigma MH} > 1,5 \\ &= \frac{63,43}{10,66} > 1,5 \\ &= 5,95 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Di mana : Sf = faktor keamanan

ΣMV = jumlah momen vertikal

ΣMH = jumlah momen horizontal

B. Terhadap Geser

$$\begin{aligned} Sf &= f_x \frac{\Sigma RV}{\Sigma RH} > 1,5 \\ &= 0,75 \times \frac{51,32}{11,94} > 1,5 \\ &= 3,22 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Di mana : Sf = faktor keamanan

ΣRV = total gaya vertical (ton)

ΣRH = total gaya horizontal (ton)

F_x = koefisien gesekan

$$= 0,75$$

C. Terhadap Pecahnya Konstruksi

Untuk mengetahui adanya bahaya pecah konstruksi pada tubuh bendung dipakai

rumus :

$$\begin{aligned} \sigma_{\pi} &= P/A < \sigma_{ijin} \\ &= 26,63/4,5 \\ &= 5,92 \text{ ton/m}^2 < 175 \text{ ton/m}^2 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

Di mana :

σ = tegangan ijin pasangan beton = 175 ton/m²

σ_{π} = tegangan yang timbul

P = gaya yang bekerja, pada tubuh bendung

A = luas penampang yang ditinjau 1m

Terhadap Daya Dukung Tanah

Dari data tanah pada lokasi bendung, diperoleh

$$\gamma = 1,72 \text{ ton/m}^3; c = 0,02; \Phi = 21^\circ$$

Dari grafik Terzaghi diperoleh :

$$N_c = 16,008$$

$$N_q = 7,252$$

$$N_\gamma = 4,454$$

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

Rumus daya dukung tanah Terzaghi :

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= c \cdot N_c + \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= 0,02 \times 16,008 + 1,72 \times 7,252 + 0,5 \times 1 \times 4,454 \\ &= 15,021 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{ijin} = \frac{q_{ult}}{S_f} = \frac{15,021}{1,5} = 10,0141 \text{ t/m}^2$$

Jumlah momen yang bekerja pada Titik H ;

$$\Sigma MH = M_v + M_h = 63,43 + (-10,66) = 52,77 \text{ t m}$$

$$\left(\frac{1}{2} b - e\right) \Sigma V = \Sigma MH$$

$$\frac{4,5}{2} - e = \frac{52,77}{26,63} = 1,982$$

$$2,25 - e = 1,982$$

$$e = 2,25 - 1,982 = 0,268$$

$$0,268 < \frac{1}{6} b = \frac{4,5}{6} = 0,75$$

$$\sigma = \frac{RV}{b_x \cdot b_y} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b_x}\right) < \bar{\sigma} = 10,014 \text{ t/m}^2$$

$$= \frac{26,63}{4,5 \cdot 1} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,268}{4,5}\right) < \bar{\sigma} = 10,014 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{max} = 8,032 \text{ ton/m}^2 < 10,014 \text{ ton/m}^2 \text{ (Aman)}$$

$$\sigma_{min} = 3,803 \text{ ton/m}^2 < 10,014 \text{ ton/m}^2 \text{ (Aman)}$$

6.4.1.1.3 Perhitungan Garis Rembesan Lane

Tabel : 6.8 Perhitungan Garis Rembesan Lane

TITIK	L _v	TITIK	L _h
A-B	3,0	B-C	1,0
C-D	1,0	D-E	1,5
E-F	2,0	F-G	1,0
G-H	2,3	H-I	3,0
I-J	1,0	J-K	0,8
K-L	1,8		
L _v = 11,10		L _h = 7,30	

• **Panjang Rembesan (Menurut Lane) :**

$$\begin{aligned}
 L_w &= \sum L_v + 1/3 \sum L_h > C \cdot \Delta H \\
 &= 11,10 + (1/3 \times 7,30) > 5,0 \cdot 3,11 \\
 &= 13,53 \text{ m} < 15,55 \text{ (tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Di mana ;

C = 5.0 untuk Coarse sand (0.5mm – 1.0 mm)

ΔH Elevasi Mercu - Elevasi ambang kolam olak

$$= (+96,05) - (\pm 92.94) = 3,11 \text{ m}$$

Untuk memperpanjang garis rembesan (*Creep Line*) maka ditambah lantai muka.

Panjang lantai muka diambil 4,00 m.

Sehingga L_v = 12,10 in dan L_h = 11,30 m

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi ; } L_w &= \sum L_v + 1/3 \sum L_h > C \cdot \Delta H \\
 &= 12,10 + (1/3 \times 11,30) > 5,0 \cdot 3,11 \\
 &= 15,87 \text{ m} < 15,55 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

• **Kontrol :**

$$\text{Faktor Rembesan / } creep \text{ Ratio (CW) } = \sum L_w / \Delta H_w = 15,87 / 3,11$$

$$= 5,10 > C \text{ (aman)}$$

6.4.1.1.4 Tebal Lantai Olakan

Untuk perhitungan tebal lantai belakang (kolam olak), digunakan rumus sebagai berikut :

$$dx \geq Sf \frac{U_x - W_x}{\gamma_{pas}}$$

di mana : dx = tebal lantai pada titik x

U_x = gaya angkat pada titik x

W_x = kedalaman air pada titik x

γ_{pas} = berat jenis beton (2,4 t/m³)

Sf = faktor keamanan (2,0)

Perhitungan :

$$\begin{aligned} U_x &= Hx - \frac{Lx}{L} * \Delta H \\ &= 3,11 - ((11,80/15,87)*3,11) \\ &= 3,11 - 2,31 = 0,80 \text{ m} \end{aligned}$$

$$dx \geq Sf \frac{U_x - W_x}{\gamma_{pas}}$$

$$\begin{aligned} dx &= 2,0 \times \frac{0,80 - 0,30}{2,4} \\ &= 0,42 \text{ m} \leq 0,50 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal lantai kolam olak yang ada 0,50 m, lebih kecil dibandingkan perhitungan yaitu 0,42 m maka tebal lantai kolam olak aman.

6.4.1.2 Kondisi Air Banjir

6.4.1.2.1 Perhitungan Gaya Yang Bekerja

A. Akibat Berat Bangunan

$$\text{Rumus : } G = V \times \gamma_{pas}$$

Di mana :

$$V = \text{volume (m}^3\text{)}$$

$$\gamma_{pas} = 2,4 \text{ t/m}^3$$

Jarak ditinjau ketitik H selanjutnya perhitungan disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel : 6.9 Perhitungan Gaya Akibat Berat Sendiri Kondisi Banjir

Segmen	Luas (m ²)	γ beton (ton/m ³)	G (ton)	Lengan (m)	Momen (ton/m)
G1	0,5 x 0,5 x 1,95 = 0,487	2,40	1,17	4,17	4,87
G2	0,5 x 1,95 = 0,975	2,40	2,34	3,75	8,78
G3	1,00 x 3,00 = 3,000	2,40	7,20	4,00	28,80
G4	0,5 x 1,95 x 2,00 = 1,950	2,40	4,68	2,84	13,29
G5	0,5 x 0,5 x 1,00 = 0,250	2,40	0,60	3,33	2,00
G6	2,00 x 2,00 = 4,000	2,40	9,60	2,50	24,00
G7	0,5 x 1,5 x 1,20 = 0,900	2,40	2,16	1,00	2,16
G8	0,5 x 2,00 x 0,5 = 0,500	2,40	1,20	1,17	1,40
G9	1,5 x 0,80 = 1,200	2,40	2,88	0,75	2,16
G10	1,00 x 2,00 = 2,000	2,40	4,80	0,50	2,40
GW	0,5 x 0,5 x 1,95 = 0,487	1,00	0,49	4,33	2,11
Wv	1,118 x 1,00 = 1,118	1,00	1,12	4,00	4,47
		$\Sigma G =$	38,23	$\Sigma MV =$	96,44

B. Akibat Gaya Gempa

Tabel : 6.10. Perhitungan Gaya Gempa Kondisi air Banjir

Gaya	Berat G(ton)	Gaya Gempa $K = 0,1 \times G$	Lengan (m)	Momen (tonm)
K1	1,17	0,12	1,85	0,22
K2	2,34	0,23	2,18	0,51
K3	7,20	0,72	-0,30	-0,22
K4	4,68	0,47	1,85	0,87
K5	0,60	0,06	-1,13	-0,07
K6	9,60	0,96	0,20	0,19
K7	2,16	0,22	0,40	0,09
K8	1,20	0,12	-1,46	-0,18
K9	2,88	0,29	-0,40	-0,12
K10	4,80	0,48	1,80	0,86
KW	0,49	0,05	2,50	0,12
	$\Sigma H =$	3,71	$\Sigma MH =$	2,28

C. Tekanan Uplift

$$U_x = H_x - \frac{L_x}{L} * \Delta H$$

- Dimana : U_x = Tekanan air pada titik x (t / m^2)
 H_x = Tinggi tekan dari titik x sampai muka air hulu (m)
 L_x = panjang jalur rembesan pada titik x (m)
 L = panjang total jalur rembesan (m)
 ΔH = (elevasi muka air banjir)-(elevasi muka air hilir)
 = (+ 97,168) - (\pm 95,46)
 = 1,708

Perhitungan disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel : 6.11 Perhitungan Gaya-gaya Uplift Pada Saat Banjir

No Ttk	Batas	LV	LH	1/3 H	L_x	L	ΔH	H_x	U_x
A					0,00	9,41	1,71	3,07	3,068
	A-B	3,00	-						
B					3,00	9,41	1,71	6,07	5,523
	B-C	-	1,00	0,33					
C					3,33	9,41	1,71	6,07	5,463
	C-D	1,00	-	-					
D					4,33	9,41	1,71	5,07	4,281
	D-E	-	0,50	0,17					
E					4,50	9,41	1,71	5,07	4,251
	E-F	2,00	-						
F					6,50	9,41	1,71	7,07	5,888
	F-G	-	0,33	0,11					
G					6,61	9,41	1,71	7,07	5,870
	G-H	2,80	-	-					
H					9,41	9,41	1,71	4,23	2,520
Jumlah		8,80	1,83	0,61	37,69				

Tabel : 6.12 Perhitungan Uplift Pressure pada Kondisi Air Banjir

Segmen	Perhitungan	Gaya (ton)	Lengan (m)	Momen (tonm)
U.BC	5,463x1	5,463	4,00	21,85
U.BC'	0,5.(5,523-5,463).1	0,030	4,17	0,13
U.CD	4,281 x 0,5	2,141	3,25	6,96
U.CD'	0,5.(5,463-4,281).0,5	0,296	3,33	0,98
U.DE	4,251 x 1,5	6,377	2,25	14,35
U.DE'	0,5.(4,281-4,251).1,5	0,022	2,50	0,06
U.EF	4,251 x 0,5	2,126	1,25	2,66
U.EF'	0,5.(5,888-4,251).0,5	0,409	1,17	0,48
U.FG	5,870 x 1,0	5,870	0,50	2,94
U.FG'	0,5.(5,888-5,870).1,0	0,009	0,67	0,01
	$\Sigma U =$	22,74	$\Sigma MU =$	50,40

Tabel : 6.13 Perhitungan Akibat Tekanan Hidrostatik

Gaya	Luas x Tekanan	Gaya Horizontal (ton)	Jarak (m)	MomenHorizontal (ton.m)
WH1	0,5 x 1,95 x 1,95	1,95	1,80	3,510
WH2	0,5 x 1,118	2,18	2,14	4,665
	Jumlah:	4,13		8,175

D. Akibat Tekanan tanah Aktif dan Pasif

Tabel: 6.14 Perhitungan Akibat Tekanan Tanah

Gaya	Luas x Tekanan	Gaya Horizontal (ton)	Jarak (m)	Momen Horizontal (ton.m)
Pa	0,5 x 3,89 x	9,628	0,80	7,702
Pp	4,95 0,5 x 10,491 x 2,8	-14,687	1,89	-27,758
	$\Sigma RH =$	-5.059	$\Sigma MH =$	-20,056

E . Akibat Tekanan Lumpur

Tekanan lumpur pada saat air banjir sama dengan tekanan kumpur pada saat air normal

Gaya Horisontal akibat Tekanan Lumpur ;

$$\begin{aligned}
 H_s &= 0,5 \times P_s \times h \\
 &= 0,5 \times 0,737 \times 1,95 \\
 &= 0,718 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen Horisontal akibat Lumpur ;

$$\begin{aligned}
 M H_s &= H_s \times \text{jarak lengan} \\
 &= 0,718 \times 1,85 = 1,328 \text{ ton m}
 \end{aligned}$$

Tabel : 6.15 Rekapitulasi Gaya-gaya Kondisi Air Banjir

No	Uraian /Gaya	Gaya		Momen		Arah
		H (ton)	V (ton)	MH (ton.m)	MV (ton.m)	
1	Berat sendiri (G)	-	38,23	-	96,44	↺
2	Gaya Gempa (K)	3,71	-	2,28	-	↻
3	Tekanan Lumpur (Hs)	0,718	-	1,33	-	↻
4	Tekanan Hidrostatik (WH)	4,13	-	8,175	-	↻
5	Tekanan <i>Uplift</i> (U)	-	-22,74	-	-50,40	↻
6	Tekanan Tanah (P)	-5,059	-	-20,056	-	↻
	Jumlah	3,499	15,49	-8,273	46,04	

6.4.1.2.2 Kontrol Stabilitas Bendung pada Kondisi Air Normal

A . Terhadap Guling

$$\begin{aligned}
 S_f &= \frac{\sum MV}{\sum MH} > 1,50 \\
 &= \frac{46,04}{8,273} > 1,50 \\
 &= 5,65 > 1,50 \text{ (Aman)}
 \end{aligned}$$

B . Terhadap Geser

$$S_f = f_x \frac{\sum RV}{\sum RH} > 1,50$$

$$= 0,75 \times \frac{15,49}{3,499} > 1,50$$

$$= 3,22 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

C . Terhadap Pecahnya Konstruksi

Untuk mengetahui adanya bahaya pecah konstruksi pada tubuh bendung dipakai rumus :

$$\sigma_{yt} = P/A < \sigma_{ijin}$$

$$= 15,49/4,50$$

$$= 3,442 \text{ ton/m}^2 < 1,75 \text{ ton/m}^2$$

σ = tegangan ijin pasangan beton = 175 ton/m²

σ_{yt} = tegangan yang timbul

P = gaya yang bekerja pada tubuh bendung

A = luas penampang yang ditinjau 1 m

D . Terhadap Daya Dukung Tanah

Penjang telapak pondasi bendung (L) = 4,5 m

Jumlah momen yang bekerja pada Titik H ;

$$\Sigma MH = M_v + M_h$$

$$= 46,04 - 8,273 = 37,767 \text{ t m}$$

$$\left(\frac{1}{2} * b - e\right) \Sigma V = \Sigma MH$$

$$\frac{4,5}{2} - e = \frac{37,767}{15,49} = 2,101$$

$$2,25 - e = 2,101$$

$$e = 2,25 - 2,101 = 0,149$$

$$0,149 = 1/6 * b = \frac{4,5}{6} = 0,75$$

$$\sigma = \frac{RV}{bx * by} \times \left(1 \pm \frac{6.e}{bx}\right) < \bar{\sigma} = 10,014 \text{ t/m}^2$$

$$= \frac{15,49}{4,5 * 1} \times \left(1 \pm \frac{6.0,149}{4,5}\right) < \sigma = 10,014 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 4,216 \text{ ton/m}^2 < 10,014 \text{ ton/m}^2 \text{ (aman)}$$

$$\sigma_{\min} = 2,758 \text{ ton/m}^2 < 10,014 \text{ ton/m}^2 \text{ (aman)}$$

6.4.2 Tinjauan terhadap gerusan

Tinjauan terhadap gerusan diperkirakan untuk mengantisipasi adanya gerusan lokal diujung hilir bendung. Untuk mengatasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan bronjong sebagai selimut lindung bagi tanah asli. Kedalaman gerusan dihitung dengan cara :

- Metode Lacey
- Metode Vendjik dan
- Metode Scholisch

6.4.2.1 Metode Lacey

$$\text{Rumus : } R = 0,47 \times (Q / f)^{1/3}$$

$$F = 1,76 Dm^{0,5}$$

Di mana : R = kedalaman gerusan dibawah permukaan air banjir (m)

Q = debit melewati di atas mercu

f = faktor Lumpur Lacey

Dm = diameter rata - rata material dasar sungai

$$= 10 \text{ mm (kerikil halus)}$$

$$\text{maka : } f = 1,76 Dm^{0,5}$$

$$= 1,76 \cdot 10^{0,5}$$

$$= 5,56$$

$$R = 0,47 (Q/f)^{1/3}$$

$$= 0,47 \times (165 / 5,56)^{1/3}$$

$$= 1,41 \text{ m}$$

Menurut Lacey, kedalaman gerusan bersifat empiris maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan sebesar 1,5 sehingga

$$R = 1,41 \times 1,5 = 2,12 \text{ m}$$

6.4.2.2 Metode Vendjik

Rumus :

$$R = (2,4 \times H_{cr}) + (0,4 \times z)$$

Dimana :

$$R = \textit{Scouring} \text{ (m)}$$

$$\begin{aligned}H_{cr} &= \text{tinggi kritis (m)} \\z &= \text{elv. ma hulu} - \text{elv. ma hilir (m)} \\H_{cr} &= (q^2 / g)^{1/3} \\&= (5,021^2 / 9,81)^{1/3} \\&= 1,369 \text{ m} \\z &= \text{elv. ma hulu} - \text{elv. ma hilir} \\&= 97,10 - 92,82 \\&= 4,28 \text{ m} \\R &= (2,4 \times 1,369) + (0,4 \times 4,28) \\&= 4,997 \text{ m}\end{aligned}$$

6.4.2.3 Metode Scholisch

Rumus :

$$R = 4,75 \times H^{0,2} \times q^{0,57} \times dt^{-0,32}$$

Dimana :

$$R = \textit{Scouring} \text{ (m)}$$

$$dt = h1 \cdot g \cdot z$$

$$H = \text{tinggi ma. di atas mercu (m)}$$

Maka :

$$\begin{aligned}R &= 4,75 \times 0,6^{0,2} \times 5,021^{0,57} \times (0,56 \times 9,81 \times 4,28)^{-0,32} \\&= 3,917 \text{ m}\end{aligned}$$

Dari ketiga metode tersebut, maka dapat terlihat kedalaman gerusan maksimal $R = 4,997 \text{ m}$

6.4.3 PANJANG TERJUNAN (lw)

Data :

▪ Elv. dasar hilir	= + 92,26
▪ Elv. dasar gerusan	= + 90,10
▪ Elv. ma. hulu	= + 97,10
▪ Elv. ma. hilir	= + 92,82

Rumus :

$$lw = Vo(2(H1+1/2.hw)/g)$$

$$H1 = \text{beda tinggi antara mercu dengan elv. dasar hilir (m)} = 2,4 \text{ m}$$

$$V_o = q_o / h_w$$

$$V_o = \text{kecepatan di hulu (m/dt)}$$

$$q_o = Q/B$$

$$q_o = 165/38,7 \\ = 4,26 \text{ m}^2/\text{dt}$$

$$V_o = 4,26/1,2 \\ = 3,55 \text{ m/dt}$$

$$l_w = 3,55(2(2,4+1/2 \cdot 1,2)/9,8) \\ = 2,17 \text{ m}$$

$$h1 = \text{tinggi air pada titik jatuhnya terjunan}$$

$$h1 = q1/v1$$

$$V1 = \text{kecepatan pada jatuhnya air}$$

$$V1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H1 + h_w)} \\ = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (2,4 + 1,2)}$$

$$V1 = 8,40 \text{ m/dt}$$

$$h1 = 4,26/8,4 \\ = 0,50 \text{ m}$$

$$F1 = V1 / \sqrt{g \cdot h1} \\ = 8,4 / \sqrt{9,81 \cdot 0,5} = 3,8$$

6.4.4 MENENTUKAN UKURAN BATU

- Berdasarkan Hukum Stokes :

$$V_u = 0,055 \cdot \frac{\rho_s - \rho_w \cdot g \cdot d^2}{\rho_w \cdot \nu}$$

Dimana :

$$V_1 = \text{kecepatan jatuh (m/dt)}$$

$$\rho_s = \text{specific weight of grain (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_w = \text{specific weight of water (kg/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{kecepatan gravitasi (m/dt)}$$

$$\nu = \text{kekentalan kinematik (m}^2/\text{dt)}$$

$$d = \text{diameter batu (m)}$$

Sehingga :

$$d^2 = \frac{\rho_w \cdot v \cdot V1}{0,055 \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g}$$

$$d^2 = \frac{1000 \cdot 10^{-2} \cdot 8,4}{0,055 \cdot (2650 - 1000) \cdot 9,81}$$

$$d = 0,28 \text{ m}$$

Jadi digunakan batu min. Ø 0,25

6.4.5 KEDALAMAN GERUSAN LOKAL SETELAH DIISI BATU

Tabel 6.16 Kedalaman gerusan lokal

(H+h) m	Kedalaman maksimum gerusan lokal D_{max} (m)				
	$d_{50}=0,750$	$d_{50}=0,500$	$d_{50}=0,250$	$d_{50}=0,125$	$d_{50}=0,075$
5	0,04	0,03	0,12	0,17	0,7
5,2	0,06	0,05	0,17	0,27	0,83
5,4	0,07	0,07	0,21	0,36	0,95
5,6	0,09	0,09	0,25	0,46	1,07
5,8	0,1	0,1	0,29	0,55	1,18
6	0,11	0,12	0,33	0,63	1,29
6,2	0,12	0,14	0,37	0,72	1,39
6,4	0,13	0,15	0,4	0,8	1,49
6,6	0,15	0,17	0,44	0,88	1,59
6,8	0,16	0,19	0,47	0,95	1,69
7	0,17	0,2	0,51	1,03	1,78
7,2	0,18	0,21	0,54	1,1	1,87
7,4	0,19	0,23	0,57	1,17	1,96
7,6	0,2	0,24	0,6	1,24	2,05
7,8	0,21	0,26	0,63	1,3	2,13
8	0,22	0,27	0,66	1,37	2,21
8,2	0,22	0,28	0,69	1,43	2,29
8,4	0,23	0,29	0,71	1,49	2,37
8,6	0,24	0,31	0,74	1,55	2,44
8,8	0,25	0,32	0,77	1,61	2,52
9	0,26	0,33	0,79	1,67	2,59
9,2	0,27	0,34	0,82	1,72	2,66
9,4	0,27	0,35	0,84	1,78	2,73

9,6	0,28	0,36	0,87	1,83	2,8
9,8	0,29	0,37	0,89	1,88	2,86
10	0,3	0,38	0,91	1,94	2,93
10,2	0,3	0,39	0,94	1,99	2,99
10,4	0,31	0,4	0,96	2,04	3,05
10,6	0,32	0,41	0,98	2,08	3,11
10,8	0,32	0,42	1	2,13	3,17
11	0,33	0,43	1,02	2,18	3,23
11,2	0,34	0,44	1,04	2,22	3,29
11,4	0,34	0,45	1,06	2,27	3,35
11,6	0,35	0,46	1,08	2,31	3,4
11,8	0,36	0,47	1,1	2,36	3,46
12	0,36	0,48	1,12	2,4	3,51

(Sumber : Hasil penelitian laboratorium hidraulika – Balai Sabo, Jogjakarta)

Ket : d_{50} = representasi butiran dasar sungai

$(H+h)$ = tinggi terjun alirannya

Kedalaman gerusan lokal

- $(H+h)$ = elv. ma. di atas mercu – elv. dasar sungai di hilir
 $= (+ 97,1) - (+ 92,26)$
 $= 4,84$ m
- d_{50} = 0,03
- D_{mak} = 0,12 m

6.5 PERMASALAHAN

Secara teknis Bendung Kali Kebo masih layak dipergunakan tetapi karena adanya beberapa permasalahan non teknis yang timbul menyebabkan Bendung Kali Kebo tidak bisa difungsikan secara maksimal, permasalahan tersebut antara lain :

- Banyaknya pohon – pohon yang ditebang pada aliran sebelah hulu menyebabkan erosi sehingga menyebabkan banyaknya tanah yang ikut terbawa arus sehingga aliran sungai kuning menjadi sempit.

- Dan banyaknya sampah yang masuk ke dalam aliran bisa juga menyebabkan aliran menjadi kurang lancar sehingga debit yang seharusnya bisa terpenuhi menjadi agak terhambat akibat adanya sampah – sampah ini.

Sedangkan permasalahan teknisnya yaitu :

- Terjadi *scouring* (gerusan) pada bagian hilir bendung
- Kerusakan pada mercu bendung

6.6 ALTERNATIF PENANGANAN

1. Kerusakan pada struktur bendung terutama yang diakibatkan oleh batu-batuan yang terangkut saat terjadi banjir (debit sungai besar) dapat diminimalkan dengan :
 - Mengurangi bahan-bahan angkutan yang berupa sampah yang ikut masuk kedalam aliran sungai di hulu bendung dengan memberikan penyuluhan agar jangan menebangi pohon secara liar ataupun membuang sampah ke dalam sungai sehingga menyebabkan tersendatnya aliran air atau bahkan malah tersumbat yang dapat mengakibatkan banjir
2. Penyumbatan yang terjadi pada lubang intake oleh bahan endapan dan sampah, perlu diatasi dengan perawatan rutin. Hal ini perlu dilakukan setiap kali setelah terjadi debit banjir dan secara periodik pada debit-debit normal.
3. Mengurangi kecepatan aliran yang akan melewati bendung dengan cara pembuatan *check dam*.
4. Upaya-upaya konservasi DAS Kali Kuning guna menjaga, meningkatkan, dan mempertahankan kestabilan sungai khususnya di bagian hulu bendung sangat perlu diintensifkan, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan debit aliran serta mengurangi kiriman bahan angkutan dari hulu.
5. Untuk mengatasi gerusan di bagian hilir bendung dibuat bangunan peredam energi. Yaitu dengan membuat lindungan dari isian batu dengan diameter tertentu