

## BAB IV

### HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### A. Perhitungan Tinggi Muka Air di Atas Mercu

Sebelum menghitung gaya-gaya yang bekerja pada bendung, tentunya harus menentukan terlebih dahulu muka air banjir sesuai dengan debit rencana. Debit rencana adalah besarnya debit pada periode ulang tertentu yang diperkirakan akan melalui bangunan air yang telah direncanakan. Pada analisis ini, menggunakan debit tahun rencana:

$$Q_{100} = 1994,40 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q_{200} = 2123,50 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q_{1000} = 2439,63 \text{ m}^3/\text{dt}$$

##### 1. Perhitungan Lebar Efektif Bendung

$$\text{Rumus : } Be = B - 2(n.K_p + K_a)H_1$$

Dimana:  $Be$  = Lebar efektif bendung (m)

$B$  = Lebar rata-rata sungai = 173 m

$n$  = Jumlah pilar

$K_p$  = Koefisien kontraksi pilar (untuk pilar dengan ujung bulat) = 0,01

$K_a$  = Koefisien kontraksi pangkal bendung (untuk pangkal tembok segiempat dengan hulu pada  $90^\circ$  ke arah aliran) = 0,20

$$\begin{aligned} Be &= B - 2(n.K_p + K_a)H_1 \\ &= 173 - 2(3 \times 0,01 + 0,20)H_1 \\ &= 173 - 0,46H_1 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Tinggi Muka Air di Atas Mercu

$$\text{Rumus: } Q = cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g} \cdot Be \cdot H_1^{3/2}$$

Dimana:  $Q_{100}$  = Debit rencana = 1994,4 m<sup>3</sup>/dt

$C_d$  = koefisien debit ( $C_d=C_0.C_1.C_2$ )

$Be$  = Lebar efektif bendung (m)

$H_1$  = Tinggi energi di hulu (m)

$g$  = Gravitasi (9,80 m/dt<sup>2</sup>)

Asumsi:

$$H_1/r \geq 2,5 \quad \longrightarrow \quad C_0 = 1,39$$

$$P/ H_1 \geq 0,5 \quad \longrightarrow \quad C_1 = 0,99$$

$$P/Hd \geq 0,5 \quad \longrightarrow \quad C_2 = 0,99$$

$$C_d = C_0.C_1.C_2 = 1,39 \times 0,99 \times 0,99 = 1,362$$

$$Q = cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g} \cdot Be \cdot H_1^{3/2}$$

$$1994,4 = 1,362 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}9,80} \times (173-0,46.H_1) \times H_1^{3/2}$$

Tabel 11. Perhitungan H hulu dengan cara coba-coba

H	Q
2,9	1969,083
2,91	1979,224
2,92	1989,382
2,925	1994,467
2,93	1999,556

Dengan cara ini didapat  $H_1$  = 2,925 m

Tinggi energi hulu ( $H_e$ ) = 22,10 + 2,925 = 27,425 m

$$B_e = 173 - 0,46H_1$$

$$= 173 - 0,46(2,925) = 171,655 \text{ m}$$

$$A = B_e(p + H_1)$$

$$= 171,655(2,4 + 2,925) = 914,06 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1994,4}{914,06} = 2,182 \text{ m/dt}$$

$$k = V^2/2g = 0,243 \text{ m}$$

$$H_d = H_1 - k = 2,925 - 0,243 = 2,682 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \times H_1 = 0,3 \times 2,925 = 0,8775$$

$$\text{jadi elevasi muka air di atas mercu} = +24,50 + 2,682 = +27,182$$

cek:

$H_1/r \geq 2,5$	Berdasarkan gambar grafik pada
$2,925/0,8775 \geq 2,5$	KP 02 hal 53, didapat nilai
$3,333 \geq 2,5 \dots\dots\dots \text{(OK)}$	koefisien $C_0 = 1,43$

$P/H_1 \geq 1,5$	Berdasarkan gambar grafik pada
$2,4/2,925 \geq 0,5$	KP 02 hal 53, didapat nilai
$0,821 \geq 0,5 \dots\dots\dots \text{(OK)}$	koefisien $C_1 = 0,95$

$P/H_d \geq 1,5$	Berdasarkan gambar grafik pada
$2,4/2,628 \geq 0,5$	KP 02 hal 54, didapat nilai
$0,895 \geq 0,5 \dots\dots\dots \text{(OK)}$	koefisien $C_2 = 1,002$

## B. Perhitungan Gaya-gaya dan Momen yang Bekerja pada Debit Q100

Untuk memudahkan dalam perhitungan stabilitas bendung, maka gaya horizontal dan gaya vertikal dikerjakan secara terpisah.

### 1. Perhitungan Gaya Vertikal

#### a. Perhitungan Berat Bangunan

Berat bangunan ini tergantung pada bahan atau material yang akan digunakan. Dan untuk bangunan Bendung Kamijoro ini menggunakan beton bertulang dengan berat jenis  $24 \text{ kN/m}^3$ . Karena peninjauannya adalah setiap lebar 1 meter, maka gaya yang diperhitungkan adalah luas bidang dikalikan berat jenis (BJ) bahan.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\text{Gaya berat sendiri pias 1} &= \text{luas pias} \times \text{BJ} \\ &= 1,95 \times 24 \\ &= -46,8 \text{ kN (nilai (-) berlawanan arah jarum jam)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen berat sendiri pias 1} &= \text{berat sendiri} \times \text{lengan momen} \\ &= -46,8 \times 43,71 \\ &= 2045,628 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Tabel 12. Perhitungan berat bangunan

No pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Berat tubuh bendung (kN)	Lengan momen horizontal (m)	Momen (kNm)
G1	1,95	24	-46,8	-43,71	2045,628
G2	6,4	24	-153,6	-43,1	6620,16
G3	3,84	24	-92,16	-42,57	3923,251
G4	3,84	24	-92,16	-40,43	3726,029
G5	10,2	24	-244,8	-38,83	9505,584
G6	4,2	24	-100,8	-38,58	3888,864

No pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Berat tubuh bendung (kN)	Lengan momen horizontal (m)	Momen (kNm)
G7	11,1	24	-266,4	-35,9	9563,76
G8	68,25	24	-1638	-19,12	31318,56
G9	3	24	-63	-0,78	49,14
G10	1,125	24	-27	-0,58	15,66
		ΣG	-2724,72	ΣMG	70656,64

b. Perhitungan Berat Air yang Membebani Bangunan

Untuk menghitung berat air yang membebani bangunan, terlebih dahulu air dibagi menjadi bentuk pias kemudian dikalikan dengan berat jenis air yaitu 10 kN/m<sup>3</sup>. dan untuk momennya adalah berat atau beban air tersebut dikali dengan lengan momennya sepanjang horizontal sejarak dari pondasi terbawah di hilir bendung sampai dengan titik berat air yang ditinjau.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya berat air pias 1} &= \text{luas pias} \times \text{BJ} \\
 &= 3,84 \times 10 \\
 &= -38,4 \text{ kN (nilai (-) berlawanan arah jarum jam)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen berat air pias 1} &= \text{berat air} \times \text{lengan momen} \\
 &= -38,4 \times 43,63 \\
 &= 1675,392 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tabel 13. Perhitungan berat air saat normal

No pias	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen horizontal (m)	Momen (kNm)
W1	3,84	10	-38,4	-43,63	1675,392
W2	2,88	10	-28,8	-45,5	1310,4
		ΣW	-67,2	ΣMW	2985,792

Tabel 14. Perhitungan berat air saat air banjir

No Pias	Luas Pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan Momen Horizontal (m)	Momen (kNm)
W1	12,91	10	-129,100	-46,39	5988,949
W2	3,48	10	-34,800	-43,63	1518,324
W3	8,58	10	-85,800	-43,10	3697,980
W4	4,31	10	-43,106	-38,58	1663,029
W5	10,81	10	-108,087	-35,94	3884,647
W6	33,26	10	-332,584	-30,51	10147,138
W7	33,26	10	-332,584	-22,50	7483,140
W8	33,26	10	-332,584	-14,50	4822,468
W9	35,34	10	-353,371	-6,25	2208,569
W10	0,88	10	-8,750	-1,67	14,613
W11	4,81	10	-48,146	-1,00	48,146
		ΣW	-1808,912	ΣMW	41477,002

c. Perhitungan Berat Lumpur

Perhitungan berat lumpur ini dihitung per meter lebar, perhitungan ini sama seperti pada perhitungan berat air, yang kemudian dikalikan dengan berat jenis tanah atau lumpur yang akan melewati dan membebani bendung.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya berat lumpur pias 1} &= \text{luas pias} \times \text{BJ} \\
 &= 1,30 \times 12,74 \\
 &= -16,56 \text{ kN (nilai (-) berlawanan arah jarum jam)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen berat lumpur pias 1} &= \text{berat lumpur} \times \text{lengan momen} \\
 &= -16,56 \times -44,16 \\
 &= 731,15 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tabel 15. Perhitungan berat lumpur per m<sup>1</sup>

No pias	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen horizontal (m)	Momen (kNm)
Lumpur	1,30	12,74	-16,56	-44,16	731,15
		$\sum l_{pr}$	-16,56	$\sum M l_{pr}$	731,15

d. Perhitungan Gaya Angkat Air (uplift)

Dengan menggunakan teori Lane bahwa dengan cara membagi-bagi beda tinggi energi pada bendung sesuai panjang relatif di sepanjang pondasi, maka dapat diketahui gaya *uplift* yang bekerja, baik pada saat banjir maupun saat air normal.

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

$$L_x = L_v + \frac{1}{3} L_H$$

Dengan :

$P_x$  = gaya angkat dititik x (kg/m<sup>2</sup>)

$L_x$  = jarak panjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

$H_x$  = tinggi muka air di hulu bendung sampai titik x yang ditinjau (m)

$\Delta H$  = beda tinggi energi (m)

$L$  = panjang total bidang kontak (m)

$L_v$  = panjang bidang vertikal (m)

$L_H$  = panjang bidang horizontal (m)

Penyelesaian:

$$L_1 = 0 + \frac{1}{3} 0 = 0 \text{ m}$$

$$P_1 = 2,90 - \frac{0}{27,90} \times 2,65 = 2,90 \text{ kg/m}^2 = 0,029 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 16. Perhitungan gaya angkat pada titik x pada saat normal

No titik	Hx (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	Lx (m)	Px (kg/m <sup>2</sup> )	Px (kN/m <sup>2</sup> )
1	2,90	27,90	2,65	0,00	2,90	0,029
2	5,40	27,90	2,65	2,50	5,16	0,052
3	5,40	27,90	2,65	3,00	5,12	0,051
4	4,40	27,90	2,65	4,00	4,02	0,040
5	4,40	27,90	2,65	4,70	3,95	0,040
6	6,40	27,90	2,65	6,70	5,76	0,058
7	6,40	27,90	2,65	7,20	5,72	0,057
8	8,40	27,90	2,65	9,20	7,53	0,075
9	8,40	27,90	2,65	9,90	7,46	0,075
10	6,90	27,90	2,65	11,40	5,82	0,058
11	5,90	27,90	2,65	22,40	3,77	0,038
12	6,90	27,90	2,65	23,40	4,68	0,047
13	6,90	27,90	2,65	23,65	4,65	0,047
14	2,65	27,90	2,65	27,90	0,00	0,000

Tabel 17. Perhitungan gaya angkat pada titik x pada saat banjir

No Titik	Hx (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	Lx (m)	Px (kg/m <sup>2</sup> )	Px (kN/m <sup>2</sup> )
1	5,58	27,90	2,92	0,00	5,58	0,056
2	8,08	27,90	2,92	2,50	7,82	0,078
3	8,08	27,90	2,92	3,00	7,77	0,078
4	7,08	27,90	2,92	4,00	6,66	0,067
5	7,08	27,90	2,92	4,70	6,59	0,066
6	9,08	27,90	2,92	6,70	8,38	0,084
7	9,08	27,90	2,92	7,20	8,33	0,083
8	11,08	27,90	2,92	9,20	10,12	0,101
9	11,08	27,90	2,92	9,90	10,04	0,100
10	9,58	27,90	2,92	11,40	8,39	0,084
11	8,58	27,90	2,92	22,40	6,24	0,062
12	9,58	27,90	2,92	23,40	7,13	0,071
13	9,58	27,90	2,92	23,65	7,10	0,071
14	5,33	27,90	2,92	27,90	2,41	0,024

Karena gaya tekan ke atas diandaikan berbentuk trapesium, maka untuk menghitungnya digunakan rumus trapesium:



$$U_x = 1/2 * (\text{jumlah sisi sejajar}) * h * \gamma_w$$

Penyelesaian:

$$U_1 = 1/2 \times (0,052 + 0,051) \times 1,5 \times 10 = 0,77 \text{ kN}$$

Tabel 18. Perhitungan gaya *uplift* dan momen pada saat normal

No gaya	Luas trapesium (m <sup>2</sup> )		h (m)	$\partial w$ (kN/m <sup>3</sup> )	U <sub>x</sub> (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)	
	Jumlah sisi sejajar							
U1	0,5	0,052	0,051	1,50	10,00	0,77	-43,95	-33,88
U2	0,5	0,051	0,040	0,90	10,00	0,41	-42,70	-17,55
U3	0,5	0,040	0,040	2,10	10,00	0,84	-41,24	-34,53
U4	0,5	0,040	0,058	1,20	10,00	0,58	-39,71	-23,15
U5	0,5	0,058	0,057	1,50	10,00	0,86	-38,25	-32,93
U6	0,5	0,057	0,075	0,90	10,00	0,60	-37,11	-22,11
U7	0,5	0,075	0,075	2,10	10,00	1,57	-35,54	-55,92
U8	0,5	0,075	0,038	33,00	10,00	18,53	-10,68	-197,93
U9	0,5	0,038	0,047	0,75	10,00	0,32	-1,17	-0,37
U10	0,5	0,047	0,047	0,75	10,00	0,35	-0,38	-0,13
$\Sigma U$					24,48	$\Sigma MU$	-418,38	

Tabel 19. Perhitungan gaya *uplift* dan momen pada saat banjir

No gaya	Luas trapesium (m <sup>2</sup> )		h (m)	$\partial w$ (kN/m <sup>3</sup> )	U <sub>x</sub> (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)	
	Jumlah sisi sejajar							
U1	0,5	0,078	0,078	1,50	10,00	1,17	-43,95	-51,37
U2	0,5	0,078	0,067	0,90	10,00	0,65	-42,72	-27,74
U3	0,5	0,067	0,066	2,10	10,00	1,39	-41,24	-57,37
U4	0,5	0,066	0,084	1,20	10,00	0,90	-39,67	-35,62
U5	0,5	0,084	0,083	1,50	10,00	1,25	-38,25	-47,92
U6	0,5	0,083	0,101	0,90	10,00	0,83	-37,09	-30,78
U7	0,5	0,101	0,100	2,10	10,00	2,12	-35,54	-75,23
U8	0,5	0,100	0,062	33,00	10,00	26,86	-12,60	-338,45
U9	0,5	0,062	0,071	0,75	10,00	0,50	-1,15	-0,58
U10	0,5	0,071	0,071	0,75	10,00	0,53	-0,37	-0,20
$\Sigma U$					35,67	$\Sigma MU$	-665,07	

## 2. Perhitungan Gaya Horizontal

### a. Perhitungan Tekanan Air

#### 1) Tekanan Air di Hulu Bendung

Pada perhitungan tekanan air di hulu bendung caranya adalah perkalian antara luas pias dengan berat jenis air yaitu  $10 \text{ kN/m}^3$ .

$$\begin{aligned}\text{Gaya tekanan air pias 1} &= \text{luas pias} \times \text{BJ} \\ &= 2,88 \times 10 \\ &= 28,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen tekanan air pias 1} &= \text{tekanan air} \times \text{lengan momen} \\ &= 28,8 \times 5,30 \\ &= 152,64 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Tabel 20. Perhitungan tekanan air di hulu bendung saat normal

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hu1	2,88	10	28,80	5,30	152,64
		$\Sigma \text{Hu}$	28,80	$\Sigma \text{MHu}$	152,64

Tabel 21. Perhitungan tekanan air di hulu bendung saat air banjir

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hu1	2,88	10	28,80	5,30	152,64
Hu2	6,44	10	64,35	5,70	366,80
		$\Sigma \text{Hu}$	93,15	$\Sigma \text{MHu}$	519,44

#### 2) Tekanan Air di Hilir Bendung

Pada perhitungan dari perencanaan muka air banjir, gaya tekan air di hilir mempunyai pengaruh sebagai gaya pelawan atau gaya penahan dari gaya tekan air di hilir, yang juga akan berpengaruh terhadap stabilitas geser bendung.

Tabel 22. Perhitungan tekanan air di hilir bendung

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hd	2,90	10,00	-28,98	5,05	-146,33
		∑Hu	-28,98	∑MHu	-146,33

b. Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandaikan berbentuk trapesium dan tersebar secara merata. Menurut Dirjen Pengairan DPU KP 06 (1986) digunakan rumus: Untuk dasar segi empat dengan panjang L dan lebar 1,0 m,  $I = \beta/12$  dan  $A = 1$ , maka rumus tekanan vertikal pondasi menjadi:

$$P = \frac{\sum W}{1} \left\{ 1 + \frac{12e}{L^2} m \right\}$$

Dengan:

P = tekanan vertikal pondasi (kN/m<sup>2</sup>)

∑(W) = keseluruhan gaya vertikal termasuk tekanan ke atas, tetapi tidak termasuk reaksi pondasi, (kN)

A = luas dasar (m<sup>2</sup>)

e = eksentrisitas pembebanan, jarak titik pusat gravitasi sampai titik potong resultante dengan dasar

m = jarak titik pusat luas dasar sampai ke titik dimana tekanan yang dikehendaki (m)

Diketahui:

$$\sum(W)_{\text{banjir}} = -4585,86 \text{ kN}$$

$$\sum(W)_{\text{normal}} = -2832,96 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
e_{\text{normal}} &= -12,00 \\
e_{\text{banjir}} &= -10,42 \\
L &= 27,90 \text{ m} \\
m &= 13,95 \text{ m}
\end{aligned}$$

Jadi tekanan vertikal pondasi saat banjir:

$$p = \frac{\Sigma W}{1} \left\{ 1 + \frac{12e}{L^2} m \right\} = \frac{-4585,86}{1} \left\{ 1 + \frac{12 \times -10,42}{27,90^2} 13,95 \right\} = 5686,41 \text{ kN /m}^2$$

Pada saat normal:

$$p = \frac{\Sigma W}{1} \left\{ 1 + \frac{12e}{L^2} m \right\} = \frac{-28,96}{1} \left\{ 1 + \frac{12 \times -12}{27,90^2} 13,95 \right\} = 4477,63 \text{ kN /m}^2$$

Sedang tekanan vertikal maksimum pada ujung bangunan saat banjir:

$$P' = \frac{\Sigma(W)}{L} \times \left( 1 + \frac{6e}{L} \right) = \frac{-458,86}{27,90} \left\{ 1 + \frac{6 \times -10,42}{27,90} \right\} = 203,81 \text{ kN /m}^2$$

Pada saat normal:

$$p' = \frac{\Sigma W}{L} \left\{ 1 + \frac{6e}{L} \right\} = \frac{-28,96}{27,90} \left\{ 1 + \frac{6 \times -12,00}{27,90} \right\} = 160,49 \text{ kN /m}^2$$

dengan  $m' = m'' = \frac{1}{2}L$ , maka tekanan vertikal minimum:

$$P''_{\text{banjir}} = \frac{\Sigma(W)}{L} \times \left( 1 - \frac{6e}{L} \right) = \frac{-4585,86}{27,90} \left\{ 1 - \frac{6 \times -10,42}{27,90} \right\} = -532,55 \text{ kN /m}^2$$

$$P''_{\text{normal}} = \frac{\Sigma(W)}{L} \times \left( 1 - \frac{6e}{L} \right) = \frac{-4585,86}{27,90} \left\{ 1 - \frac{6 \times -10,42}{27,90} \right\} = -363,57 \text{ kN /m}^2$$

c. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

1) Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah yang bergerak ke bawah ke samping dinding suatu struktur bangunan penahan tanah. Sedang tanah pasif adalah tanah yang bergerak berlawanan dari tanah aktif dan berfungsi menjaga kestabilan struktur. Menurut Dirjen Pengairan DPU KP 06 (1986) digunakan rumus:

$$P_a = 0,5K_a\gamma H^2$$

$$K_a = tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Dengan:

$P_a$  = tekanan tanah aktif total (kN/m)

$K_a$  = koefisien tekanan aktif

$\gamma$  = berat jenis tanah/volume tanah (kN /m<sup>3</sup>)

H = kedalaman tanah (m)

c = tegangan geser efektif (kN /m<sup>3</sup>)

$\varphi$  = sudut gesek internal (°)

Diketahui:

$\gamma$  = 12,74 kN /m<sup>3</sup> (hasil geologi setempat)

$\varphi$  = 30 ° (hasil geologi setempat)

c = 20,29 kN /m<sup>2</sup> (hasil geologi setempat)

H = 6,00 m

$$K_a = tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_a = tg^2 \left( 45 - \frac{30}{2} \right) = 0,333$$

Jadi tekanan tanah aktif:

$$\begin{aligned}P_a &= 0,5K_a\gamma H^2 - 2c\sqrt{K_a}HP_a \\ &= 0,5 \times 0,333 \times 12,74 \times 6^2 \\ &= 76,44 \text{ kN}\end{aligned}$$

2) Tekanan Tanah Pasif

$$\begin{aligned}P_p &= -0,5K_p\gamma H^2 \\ K_p &= tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)\end{aligned}$$

Dengan:

$$\begin{aligned}P_a &= \text{tekanan tanah aktif total (kN /m)} \\ K_a &= \text{koefisien tekanan aktif}\end{aligned}$$

Diketahui:

$$\begin{aligned}\gamma &= 12,74 \text{ kN /m}^3 \text{ (hasil geologi setempat)} \\ \varphi &= 30^\circ \text{ (hasil geologi setempat)} \\ c &= 20,29 \text{ kN/m}^2 \text{ (hasil geologi setempat)} \\ H &= 5,75 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_p &= tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \\ K_p &= tg^2\left(45 + \frac{30}{2}\right) = 3\end{aligned}$$

Jadi tekanan tanah pasif:

$$\begin{aligned}P_p &= -0,5K_p\gamma H^2 \\ P_p &= -(0,5 \times 3 \times 12,74 \times 5,75^2) \\ &= -631,824 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tabel 23. Rekapitulasi tekanan tanah

	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Pa	76,44	0,50	38,22
Pp	-631,82	0,42	-265,37

d. Perhitungan Tekanan Lumpur

Menurut Dirjen Pengairan DPU KP 06 (1986), tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung:

$$P_s = \frac{\gamma_s H^2}{2} \left( \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \right)$$

Diketahui :

$$\gamma_s = 12,74 \text{ kN/m}^3 \text{ (hasil geologi setempat)}$$

$$\phi = 30^\circ \text{ (hasil geologi setempat)}$$

$$H = 1,60 \text{ m}$$

Penyelesaian:

$$P_s = \frac{\gamma_s H^2}{2} \left( \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \right)$$

$$P_s = \frac{12,74 \times 1,6^2}{2} \left( \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} \right)$$

$$= 5,436 \text{ kN}$$

Tabel 24. Rekapitulasi tekanan lumpur

	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Ps	5,44	5,77	31,36
$\sum P_s$	5,44	$\sum MP_s$	31,36

e. Perhitungan Gaya Gempa Akibat Struktur

Faktor-faktor beban akibat gempa yang digunakan pada bangunan pengairan diberikan dalam bentuk peta yang dibuat DPMA. Dalam KP-06 Parameter Bangunan dipakai rumus:

$$a_d = n(a_c * z)^m$$

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

Diketahui:

$n = 1,56$  (karena tanah berjenis aluvium, yaitu tanah yang mengalami pengendapan oleh air sungai sehingga menjadi berlapis dengan endapan antara lain lempung, lanau, pasir dan kerikil)

$m = 0,89$  (karena tanah berjenis aluvium, yaitu tanah yang mengalami pengendapan oleh air sungai sehingga menjadi berlapis dengan endapan antara lain lempung, lanau, pasir dan kerikil)

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

$g = 980 \text{ cm/dt}^2$

$z = 1,00$  (koefisien zona gempa)

Penyelesaian:

$$a_d = n(a_c * z)^m$$

$$a_d = 1,56(160 * 1,00)^{0,89} = 142,821 \text{ cm/dt}^2$$

Jadi koefisien gempanya:

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

$$E = \frac{142,821}{980} = 0,146$$



Tabel 25. Rekapitulasi gaya gempa akibat struktur

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN /m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Koefisien gempa (E)	Beban gempa kN	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
1	1,95	24,00	46,80	0,146	6,82	2,04	13,91
2	6,40	24,00	153,60	0,146	22,38	3,50	78,35
3	3,84	24,00	92,16	0,146	13,43	5,30	71,18
4	3,84	24,00	92,16	0,146	13,43	5,30	71,18
5	10,20	24,00	244,80	0,146	35,68	3,38	120,59
6	4,20	24,00	100,80	0,146	14,69	1,60	23,50
7	11,10	24,00	266,40	0,146	38,82	0,61	23,68
8	68,25	24,00	1638,00	0,146	238,71	1,49	355,68
9	2,63	24,00	63,00	0,146	9,18	3,28	30,11
10	1,13	24,00	27,00	0,146	3,93	0,55	2,16
				$\Sigma Gp$	397,09	$\Sigma MGp$	790,37

## 3. Rekapitulasi Total Gaya dan Momen Yang Bekerja

Tabel 26. Rekapitulasi total gaya dan momen pada saat muka air normal

No	Nama	Kode Gaya	Gaya/Beban kN	Kode momen	Momen kNm
Gaya Vertikal (KN)		V			
1	Berat sendiri	$\Sigma G$	-2724,72	$\Sigma MG$	70656,64
2	Berat air	$\Sigma W$	-67,20	$\Sigma MW$	2985,79
3	Berat lumpur	$\Sigma lpr$	-16,56	$\Sigma Mlpr$	731,15
4	Tekanan ke atas	$\Sigma U$	24,48	$\Sigma MU$	-418,38
Gaya Horizontal (KN)		H			
1	Tekanan air hulu	$\Sigma Hu$	28,80	$\Sigma MHu$	152,64
2	Tekanan tanah aktif	$\Sigma Pa$	76,44	$\Sigma MPa$	38,22
3	Tekanan tanah pasif	$\Sigma Pp$	-631,82	$\Sigma MPp$	-265,37
4	Tekanan lumpur	$\Sigma Ps$	5,44	$\Sigma MPs$	31,36
5	Gempa	$\Sigma Gp$	397,09	$\Sigma MGp$	790,37

Tabel 27. Rekapitulasi total gaya dan momen pada saat muka air banjir

No	Nama	Kode Gaya	Gaya/Beban kN	Kode momen	Momen kNm
Gaya Vertikal (KN)		V			
1	Berat sendiri	$\Sigma G$	-2724,72	$\Sigma MG$	70656,64
2	Berat air	$\Sigma W$	-1808,91	$\Sigma MW$	41477,00
3	Berat lumpur	$\Sigma lpr$	-16,56	$\Sigma Mlpr$	731,15
4	Tekanan ke atas	$\Sigma U$	35,67	$\Sigma MU$	-665,07
Gaya Horizontal (KN)		H			
1	Tekanan air hulu	$\Sigma Hu$	93,15	$\Sigma MHu$	519,44
2	Tekanan air hilir	$\Sigma Hd$	-28,98	$\Sigma MHd$	-146,33
3	Tekanan tanah aktif	$\Sigma Pa$	76,44	$\Sigma MPa$	38,22
4	Tekanan tanah pasif	$\Sigma Pp$	-631,82	$\Sigma MPp$	-265,37
5	Tekanan lumpur	$\Sigma Ps$	5,44	$\Sigma MPs$	31,36
6	Gempa	$\Sigma Gp$	397,09	$\Sigma MGp$	790,37

### C. Perhitungan Analisis Stabilitas Bendung pada Debit Normal dan Debit Banjir Q100

#### 1. Stabilitas Terhadap Penggulingan

$$(FK) = \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} \geq 1,5$$

##### a) Pada Saat Muka Air Banjir

$$\begin{aligned} \Sigma MT &= MG + MW + Mlpr + MHd + MPp \\ &= 70656,64 + 41477 + 731,15 + (-146,33) + (-265,37) \\ &= 112453,10 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma MG &= MU + MHu + MPa + MPs + MGp \\ &= (-665,07) + 519,44 + 38,22 + 31,36 + 790,37 \\ &= 714,32 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$FK = \frac{112453,10}{714,32} = 157,43 \geq 1,5 \quad \dots \text{Aman}$$

b) Pada Saat Muka Air Normal

$$\begin{aligned}\sum MT &= MG + MW + Mlpr + MPp \\ &= 70656,64 + 2985,79 + 731,15 + (-265,37) \\ &= 74108,21 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum MG &= MU + MHu + MPa + MPs + MGp \\ &= (-418,38) + 152,64 + 38,22 + 31,36 + 790,79 \\ &= 594,21 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$FK = \frac{74108,21}{594,21} = 124,72 \geq 1,5 \quad \dots \text{ Aman}$$

2. Stabilitas Terhadap Penggeseran

$$Fk = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,5$$

$$Fk = \frac{\sum V \tan \delta}{\sum H} > 1,5$$

Dimana:  $\varphi = 30^\circ$  (penyelidikan geologi setempat)

$\delta = 2/3 \varphi$  (menurut Christady, 2006)

$$= 2/3 \times 30^\circ = 20^\circ$$

a) Pada Saat Muka Air Banjir

$$\begin{aligned}\sum V &= \sum G + \sum W + \sum lpr - \sum U \\ &= (-2724,72) + (-1808,91) + (-16,56) + 35,67 \\ &= -4585,86 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma H &= \Sigma Hu + \Sigma Hd + \Sigma Pa + \Sigma Pp + \Sigma Ps + \Sigma Gp \\ &= 93,15 + (-28,98) + 76,44 + (-631,82) + 5,44 + 397,09 \\ &= -88,69 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Fk &= \frac{\Sigma Vtg\delta}{\Sigma H} > 1,5 \\ &= \frac{-4585,86 \times tg(20^\circ)}{-88,69} = 18,820 > 1,5 \quad \dots \text{ Aman}\end{aligned}$$

b) Pada Saat Muka Air Normal

Dimana:

$$\begin{aligned}\Sigma V &= \Sigma G + \Sigma W + \Sigma lpr - \Sigma U \\ &= (-2724,72) + (-67,20) + (-16,56) + 24,48 \\ &= -2832,96 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma H &= \Sigma Hu + \Sigma Pa + \Sigma Pp + \Sigma Ps + \Sigma Gp \\ &= 28,80 + 76,44 + (-631,82) + 5,44 + 397,09 \\ &= -124,06 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Fk &= \frac{\Sigma Vtg\delta}{\Sigma H} > 1,5 \\ &= \frac{-2832,96 \times tg(20^\circ)}{-124,06} = 8,311 > 1,5 \quad \dots \text{ Aman}\end{aligned}$$

3. Tinjauan Terhadap Eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} \left( \frac{MT - MG}{V} \right) < \frac{B}{6}$$

a) Pada Saat Muka Air Banjir

Dimana:

$$B = 27,90 \text{ m}$$

$$MT = 112453,10 \text{ kNm}$$

$$MG = 714,32 \text{ kNm}$$

$$V = -4585,86 \text{ kN}$$

Penyelesaian:

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{MT - MG}{V} \right) < \frac{B}{6}$$

$$\frac{B}{6} = \frac{27,90}{6} = 4,650$$

$$\frac{B}{2} - \left( \frac{MT - MG}{V} \right) = \frac{27,90}{2} - \left( \frac{112453,10 - 714,32}{-4585,86} \right)$$

$$= -10,416 < 3,042$$

..... **Aman**

b) Pada Saat Muka Air Normal

Dimana:

$$B = 27,90\text{m}$$

$$MT = 74108,21 \text{ kNm}$$

$$MG = 594,21 \text{ kNm}$$

$$V = -2832,96 \text{ kN}$$

Penyelesaian:

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{MT - MG}{V} \right) < \frac{B}{6}$$

$$\frac{B}{6} = \frac{27,90}{6} = 4,650$$

$$\frac{B}{2} - \left( \frac{MT - MG}{V} \right) = \frac{27,90}{2} - \left( \frac{74108,21 - 594,21}{-283,96} \right)$$

$$= -12,0 < 3,042$$

..... **Aman**

#### 4. Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah, Terzaghi (1943) menganalisis dengan anggapan bahwa keruntuhan terjadi pada kondisi keruntuhan geser umum (general shear failure), dikarenakan pondasi berbentuk memanjang dan juga karena tanah pada dasar pondasi Bendung Kamijoro tersebut kasar serta juga pada pertemuan antara sisi baji dengan dasar pondasi membentuk sudut gesek dalam tanah  $\phi$ . Oleh karena itu definisi rumusnya adalah:

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

Dimana:

$$c = 20,29 \text{ kN /m}^2 \text{ (hasil geologi setempat)}$$

$$\phi = 30^\circ \text{ (hasil geologi setempat)}$$

$$N_c = 37,20$$

$$N_q = 22,50$$

$$N_\gamma = 19,70$$

$$z = 6,0 \text{ m}$$

$$\gamma = 12,74 \text{ kN /m}^3$$

$$B = 22,90 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,13 \text{ (segi empat, KP-06)}$$

$$\beta = 0,40 \text{ (KP-06)}$$

$$V_{banjir} = 4585,86 \text{ kN}$$

$$V_{normal} = 2832,96 \text{ KN}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}q_u &= \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \\&= (1,13 \times 20,29 \times 37,20) + (6 \times 12,74 \times 22,50) + (0,4 \times 22,90 \times 12,74 \times 19,70) \\&= 5373,72 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Jadi besarnya daya dukung izin:

$$q_a = \frac{q_u}{F} + \gamma \cdot z = \frac{5373,72}{3} + 12,74 \times 6 = 1867,68 \text{ kN/m}^2$$

Tinjauan terhadap daya dukung tanah pada saat muka air normal

$$\begin{aligned}\text{a) } \sigma_1 &= \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < \sigma_{izin} \\&= \frac{2832,96}{27,90} \left(1 + \frac{6 \times 10,42}{27,90}\right) = 363,568 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{izin} \dots \dots \underline{\text{Aman}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) > 0 \\&= \frac{2832,96}{27,90} \left(1 - \frac{6 \times 10,42}{27,90}\right) = 160,488 \text{ kN/m}^2 > 0 \dots \dots \underline{\text{Aman}}\end{aligned}$$

b) Pada saat muka air banjir

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < \sigma_{izin} \\&= \frac{4585,86}{27,90} \left(1 + \frac{6 \times 12}{27,90}\right) = 532,549 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{izin} \dots \dots \underline{\text{Aman}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) > 0 \\&= \frac{4585,86}{27,90} \left(1 - \frac{6 \times 12}{27,90}\right) = 203,814 \text{ kN/m}^2 > 0 \dots \dots \underline{\text{Aman}}\end{aligned}$$

## 5. Stabilitas Terhadap Erosi Bawah Tanah (piping)

Faktor aman terhadap bahaya *piping* didefinisikan oleh Lane (1935) sebagai berikut:

$$L_w = \frac{\sum L_H}{3} + \sum L_v$$

Dimana:

$$\sum L_v = 2,5 + 1 + 2 + 2 + 1,5 + 1 + 4,25 = 14,25$$

$$\sum L_H = 1,5 + 2,1 + 1,5 + 2,1 + 33 + 0,75 = 40,95$$

$$\text{Elevasi M.A.B. Hulu} = +27,18 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi M.A.B. Hilir} = +24,26 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{banjir}} = 27,18 - 24,26 = 2,92 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi M.A.N. Hulu} = +24,50 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi M.A.N. Hilir} = +21,85 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{normal}} = 24,50 - 0,70 = 2,65 \text{ m}$$

Setelah  $L_w$  diketahui maka digunakan metode *Weight Creep Ratio* (WCR).

Dan menurut penyelidikan geologi, pada kedalaman -3,00 m merupakan lapisan pasir kasar. Sesuai dengan tabel angka aman WCR (lihat Tabel 9) untuk pasir kasar adalah 5,0.

a) Pada Saat Muka Air Banjir

$$L_w = \frac{40,95}{3} + 14,25 = 27,90 \text{ m}$$

$$WCR = \frac{L_w}{\Delta H}$$

$$= \frac{27,90}{2,92} = 9,55 > 5,0 \text{ (nilai WCR pasir kasar) } \dots \text{ Aman }$$



b) Pada Saat Muka Air Normal

$$L_w = \frac{40,95}{3} + 14,25 = 27,90 \text{ m}$$

$$WCR = \frac{L_w}{\Delta H}$$

$$= \frac{27,90}{2,65} = 10,53 > 5,0 \text{ (nilai WCR pasir kasar) } \dots \text{ Aman}$$

#### D. Perhitungan Gaya-gaya dan Momen yang Bekerja Beserta Analisis

##### Stabilitas Bendung pada Debit Banjir Q200

1. Perhitungan Tinggi Muka Air di Mercu

$$\begin{aligned} Be &= B - 2(n.Kp + Ka)H_1 \\ &= 173 - 2(3 \times 0,01 + 0,20)H_1 \\ &= 173 - 0,46H_1 \end{aligned}$$

$$Q = cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g \cdot Be \cdot H_1^{3/2}}$$

Asumsi:

$$H_1/r \geq 2,5 \quad \longrightarrow \quad C_0 = 1,39$$

$$P/H_1 \geq 0,5 \quad \longrightarrow \quad C_1 = 0,99$$

$$P/Hd \geq 0,5 \quad \longrightarrow \quad C_2 = 0,99$$

$$Cd = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 = 1,39 \times 0,99 \times 0,99 = 1,362$$

$$Q = cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g \cdot Be \cdot H_1^{3/2}}$$

$$2123,5 = 1,362 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}9,80} \times (173 - 0,46.H_1) \times H_1^{3/2}$$

Tabel 28. Perhitungan H hulu dengan cara coba-coba

H	Q
3,02	2091,885
3,03	2102,228
3,04	2112,587
3,05	2123,481
3,06	2133,354

Dengan cara ini didapat  $H_1 = 3,05 \text{ m}$

Tinggi energi hulu (He) =  $22,10 + 3,05 = 27,288 \text{ m}$

$$\begin{aligned} B_e &= 173 - 0,46H_1 \\ &= 173 - 0,46(3,05) \\ &= 171,597 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= B_e(p + H_1) \\ &= 171,597(2,4 + 3,05) \\ &= 935,29 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2123,5}{935,29} = 2,27 \text{ m/dt}$$

$$k = V^2/2g = 0,263 \text{ m}$$

$$H_d = H_1 - k = 3,05 - 0,263 = 2,79 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \times H_1 = 0,3 \times 3,05 = 0,92$$

jadi elevasi muka air di atas mercu =  $+24,50 + 2,79 = +27,29$

cek :

$H_1/r \geq 2,5$	Berdasarkan gambar grafik pada
$3,05/0,92 \geq 2,5$	KP 02 hal 53, didapat nilai
$3,333 \geq 2,5$ ..... (OK)	koefisien $C_0 = 1,43$

$P/H_1 \geq 1,5$   
 $2,4/3,05 \geq 0,5$   
 $0,786 \geq 0,5$  .....(OK)

Berdasarkan gambar grafik pada  
 KP 02 hal 53, didapat nilai  
 koefisien  $C_1 = 0,93$

$P/H_d \geq 1,5$   
 $2,4/2,79 \geq 0,5$   
 $0,861 \geq 0,5$  ..... (OK)

Berdasarkan gambar grafik pada  
 KP 02 hal 54, didapat nilai  
 koefisien  $C_2 = 1,002$

## 2. Perhitungan Berat Air yang Membebani Bangunan

Tabel 29. Perhitungan berat air saat air banjir

No pias	Luas [ias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen horizontal (m)	Momen (kNm)
W1	13,47	10	-134,681	-46,43	6253,239
W2	3,48	10	-34,800	-43,63	1518,324
W3	8,92	10	-89,200	-43,10	3844,520
W4	4,53	10	-45,298	-38,63	1749,862
W5	10,76	10	-107,555	-35,94	3865,527
W6	33,12	10	-331,200	-30,50	10101,600
W7	33,12	10	-331,200	-22,50	7452,000
W8	33,12	10	-331,200	-14,50	4802,400
W9	35,19	10	-351,900	-6,25	2199,375
W10	0,88	10	-8,750	-1,67	14,613
W11	4,78	10	-47,800	-1,00	47,800
		$\Sigma W$	-1813,584	$\Sigma MW$	41849,259

## 3. Perhitungan Gaya Angkat Air (uplift)

Tabel 30. Perhitungan gaya angkat pada titik x pada saat banjir

No titik	Hx (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	Lx (m)	Px (kg/m <sup>2</sup> )	Px (kN/m <sup>2</sup> )
1	5,69	27,90	3,05	0,00	5,69	0,057
2	8,19	27,90	3,05	2,50	7,92	0,079
3	8,19	27,90	3,05	3,00	7,86	0,079
4	7,19	27,90	3,05	4,00	6,75	0,068

No titik	Hx (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	Lx (m)	Px (kg/m <sup>2</sup> )	Px (kN/m <sup>2</sup> )
5	7,19	27,90	3,05	4,70	6,68	0,067
6	9,19	27,90	3,05	6,70	8,46	0,085
7	9,19	27,90	3,05	7,20	8,40	0,084
8	11,19	27,90	3,05	9,20	10,18	0,102
9	11,19	27,90	3,05	9,90	10,11	0,101
10	9,69	27,90	3,05	11,40	8,44	0,084
11	8,69	27,90	3,05	22,40	6,24	0,062
12	9,69	27,90	3,05	23,40	7,13	0,071
13	9,69	27,90	3,05	23,65	7,10	0,071
14	5,44	27,90	3,05	27,90	2,39	0,024

Tabel 31. Perhitungan gaya *uplift* dan momen pada saat banjir

No gaya	Luas trapesium (m <sup>2</sup> )			h (m)	$\partial w$ (kN /m <sup>3</sup> )	Ux (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
		Jumlah sisi sejajar						
U1	0,5	0,079	0,079	1,50	10	1,18	-43,95	-52,01
U2	0,5	0,079	0,068	0,90	10	0,66	-42,72	-28,10
U3	0,5	0,068	0,067	2,10	10	1,41	-41,24	-58,15
U4	0,5	0,067	0,085	1,20	10	0,91	-39,67	-36,02
U5	0,5	0,085	0,084	1,50	10	1,26	-38,25	-48,37
U6	0,5	0,084	0,102	0,90	10	0,84	-37,09	-31,02
U7	0,5	0,102	0,101	2,10	10	2,13	-35,55	-75,74
U8	0,5	0,101	0,062	33,00	10	26,97	-12,97	-349,86
U9	0,5	0,062	0,070	0,75	10	0,50	-1,15	-0,57
U10	0,5	0,070	0,071	0,75	10	0,53	-0,37	-0,20
$\Sigma U$						35,87	$\Sigma MU$	-679,85

#### 4. Perhitungan Tekanan Air

##### a. Tekanan air di hulu bendung

Tabel 32. Perhitungan tekanan air di hulu bendung saat air banjir

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hu1	2,88	10	28,80	5,30	152,66
Hu2	6,70	10	66,96	5,70	381,65
		$\Sigma Hu$	95,76	$\Sigma MHu$	534,31

b. Tekanan air di hilir bendung

Tabel 33. Perhitungan tekanan air di hilir bendung saat air banjir

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hd	2,88	10	-28,77	5,05	-145,27
		$\Sigma H_u$	-28,77	$\Sigma M_{Hu}$	-145,27

5. Rekapitulasi Total Gaya dan Momen yang Bekerja

Tabel 34. Rekapitulasi total gaya dan momen pada saat muka air banjir

No	Nama	Kode gaya	Gaya/Beban kN	Kode momen	Momen kNm
Gaya Vertikal (KN)		V			
1	Berat sendiri	$\Sigma G$	-2724,72	$\Sigma MG$	70656,64
2	Berat air	$\Sigma W$	-1813,58	$\Sigma MW$	41849,26
3	Berat lumpur	$\Sigma l_{pr}$	-16,56	$\Sigma M_{lpr}$	731,15
4	Tekanan ke atas	$\Sigma U$	35,87	$\Sigma MU$	-679,85
Gaya Horizontal (KN)		H			
1	Tekanan air hulu	$\Sigma H_u$	95,76	$\Sigma M_{Hu}$	534,31
2	Tekanan air hilir	$\Sigma H_d$	-28,77	$\Sigma M_{Hd}$	-145,27
3	Tekanan tanah aktif	$\Sigma P_a$	76,44	$\Sigma M_{Pa}$	38,22
4	Tekanan tanah pasif	$\Sigma P_p$	-631,82	$\Sigma M_{Pp}$	-265,37
5	Tekanan lumpur	$\Sigma P_s$	5,44	$\Sigma M_{Ps}$	31,36
6	Gempa	$\Sigma G_p$	397,09	$\Sigma M_{Gp}$	790,37

$$\Sigma V = \Sigma G + \Sigma W + \Sigma l_{pr} - \Sigma U$$

$$= (-2724,72) + (-1813,58) + (-16,56) + 35,86$$

$$= -4590,72 \text{ kN}$$

$$\Sigma H = \Sigma H_u + \Sigma H_d + \Sigma P_a + \Sigma P_p + \Sigma P_s + \Sigma G_p$$

$$= 95,76 + (-28,77) + 76,44 + (-631,82) + 5,44 + 397,09$$

$$= -85,87 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\sum MT &= MG + MW + Mlpr + MHd + MPp \\ &= 70656,64 + 41849,26 + 731,15 + (-145,27) + (-265,37) \\ &= 112826,41 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum MG &= MU + MHu + MPa + MPs + MGp \\ &= (-679,85) + 534,31 + 38,22 + 31,36 + 790,37 \\ &= 714,41 \text{ kNm}\end{aligned}$$

## 6. Kontrol Keamanan Stabilitas Bendung

### a. Stabilitas terhadap penggulingan

$$(FK) = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5$$

$$FK = \frac{112826,41}{714,41} = 157,93 \geq 1,5 \quad \dots \text{ Aman}$$

### b. Stabilitas terhadap pergeseran

$$Fk = \frac{\sum Vtg\delta}{\sum H} > 1,5$$

Dimana:  $\varphi = 30^\circ$  (penyelidikan geologi setempat)

$$\delta = 2/3 \varphi \text{ (menurut Christady, 2006)}$$

$$= 2/3 \times 30^\circ = 20^\circ$$

$$= \frac{-459,72 \times tg(20^\circ)}{-85,87} = 19,459 > 1,5 \quad \dots \text{ Aman}$$

### c. Tinjauan terhadap eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} \left( \frac{MT - MG}{V} \right) < \frac{B}{6}$$

$$= \frac{27,90}{2} - \left( \frac{112826,41 - 714,41}{-4590,72} \right) < \frac{27,90}{6}$$

$$= -10,47 < 4.650 \quad \dots \text{ Aman }$$

d. Tinjauan terhadap daya dukung tanah

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \text{ (data seperti perhitungan Q100)}$$

$$= (1,13 \times 20,29 \times 37,20) + (6 \times 12,74 \times 22,50) + (0,4 \times 22,90 \times 12,74 \times 19,70)$$

$$= 5373,72 \text{ kN /m}^2$$

Jadi besarnya daya dukung izin:

$$q_a = \frac{q_u}{F} + \gamma \cdot z = \frac{5373,72}{3} + 12,74 \times 6 = 1867,68 \text{ kN /m}^2$$

Tinjauan terhadap daya dukung tanah pada saat muka air banjir

$$\sigma_1 = \frac{V}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) < \sigma_{izin}$$

$$= \frac{4590,72}{27,90} \left( 1 + \frac{6 \times -10,47}{27,90} \right) = 535,077 \text{ kN /m}^2 < \sigma_{izin} \quad \dots \text{ Aman }$$

$$\sigma_2 = \frac{V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) > 0$$

$$= \frac{4590,72}{27,90} \left( 1 - \frac{6 \times -10,47}{27,90} \right) = 205,993 \text{ kN /m}^2 > 0 \quad \dots \text{ Aman }$$

e. Stabilitas terhadap *piping*

$$L_w = \frac{40,95}{3} + 14,25 = 27,90 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi M.A.B. Hulu} = +27,29 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi M.A.B. Hilir} = +24,24 \text{ m}$$

$$\Delta H_{banjir} = 27,29 - 24,24 = 3,05 \text{ m}$$

$$WCR = \frac{L_w}{\Delta H} = \frac{27,90}{3,05} = 9,15 > 5,0 \text{ (nilai WCR pasir kasar)} \quad \dots \text{ Aman }$$

**E. Perhitungan Gaya-gaya dan Momen yang Bekerja Beserta Analisis**

**Stabilitas Bendung pada Debit Q1000**

1. Perhitungan Tinggi Muka Air di atas Mercu

$$\begin{aligned} Be &= B - 2(n.Kp + Ka)H_1 \\ &= 173 - 2(3 \times 0,01 + 0,20)H_1 \\ &= 173 - 0,46H_1 \end{aligned}$$

$$Q = cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g} \cdot Be \cdot H_1^{3/2}$$

Asumsi:

$$H_1/r \geq 2,5 \quad \longrightarrow \quad C_0 = 1,39$$

$$P/H_1 \geq 0,5 \quad \longrightarrow \quad C_1 = 0,99$$

$$P/Hd \geq 0,5 \quad \longrightarrow \quad C_2 = 0,99$$

$$Cd = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 = 1,39 \times 0,99 \times 0,99 = 1,362$$

$$Q = cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g} \cdot Be \cdot H_1^{3/2}$$

$$2439,63 = 1,362 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}9,80} \times (173 - 0,46 \cdot H_1) \times H_1^{3/2}$$

Tabel 35. Perhitungan H hulu dengan cara coba-coba

H	Q
3,33	2420,097
3,34	2430,941
3,345	2436,369
3,348	2439,628
3,35	2441,801

Dengan cara ini didapat  $H_1 = 3,48$  m

Tinggi energi hulu ( $H_e$ ) = 22,10 + 3,348 = 27,848 m

$$Be = 173 - 0,46H_1$$



$$= 173 - 0,46(3,348)$$

$$= 171,46 \text{ m}$$

$$A = Be(p + H_1)$$

$$= 171,46(2,4 + 3,348)$$

$$= 985,55 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{24439,63}{985,55} = 2,48 \text{ m/dt}$$

$$k = V^2/2g = 0,312 \text{ m}$$

$$H_d = H_1 - k = 3,348 - 0,312 = 3,036 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \times H_1 = 0,3 \times 3,348 = 1,004$$

jadi elevasi muka air di atas mercu = +24,50 + 3,036 = +27,536

cek:

$$H_1/r \geq 2,5$$

$$3,348/1,004 \geq 2,5$$

$$3,333 \geq 2,5 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Berdasarkan gambar grafik pada  
KP 02 hal 53, didapat nilai  
koefisien  $C_0 = 1,43$

$$P/H_1 \geq 1,5$$

$$2,4/3,348 \geq 0,5$$

$$0,717 \geq 0,5 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Berdasarkan gambar grafik pada  
KP 02 hal 53, didapat nilai  
koefisien  $C_1 = 0,91$

$$P/H_d \geq 1,5$$

$$2,4/3,036 \geq 0,5$$

$$0,791 \geq 0,5 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Berdasarkan gambar grafik pada  
KP 02 hal 54, didapat nilai  
koefisien  $C_2 = 1,001$

2. Perhitungan Berat Air yang Membebani Bangunan

Tabel 36. Perhitungan berat air saat air banjir

No pias	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN/m <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Lengan momen horizontal (m)	Momen (kNm)
W1	14,80	10	-147,968	-46,51	6881,992
W2	3,48	10	-34,800	-43,63	1518,324
W3	9,73	10	-97,280	-43,10	4192,768
W4	4,06	10	-40,557	-38,54	1563,067
W5	10,60	10	-106,017	-35,94	3810,251
W6	32,72	10	-327,200	-30,50	9979,600
W7	32,72	10	-327,200	-22,50	7362,000
W8	32,72	10	-327,200	-14,50	4744,400
W9	34,77	10	-347,650	-6,25	2172,813
W10	0,88	10	-8,750	-1,67	14,613
W11	4,68	10	-46,800	-1,00	46,800
		$\Sigma W$	-1811,422	$\Sigma MW$	42286,626

3. Perhitungan Gaya Angkat Air (uplift)

Tabel 37. Perhitungan gaya angkat pada titik x pada saat banjir

No Titik	Hx (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	Lx (m)	Px (kg/m <sup>2</sup> )	Px (kN/m <sup>2</sup> )
1	5,94	27,90	3,05	0,00	5,94	0,059
2	8,44	27,90	3,05	2,50	8,17	0,082
3	8,44	27,90	3,05	3,00	8,11	0,081
4	7,44	27,90	3,05	4,00	7,00	0,070
5	7,44	27,90	3,05	4,70	6,93	0,069
6	9,44	27,90	3,05	6,70	8,71	0,087
7	9,44	27,90	3,05	7,20	8,65	0,087
8	11,44	27,90	3,05	9,20	10,43	0,104
9	11,44	27,90	3,05	9,90	10,36	0,104
10	9,94	27,90	3,05	11,40	8,69	0,087
11	8,94	27,90	3,05	22,40	6,49	0,065
12	9,94	27,90	3,05	23,40	7,38	0,074
13	9,94	27,90	3,05	23,65	7,35	0,074
14	5,69	27,90	3,05	27,90	2,64	0,026

Tabel 38. Perhitungan gaya *uplift* dan momen pada saat banjir

No Gaya	Luas trapesium (m <sup>2</sup> )			h (m)	$\partial w$ (kN /m <sup>3</sup> )	Ux (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
		Jumlah sisi sejajar						
U1	0,5	0,082	0,081	1,50	10,00	1,22	-43,95	-53,66
U2	0,5	0,081	0,070	0,90	10,00	0,68	-42,72	-29,06
U3	0,5	0,070	0,069	2,10	10,00	1,46	-41,25	-60,33
U4	0,5	0,069	0,087	1,20	10,00	0,94	-39,67	-37,21
U5	0,5	0,087	0,087	1,50	10,00	1,30	-38,25	-49,80
U6	0,5	0,087	0,104	0,90	10,00	0,86	-37,09	-31,86
U7	0,5	0,104	0,104	2,10	10,00	2,18	-35,55	-77,61
U8	0,5	0,104	0,065	33,00	10,00	27,80	-13,17	-366,12
U9	0,5	0,065	0,074	0,75	10,00	0,52	-1,15	-0,60
U10	0,5	0,074	0,074	0,75	10,00	0,55	-0,37	-0,20
$\Sigma U$						36,97	$\Sigma MU$	-706,25

4. Perhitungan Tekanan Air

c. Tekanan air di hulu bendung

Tabel 39. Perhitungan tekanan air di hulu bendung saat air banjir

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN /m <sup>3</sup> )	Beban kN	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hu1	2,88	10,00	28,80	5,30	152,66
Hu2	7,30	10,00	72,96	5,70	415,87
		$\Sigma Hu$	101,76	$\Sigma MHu$	568,53

d. Tekanan air di hilir bendung

Tabel 40. Perhitungan tekanan air di hilir bendung saat air banjir

No	Luas pias (m <sup>2</sup> )	BJ (kN /m <sup>3</sup> )	Beban kN	Lengan momen vertikal (m)	Momen (kNm)
Hd	2,74	10,00	-27,38	5,03	-137,71
		$\Sigma Hu$	-27,38	$\Sigma MHu$	-137,71

5. Rekapitulasi Total Gaya dan Momen yang Bekerja

Tabel 41. Rekapitulasi total gaya dan momen pada saat muka air banjir

No	Nama	Kode gaya	Gaya/Beban kN	Kode momen	Momen kNm
Gaya Vertikal (KN)		V			
1	Berat sendiri	$\Sigma G$	-2724,72	$\Sigma MG$	70656,64
2	Berat air	$\Sigma W$	-1811,42	$\Sigma MW$	42286,63
3	Berat lumpur	$\Sigma lpr$	-16,56	$\Sigma Mlpr$	731,15
4	Tekanan ke atas	$\Sigma U$	36,97	$\Sigma MU$	-706,25
Gaya Horizontal (KN)		H			
1	Tekanan air hulu	$\Sigma Hu$	101,76	$\Sigma MHu$	568,53
2	Tekanan air hilir	$\Sigma Hd$	-27,38	$\Sigma MHd$	-137,71
3	Tekanan tanah aktif	$\Sigma Pa$	76,44	$\Sigma MPa$	38,22
4	Tekanan tanah pasif	$\Sigma Pp$	-631,82	$\Sigma MPp$	-265,37
5	Tekanan lumpur	$\Sigma Ps$	5,44	$\Sigma MPs$	31,36
6	Gempa	$\Sigma Gp$	397,09	$\Sigma MGp$	790,37

$$\begin{aligned}\Sigma V &= \Sigma G + \Sigma W + \Sigma lpr - \Sigma U \\ &= (-2724,72) + (-1811,42) + (-16,56) + 36,97 \\ &= -4589,66 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma H &= \Sigma Hu + \Sigma Hd + \Sigma Pa + \Sigma Pp + \Sigma Ps + \Sigma Gp \\ &= 101,76 + (-27,38) + 76,44 + (-631,82) + 5,44 + 397,09 \\ &= -78,48 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MT &= MG + MW + Mlpr + MHd + MPp \\ &= 70656,64 + 42286,63 + 731,15 + (-137,71) + (-265,37) \\ &= 113271,34 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MG &= MU + MHu + MPa + MPs + MGp \\ &= (-706,25) + 568,53 + 38,22 + 31,36 + 790,37 \\ &= 722,24 \text{ kNm}\end{aligned}$$

6. Kontrol Keamanan Stabilitas Bendung

a. Stabilitas terhadap penggulingan

$$(FK) = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5$$

$$FK = \frac{113271,34}{722,24} = 156,82 \geq 1,5 \quad \dots \text{ Aman }$$

b. Stabilitas terhadap pergeseran

$$Fk = \frac{\sum Vtg\delta}{\sum H} > 1,5$$

Dimana:  $\varphi = 30^\circ$  (penyelidikan geologi setempat)

$$\delta = 2/3 \varphi \text{ (menurut Christady, 2006)}$$

$$= 2/3 \times 30^\circ = 20^\circ$$

$$= \frac{-4589,66 \times tg(20^\circ)}{-78,48} = 21,287 > 1,5 \quad \dots \text{ Aman }$$

c. Tinjauan terhadap eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} \left( \frac{MT - MG}{V} \right) < \frac{B}{6}$$

$$= \frac{27,90}{2} - \left( \frac{113271,64 - 722,24}{-4589,66} \right) < \frac{27,90}{6}$$

$$= -10,57 < 4.650 \quad \dots \text{ Aman }$$

d. Tinjauan terhadap daya dukung tanah

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \text{ (data seperti perhitungan Q100 dan Q200)}$$

$$= (1,13 \times 20,29 \times 37,20) + (6 \times 12,74 \times 22,50) + (0,4 \times 22,90 \times 12,74 \times 19,70)$$

$$= 5373,72 \text{ kN /m}^2$$

Jadi besarnya daya dukung izin:

$$q_a = \frac{q_u}{F} + \gamma \cdot z = \frac{5373,72}{3} + 12,74 \times 6 = 1867,68 \text{ kN /m}^2$$

Tinjauan terhadap daya dukung tanah pada saat muka air banjir

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{V}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) < \sigma_{izin} \\ &= \frac{4589,66}{27,90} \left( 1 + \frac{6 \times -10,47}{27,90} \right) = 538,464 \text{ kN /m}^2 < \sigma_{izin} \dots \textbf{Aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) > 0 \\ &= \frac{4589,66}{27,90} \left( 1 - \frac{6 \times -10,47}{27,90} \right) = 209,456 \text{ kN /m}^2 > 0 \dots \textbf{Aman} \end{aligned}$$

e. Stabilitas terhadap *piping*

$$L_w = \frac{40,95}{3} + 14,25 = 27,90 \text{ m}$$

Elevasi M.A.B. hulu = +27,54 m

Elevasi M.A.B. hilir = +24,19 m

$$\Delta H_{banjir} = 27,54 - 24,19 = 3,35 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} WCR &= \frac{L_w}{\Delta H} \\ &= \frac{27,90}{3,35} = 8,33 > 5,0 \text{ (nilai WCR pasir kasar)} \dots \textbf{Aman} \end{aligned}$$

## F. Pembahasan

Bendung Kamijoro adalah bangunan air yang mempunyai fungsi untuk menaikkan muka air agar air dapat disadap untuk keperluan jaringan irigasi, khususnya untuk daerah irigasi Kebonongan Kabupaten Bantul DIY. Sehubungan dengan dibangunnya Bendung Kamijoro tersebut, tidak kalah pentingnya adalah

bangunan tersebut haruslah kuat atau stabil baik terhadap bahaya penggulingan, pergeseran, daya dukung tanahnya, dan erosi bawah tanah (pipung).

#### 1. Keamanan terhadap penggulingan

Bangunan bendung dapat terguling apabila momen tahan (MT) lebih kecil dari momen guling (MG) (Christady, 2006), dimana momen tahan didapatkan dari hasil penjumlahan dari momen berat sendiri (MG), momen berat air di atas bangunan (MW), momen berat lumpur (Mlpr), momen tekanan air di hilir bendung (MHd), dan momen tanah pasif (MPp). Sedangkan momen guling adalah penjumlahan dari momen *uplift* (MU), momen tekanan air di hulu bendung (MHu), momen tanah aktif (MPa), momen tekanan lumpur (MPs), dan momen gempa akibat struktur bangunan itu sendiri (MGp). Maka dari itu Erman (2002), merumuskan untuk perhitungan faktor keamanan akan bahaya penggulingan adalah:  $SF = \frac{MT}{MG} \geq 1,5$  (faktor keamanan yang disyaratkan), dengan:

$$MT = MG + MW + Mlpr + MHd + MPp$$

$$MG = MU + MHu + MPa + MPs + MGp$$

$$\text{Maka dengan menggunakan rumus tersebut didapatkan } SF = \frac{MT}{MG} = \frac{74108,21}{594,21} =$$

$$124,72 > 1,5 \text{ (SF yang disyaratkan) untuk muka air normal, } SF = \frac{MT}{MG} = \frac{112453,10}{714,32} =$$

$$157,43 > 1,5 \text{ untuk debit banjir } Q_{100}, SF = \frac{MT}{MG} = \frac{112826,41}{714,41} = 157,93 > 1,5 \text{ untuk debit}$$

$$\text{banjir } Q_{200}, \text{ dan } SF = \frac{MT}{MG} = \frac{113271,34}{722,24} = 156,82 > 1,5 \text{ untuk debit banjir } Q_{1000}. \text{ Nilai}$$

SF semakin besar dikarenakan berat air semakin besar dan pada debit  $Q_{1000}$  menurun dikarenakan nilai momen *uplift* (MU) sebagai pembagi besar, tetapi masih di atas angka aman. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus Erman

(2002) tersebut, maka Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman dari bahaya penggulingan baik pada saat muka air banjir maupun pada saat muka air normal.

## 2. Keamanan terhadap penggeseran

Bergesernya bangunan sangat dipengaruhi oleh berat konstruksi (G), berat air di atas bangunan (W), berat lumpur (lpr), dan tekanan ke atas (U) sebagai gaya vertikal dan gaya tekan air di hulu (Hu), gaya tekan air di hilir (Hd), tekanan tanah aktif (Pa), tanah pasif (Pp), tekanan lumpur (Ps), dan gaya gempa (Gp) sebagai gaya yang menekan atau gaya horizontal. Koefisien geser ( $f$ ) =  $\text{tg } \delta$ , dengan  $\delta$  adalah sudut gesek tanah dasar dan dasar pondasi diambil nilai  $2/3 \phi$ .

Menurut Erman (2002), keamanan terhadap bahaya penggeseran dirumuskan:

$$SF = \frac{f.V}{H} \geq 1,5 \text{ (faktor keamanan yang disyaratkan), dengan:}$$

$$f = \text{tg } \delta = \text{tg } (2/3 \phi)$$

$$V = G + W + \text{lpr} + U$$

$$H = H_u + H_d + P_a + P_p + P_s + G_p$$

Pada hasil perhitungan yang diperoleh menurut rumus Erman (2002) di atas, pergeseran dapat diketahui dengan perbandingan besarnya *safety factor* yang telah

ditentukan, maka diperoleh  $SF = \frac{f.V}{H} = \frac{-283,96 \times \text{tg}(20^\circ)}{-124,06} = 8,31 > 1,5$  (faktor

keamanan yang disyaratkan) untuk muka air normal,  $SF = \frac{f.V}{H} = \frac{-4585,86 \times \text{tg}(20^\circ)}{-88,69} =$

$18,82 > 1,5$  untuk debit banjir  $Q_{100}$ ,  $SF = \frac{f.V}{H} = \frac{-4590,72 \times \text{tg}(20^\circ)}{-85,87} = 19,46 > 1,5$  untuk

debit banjir  $Q_{200}$ ,  $SF = \frac{f.V}{H} = \frac{-4589,66 \times \text{tg}(20^\circ)}{-78,48} = 21,29 > 1,5$  untuk debit banjir  $Q_{1000}$ .

Nilai SF untuk keamanan terhadap pergeseran bertambah dikarenakan beban air di atas bendung bertambah. Dengan demikian, menurut hasil perbandingan



perhitungan dengan faktor keamanan tersebut, maka Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap stabilitas dari bahaya penggeseran baik pada saat banjir maupun muka air normal.

### 3. Keamanan terhadap daya dukung tanah

Tinjauan terhadap daya dukung tanah sangat mempengaruhi pondasi bangunan agar tidak mengalami penurunan. Daya dukung ini sendiri sangat dipengaruhi oleh hasil pengujian tanah setempat dimana bangunan dibuat, lebar bangunan (B), eksentrisitas (e) dan gaya vertikal total (V).

Menurut Christady (2006), daya dukung tanah dapat diketahui dengan perbandingan besarnya tegangan yang diijinkan, maka dirumuskan:

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma = 5373,72 \text{ kN/m}^2$$

$$q_a = \frac{q_u}{F} + \gamma \cdot z = \frac{33820,52}{3} + 21,3 \times 4,8 = 1867,68 \text{ kN/m}^2$$

sedang tinjauan terhadap daya dukungnya yaitu:

$$\sigma_1 = \frac{V}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) < \sigma_{izin} \text{ dan } \sigma_2 = \frac{V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) > 0 \text{ dimana } \sigma_1 = \text{tegangan atau daya dukung maksimum dan } \sigma_2 = \text{tegangan atau daya dukung minimum.}$$

Berdasar perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan pada muka air normal  $\sigma_1 = 363,568 \text{ kN/m}^2 < 1867,68 \text{ kN/m}^2$  dan  $\sigma_2 = 160,488 \text{ kN/m}^2 > 0$ , untuk debit banjir  $Q_{100}$  yaitu  $\sigma_1 = 532,549 \text{ kN/m}^2 < 1867,68 \text{ kN/m}^2$ , dan  $\sigma_2 = 203,814 \text{ kN/m}^2 > 0$ , untuk debit banjir  $Q_{200}$  yaitu  $\sigma_1 = 535,077 \text{ kN/m}^2 < 1867,68 \text{ kN/m}^2$ , dan  $\sigma_2 = 205,993 \text{ kN/m}^2 > 0$ , dan untuk debit banjir  $Q_{1000}$  yaitu  $\sigma_1 = 538,464 \text{ kN/m}^2 < 1867,68 \text{ kN/m}^2$ , dan  $\sigma_2 = 209,456 \text{ kN/m}^2 > 0$ . Dengan demikian Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman ditinjau dari daya dukung tanahnya baik pada saat banjir maupun muka air normal.

#### 4. Keamanan terhadap bahaya *piping*

Data yang berpengaruh dalam perhitungan mencari besarnya angka keamanan *piping* yaitu harus mengetahui  $L_w$  yaitu jumlah total jarak vertikal dan horizontal yang dihitung berdasarkan persamaan Lane (1935), dan angka keamanan WCR yang didapat dari penyelidikan geologi setempat. Lane (1935), menganggap jalur vertikal memiliki daya tahan 3 kali lebih kuat daripada jalur horizontal. Oleh karena itu rumusnya adalah:

$$C_L = \frac{\sum L_V + \frac{1}{3} L_H}{\Delta H} = \frac{L_w}{\Delta H}$$

Selain daripada itu harus pula diketahui tinggi muka air hulu dan hilir, karena akan sangat berpengaruh dalam proporsi tekanan yang ditimbulkan. Beda tinggi energi ( $\Delta H$ ) untuk muka air normal 2,65m, untuk debit banjir  $Q_{100}$  adalah 2,92m, untuk debit banjir  $Q_{200}$  adalah 3,05m, dan untuk debit banjir  $Q_{1000}$  adalah 3,35m. dimana  $L_w$  yang didapat ( $L_w$ ) = 27,90 m. Berdasarkan rumus Lane (1935), maka didapatkan hasil  $WCR = \frac{L_w}{\Delta H} = \frac{27,90}{2,65} = 10,53 > 5$  (nilai WCR jenis pasir kasar) untuk muka air normal,  $WCR = \frac{L_w}{\Delta H} = \frac{27,90}{2,95} = 9,55 > 5$  untuk debit banjir  $Q_{100}$ ,  $WCR = \frac{L_w}{\Delta H} = \frac{27,90}{3,05} = 9,15 > 5$  untuk debit banjir  $Q_{200}$ , dan  $WCR = \frac{L_w}{\Delta H} = \frac{27,90}{3,35} = 8,33 > 5$  untuk debit banjir  $Q_{1000}$ . Nilai WCR turun dikarenakan nilai beda tinggi energi ( $\Delta H$ ) makin besar, tetapi masih diatas batas aman. Maka berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan, dengan demikian Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap bahaya *piping*, baik pada saat banjir maupun muka air normal.