

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Gaya Berat Tubuh Bendung

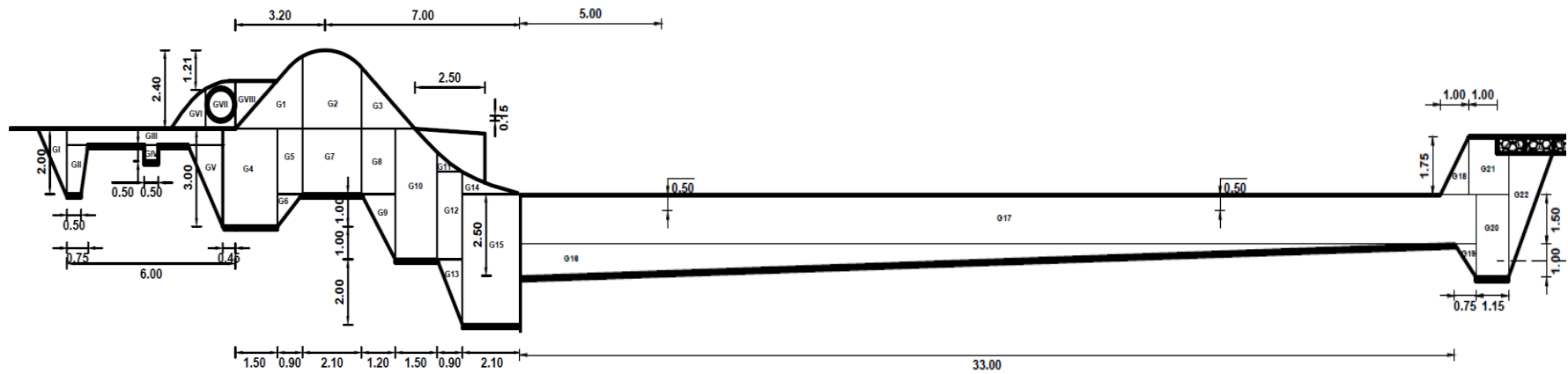
Gaya berat tubuh bendung memiliki arah vertikal kebawah dan garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Pembagian tiap pias pada struktur bendung ini dilakukan untuk memudahkan dalam perhitungannya. Pembagian pias bendung dapat dilihat pada Gambar 4.1. Berdasarkan pada Gambar 4.1, perhitungan dilakukan pada setiap pias dan berikut diberikan hasil perhitungan gaya berat tubuh Bendung Kamijoro pada Tabel 4.1. Hasil-hasil mengacu pada perhitungan di lampiran.

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Gaya Berat Tubuh Bendung

Pias	Gaya Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Tm)
	W	x	
GI	-2.45	51.45	-126.053
GII	-2.7	50.85	-137.295
GIII	-6.66	48.3	-321.678
GIV	-0.6	48.1	-28.860
GV	-3.75	45.97	-172.388
GVI	-1.83	46.57	-85.223
GVII	-2.06	45.63	-93.998
GVIII	-2.43	44.61	-108.402
G1	-6.9	43.5	-300.150
G2	-12.1	41.65	-503.965
G3	-5.5	39.97	-219.835
G4	-14.04	44.57	-625.763
G5	-4.13	43.15	-178.210
G6	-1.08	43.3	-46.764
G7	-10.08	41.65	-419.832
G8	-5.76	40	-230.400
G9	-2.88	39.8	-114.624
G10	-14.4	38.65	-556.560
G11	-0.62	37.6	-23.312
G12	-5.81	37.45	-217.585
G13	-2.16	37.3	-80.568
G14	-1.71	36.3	-62.073
G15	-20.16	35.95	-724.752
G16	-39.6	23.9	-946.440
G17	-121.5	18.4	-2235.600

G18	-2.1	1.73	-3.633
G19	-0.9	1.4	-1.260
G20	-6.9	0.58	-4.002
G21	-5.88	0.7	-4.116
G22	-7.02	-0.53	3.721
Jumlah	-313.710		-8569.618

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya berat tubuh bendung pada tabel di atas Perhitungan gaya berat bendung dikakukan dengan cara mengalikan luas dari tiap pias dengan massa jenis dari beton yang digunakan pada konstruksi bendung ini. Pada konstruksi Bendung Kamijoro ini memiliki nilai massa jenis beton sebesar 2,40 ton/m<sup>3</sup>, karena konstruksi menggunakan beton bertulang. Perhitungan momen dilakukan setelah nilai dari suatu gaya berat telah ditentukan. Momen gaya berat bendung dihitung dengan cara mengalikan antara nilai dari gaya berat dengan lengan momen, yang mana lengan momen ini menunjukkan jarak antara titik berat tiap pias bendung dengan titik tumpuan. Sehingga, setelah semua nilai gaya maupun momen dari tiap pias diketahui maka dapat dilakukan perhitungan untuk total nilai dari gaya berat bendung yaitu sebesar -313.710 ton, dengan total momen sebesar -8569.618. Momen gaya memiliki arah yang berlawanan dengan arah jarum jam, sehingga diasumsikan bernilai negatif, begitupula dengan gaya beratnya yang searah dengan gaya gravitasi sehingga diasumsikan bernilai negatif pula.



Gambar 4.1. Pembagian pias struktur Bendung Kamijoro

## 4.2. Gaya Gempa

Gaya gempa pada bendung ini memiliki arah horizontal kekanan dan garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Pembagian tiap pias pada struktur bendung ini dilakukan untuk memudahkan dalam perhitungannya, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 sebelumnya. Berdasarkan pada Gambar 4.1, perhitungan dilakukan sama seperti halnya perhitungan gaya berat tubuh bendung sebelumnya, yaitu dilakukan pada setiap pias dan berikut diberikan hasil perhitungan gaya gempa pada tubuh Bendung Kamijoro pada Tabel 4.2. Hasil-hasil mengacu pada perhitungan di lampiran.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Gaya Gempa Tubuh Bendung

Pias	Gaya Gempa (Ton)		Momen (Tm)
	H	Lengan (m) y	
GI	0.2	3.830	0.938
GII	0.3	3.250	0.878
GIII	0.7	4.250	2.831
GIV	0.1	3.750	0.225
GV	0.4	3.000	1.125
GVI	0.2	4.910	0.899
GVII	0.2	5.230	1.077
GVIII	0.2	5.050	1.227
G1	0.7	5.240	3.616
G2	1.2	5.610	6.788
G3	0.6	5.130	2.822
G4	1.4	3.000	4.212
G5	0.4	3.500	1.446
G6	0.1	2.170	0.234
G7	1.0	3.500	3.528
G8	0.6	3.500	2.016
G9	0.3	1.830	0.527
G10	1.4	2.500	3.600
G11	0.1	3.190	0.198
G12	0.6	1.840	1.069
G13	0.2	-0.170	-0.037
G14	0.2	2.720	0.465
G15	2.0	0.840	1.693
G16	4.0	0.670	2.653
G17	12.2	1.750	21.263
G18	0.2	3.080	0.647
G19	0.1	0.670	0.060
G20	0.7	1.250	0.863

G21	0.6	3.380	1.987
G22	0.7	2.500	1.755
Jumlah	31.371		70.604

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya gempa tubuh bendung di atas percepatan gempa pada lokasi bendung ini memiliki koefisien gempa ( $k_h$ ) berkisar antara 0,05-0,1 untuk periode 10 tahun dalam probabilitas terlampaui sebesar 20%, pada penelitian ini diambil percepatan gempa sebesar 0.1. sehingga dengan koefisien tersebut dapat dilakukan perhitungan gaya gempa dengan cara mengalikan dengan gaya berat bendung. Sementara itu, perhitungan momen dihitung dengan cara mengalikan antara nilai dari gaya gempa dengan lengan momen searah sumbu y. Maka, setelah semua nilai gaya maupun momen dari tiap pias diketahui dapat dilakukan perhitungan untuk total nilai dari gaya gempa yaitu sebesar 31.3710 ton, dengan total momen sebesar 70.604. Momen gaya memiliki arah yang sama dengan arah jarum jam, sehingga diasumsikan bernilai positif.

### 4.3. Gaya Tekan Air

#### 4.3.1. Gaya *Uplift* Air

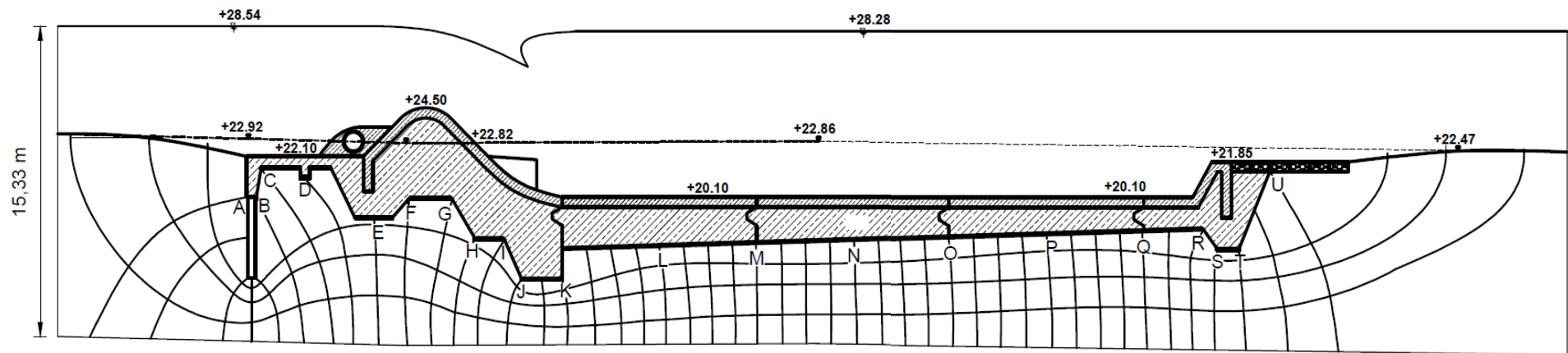
Gaya *uplift* diakibatkan oleh aliran air di dalam tanah akibat dari air yang merembes kedalam tanah pada bagian hulu sehingga menimbulkan gaya angkat air di bawah tubuh bendung. Gaya *uplift* pada bendung ini memiliki arah vertikal keatas melawan gaya berat tubuh bendung. Perhitungan gaya *uplift*, dilakukan dengan cara penggambaran jaringan aliran (*flow net*) seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Setelah dilakukan penggambaran berikutnya dilakukan perhitungan gaya *uplift*, berikut ini diberikan hasil perhitungan gaya *uplift* pada Tabel 4.3. Hasil-hasil mengacu pada perhitungan di lampiran.

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Gaya *Uplift* pada Bendung

Point	Head Drops	Tinggi Point (m)	Beda Tinggi (m)	gaya tekan (ton/m <sup>2</sup> )	Berat (ton)	Lengan (m)	Momen (Tm)
	Nd	Z	H	P	Wu	x	
A	1	7.12	15.32	8.20	8.20	51.1	419.248
B	6	7.13	15.30	8.17	8.17	50.6	413.241
C	7	8.54	15.29	6.75	6.75	50.37	340.062
D	8	8.1	15.29	7.19	7.19	48.09	345.562
E	9	6.17	15.28	9.11	9.11	44.55	405.860
F	10	7.21	15.27	8.06	8.06	42.79	345.088

G	11	7.11	15.27	8.16	8.16	40.54	330.772
H	12	5.2	15.26	10.06	10.06	39.4	396.507
I	13	5.18	15.26	10.08	10.08	37.87	381.657
J	14	3.19	15.25	12.06	12.06	37	446.314
K	16	3.19	15.24	12.05	12.05	34.9	420.597
L	20	4.82	15.22	10.40	10.40	29.9	310.941
M	24	4.93	15.20	10.27	10.27	24.95	256.167
N	28	5.1	15.18	10.08	10.08	19.9	200.495
O	32	5.33	15.15	9.82	9.82	14.9	146.362
P	36	5.56	15.13	9.57	9.57	9.89	94.656
Q	40	5.77	15.11	9.34	9.34	4.98	46.507
R	42	5.91	15.10	9.19	9.19	1.83	16.813
S	43	4.91	15.09	10.18	10.18	1.15	11.709
T	44	4.93	15.09	10.16	10.16	0	0.000
U	46	8.81	15.08	6.27	6.27	-1.56	-9.774
Jumlah						195.16	5318.78

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya *uplift* pada Tabel 4.3 di atas diketahui bahwa nilai total gaya *uplift* adalah sebesar 195.16 ton dengan momen sebesar 5318,78 ton. Momen gaya memiliki arah yang sama dengan arah jarum jam, sehingga diasumsikan bernilai positif.



Gambar 4.2. Jaringan aliran (*flow net*) Bendung Kamijoro

### 4.3.2. Gaya Berat Air

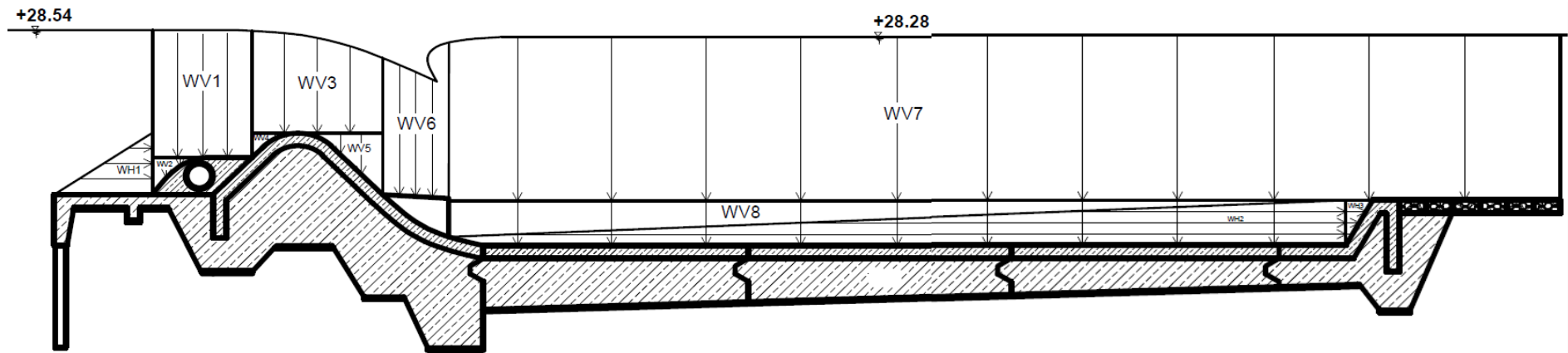
Gaya berat air diakibatkan oleh aliran air yang melaju di atas tubuh bendung, sehingga menimbulkan gaya berat vertikal maupun gaya horizontal terhadap tubuh bendung. Pembagian elemen air pada bendung dapat dilihat pada Gambar 4.3. Berdasarkan pada Gambar 4.3, berikut diberikan hasil perhitungan gaya berat air Bendung Kamijoro pada Tabel 4.4. Hasil-hasil mengacu pada perhitungan di lampiran.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Gaya Berat Air pada Bendung

Pias	Gaya Berat Air (Ton)		Lengan (m)		Momen	
	WV	WH	x	y	V	H
WV1	-18.812	0	45.49	0	-855.758	0
WV2	-1.428	0	46.71	0	-66.702	0
WV3	-19.819	0	41.16	0	-815.750	0
WV4	-0.788	0	43.06	0	-33.931	0
WV5	-3.2	0	39.7	0	-127.040	0
WV6	-15.25	0	37.45	0	-571.113	0
WV7	-268.774	0	15.3	0	-4112.242	0
WV8	-59.15	0	24.93	0	-1474.610	0
WH1	0	4.495	0	5.82	0	26.161
WH2	0	29.58	0	3.18	0	94.064
WH3	0	0.875	0	3.43	0	3.001
Jumlah	-387.221	34.95			-8057.145	123.227

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya berat air pada Tabel 4.4 di atas, perhitungan gaya berat air pada tubuh bendung ini dikakukan dengan cara mengalikan volume air dengan massa jenis air ( $1 \text{ ton/m}^3$ ), selain itu momennya dihitung dengan cara mengalikan antara nilai dari gaya berat air dengan lengan momen, yang mana lengan momen ini menunjukkan jarak antara titik berat tiap elemen air dengan titik tumpuan. Sehingga dapat diketahui bahwa nilai total gaya berat air vertikal adalah sebesar -387.221 Ton dan gaya horizontalnya adalah sebesar 34.95 Ton dengan momen vertikal sebesar -8057.145 Tm dan momen horizontal sebesar 123.227 Tm. Momen gaya vertikal memiliki arah yang berlawanan dengan arah jarum jam, sehingga diasumsikan bernilai negatif, selain itu untuk momen horizontal pun sebaliknya.





Gambar 4.3. Gaya berat air pada Bendung Kamijoro

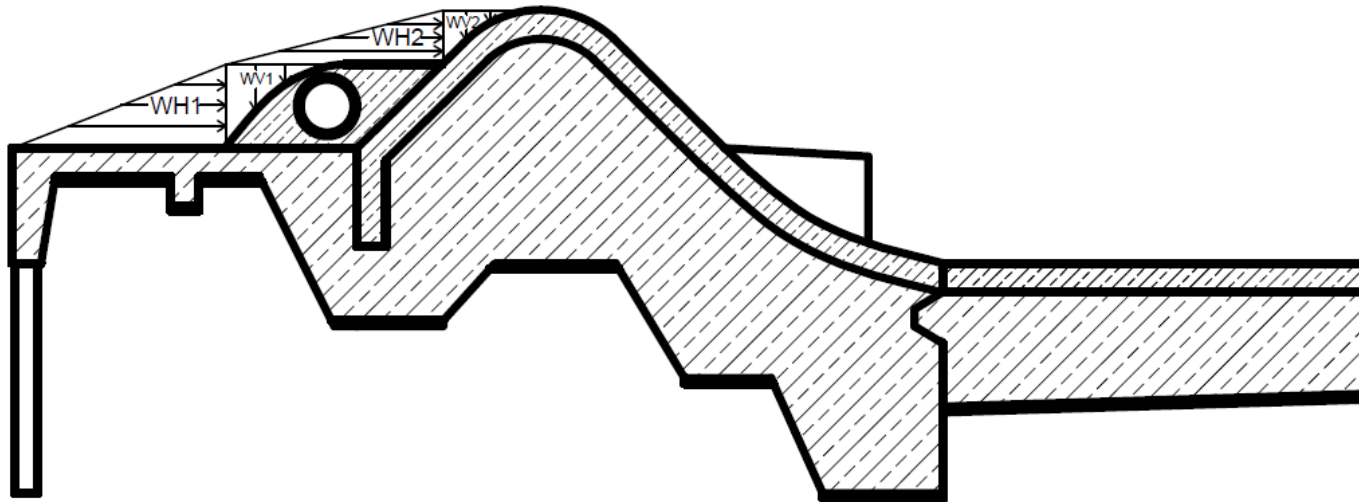
#### 4.4. Gaya Tekan Lumpur

Gaya tekan lumpur diakibatkan karena kumpulan lumpur yang mengendap pada permukaan bendung. Hal ini mengakibatkan suatu gaya tekan horizontal maupun vertikal pada tubuh bendung, yang mana gaya tersebut diberikan pada Gambar 4.4. Berdasarkan pada Gambar 4.4 Berikut diberikan hasil perhitungan gaya tekan lumpur Bendung Kamijoro pada Tabel 4.5. Hasil-hasil mengacu pada perhitungan di lampiran.

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Gaya Tekan Lumpur pada Bendung

Elm	Berat Jenis (ton/m <sup>3</sup> )		Gaya Tekan (ton/m <sup>3</sup> )		Lengan (m)		Momen (Tm)		
	Y's	Ked. (m)	PS	WV	WH	x	y	V	H
		h							
SH1		1.42	0.625	0	0.63	0	4.97	0	3.12
SH2	1.86	0.95	0.279	0	0.28	0	6.27	0	1.75
SV1		1.45	0.652	-0.65	0	46.69	0	-30.44	0
SV2		0.95	0.279	-0.28	0	43.06	0	-12.01	0
Jumlah				-0.93	0.91			-42.46	4.86

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya tekan lumpur pada Tabel 4.4, perhitungan gaya tekan lumpur pada tubuh bendung ini dikakukan dengan cara mengalikan volume lumpur yang megendap pada tubuh bendung dengan massa jenis lumpur, yang mana massa jenis lumpur ini diambil nilai sebesar 1.86 (ton/m<sup>3</sup>) dengan sudut geseknya ( $\phi$ ) sebesar 30°, hal ini didasarkan pada hasil pengujian tanah di sekitar bendung. Momen lumpur dihitung dengan cara mengalikan antara nilai dari gaya lumpur dengan lengan momen, yang mana lengan momen ini menunjukkan jarak antara titik berat tiap elemen lumpur dengan titik tumpuan. Sehingga dapat diketahui bahwa nilai total gaya tekan lumpur vertikal adalah sebesar -387.221 Ton dan gaya horizontalnya adalah sebesar 34.95 Ton dengan momen vertikal sebesar -8057.145 Tm dan momen horizontal sebesar 123.227 Tm. Momen gaya vertikal memiliki arah yang berlawanan dengan arah jarum jam, sehingga diasumsikan bernilai negatif, selain itu untuk momen horizontal pun sebaliknya.



Gambar 4.4. Gaya tekan lumpur pada Bendung Kamijoro

#### 4.5. Reaksi Pondasi

Perhitungan reaksi pondasi dapat dilakukan dengan cara membagi total gaya vertikal keseluruhan pada bendung dengan luasan tiap titik pondasi, yang mana titik pondasi diberikan pada Gambar 4.5. Berikut diberikan hasil perhitungan total gaya vertikal pada bendung dan luasan tampang tiap titik pondasi pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Total Gaya Vertikal pada Bendung

Gaya	Vertikal (Ton)
Berat sendiri	-313.710
Gaya gempa	0.000
Gaya air permukaan	-387.221
Gaya air uplift	195.164
Gaya tekan lumpur	-0.931
Jumlah	-506.698

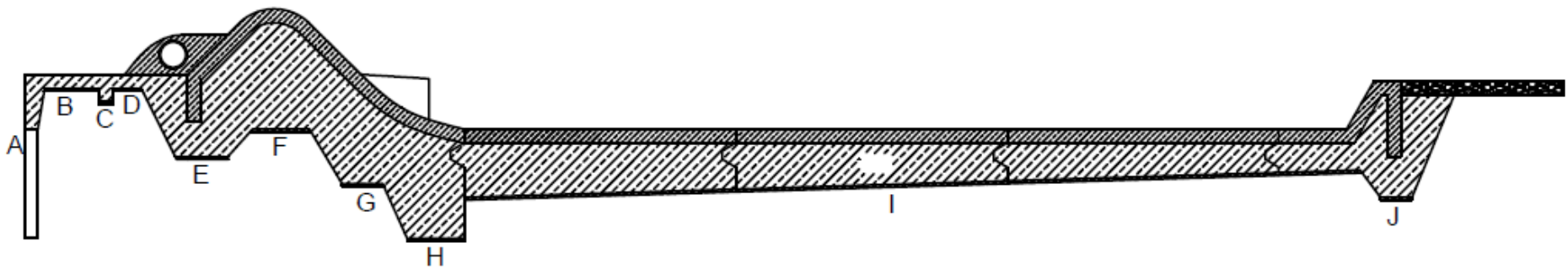
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Luasan Tampang Titik Pondasi

Pondasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas Tampang (m <sup>2</sup> )
A	0.5		0.5
B	2		2.0
C	0.5		0.5
D	1.05		1.1
E	1.95	1	2.0
F	2.1		2.1
G	1.5		1.5
H	2.1		2.1
I	33.02		33.0
J	1.15		1.2
Jumlah			45.9

Berdasarkan dari hasil perhitungan total gaya vertikal pada bendung dan luasan tampang tiap titik pondasi pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 maka dapat dilakukan perhitungan reaksi pondasi sebagai berikut.

$$q = \frac{\sum W}{A} + \frac{\sum W \times e}{i} \times m = \frac{506.698}{45.9} + \frac{506.698 \times (0)}{89002} \times 0 = 11.05 \text{ ton/m}^2$$

Maka, reaksi setiap titik pondasi pada total beban vertikal adalah sebesar 11.05 ton/m<sup>2</sup>.



Gambar 4.5. Pembagian titik pondasi

## 4.6. Cek Stabilitas Bendung

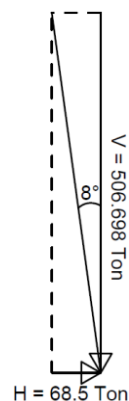
### 4.6.1. Stabilitas Terhadap Gelincir

Pengecekan stabilitas terhadap gelincir dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.9, yang mana dari persamaan tersebut dilakukan dengan membagi total gaya horizontal yang bekerja pada bendung dengan total gaya vertikal, yang mana hasilnya harus sama dengan tangen sudut resultannya dan lebih kecil dari koefisien gesek tanah dibagi faktor amannya. Berdasarkan pada Tabel 2.2 untuk harga-harga perkiraan koefisien gesekan diambil nilai 0.40 untuk jenis pasir dan nilai faktor aman diambil 2,0 yaitu untuk kondisi pembebanan normal. Berikut diberikan hasil perhitungan total gaya dan momen bendung pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Total Gaya dan Momen pada Bendung

Gaya	Vertikal (Ton)	Horizontal (Ton)	Momen (Tm)	
			Tahan	Guling
Berat sendiri	-313.710	0	-8569.618	0
Gaya gempa	0	31.371	0	70.604
Gaya berat air	-387.221	36.225	-8057.145	130.647
Gaya uplift air	195.16	0	0	5318.784
Gaya tekan lumpur	-0.931	0.904	-42.45562	4.85558
Jumlah	-506.698	68.5	-16669.219	5524.891

Berdasarkan dari hasil perhitungan total gaya dan momen pada tubuh bendung pada Tabel 4.8 di atas maka resultan gaya dapat dilukiskan pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6. Resultan Gaya Bendung Kamijoro

Pengecekan stabilitas terhadap geser dilakukan dengan Persamaan 2.9 berikut.

$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{s}$$

$$\frac{68.5}{506.698} = \tan 8^\circ < \frac{0.40}{2} \rightarrow 0.14 = 0.14 < 0.2 \text{ (Aman)}$$

Maka, Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap gelincir.

#### 4.6.2. Stabilitas Terhadap Guling

Pengecekan stabilitas terhadap guling dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.10, yang mana dari persamaan tersebut menyebutkan bahwa bendung dikatakan aman terhadap guling apabila tebal lantai kolam olah pada titik yang ditinjau haruslah lebih besar atau sama dengan dari gaya angkat air pada titik tersebut dikurang kedalaman air dibagi berat jenis bahan, karena bendung terbuat dari beton maka berat jenis bahan dengan nilai 2,4 ton/m<sup>3</sup>. Pada penelitian ini diambil dua titik tinjauan pada lantai kolam olah untuk mewakili secara keseluruhan, yaitu titik M dan titik Q, yang mana kedua titik ini dapat dilihat di gambar jaringan aliran Bendung Kamijoro yaitu pada Gambar 4.2. Berdasarkan pada Tabel 4.3 untuk hasil perhitungan gaya *uplift* telah diketahui nilai gaya *uplift* untuk titik M dan Q adalah sebesar 10.2 ton/m<sup>2</sup> dan 9.34 ton/m<sup>2</sup>, dengan kedalaman air pada hilir sebesar 8.18 m. Selain itu, tebal lantai beton pada titik tersebut adalah sebesar 2.3 m dan 1,69 m. Perhitungan dilakukan dengan kondisi pembebanan normal dengan faktor aman 1.5 dan dilakukan dengan Persamaan 2.10 berikut.

Titik M :

$$dx \geq S \frac{PM-WM}{\tau}$$

$$2.3 \geq 1.5 \frac{10.2-8.18}{2.4}$$

$$2.3 \geq 1.26 \text{ (Aman)}$$

Titik Q:

$$dx \geq S \frac{PQ-WQ}{\tau}$$

$$1.69 \geq 1.5 \frac{9.34-8.18}{2.4}$$

$$1.69 \geq 0.725 \text{ (Aman)}$$

Maka, Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap guling.

#### 4.7. Cek Terhadap Pipping

Pengecekan terhadap *pipping* dilakukan dengan menggunakan Metode *Lane*, yaitu dengan menentukan nilai angka rembesan ( $C_L$ ) pada tanah dibawah bendung, seperti pada Persamaan 2.12 . Pengecekan terhadap *pipping* ini dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada muka air normal dan banjir. Berikut diberikan Tabel 4.9 untuk hasil perhitungan angka aman rembesan ( $C_L$ ) pada tanah dibawah bendung. Hasil-hasil mengacu pada perhitungan di lampiran.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Angka Aman Rembesan Lane

Kondisi	Panjang Pondasi Bendung (m)		Tinggi muka air (m)		CL
	Vertikal (L <sub>v</sub> )	Horizontal (L <sub>H</sub> )	Hulu	Hilir	
Banjir	19.49	46.15	(+28.54)	(+28.28)	134.13
Normal	19.49	46.15	(+24.50)	(+21.10)	10.26

Berdasarkan dari hasil perhitungan angka aman rembesan *Lane* diatas dan berdasar pada ketentuan harga minimum rembesan Lane pada Tabel 2.3, untuk jenis tanah pasir kasar, maka dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah dibawah bendung aman terhadap *pipping* pada kondisi banjir maupun pada kondisi muka air normal. Karena persyaratan aman terhadap *pipping* untuk jenis pasir kasar hanyalah sebesar 5,0. Besar atau tidaknya nilai angka rembesan lane ini bergantung pada nilai dari selisih antara tinggi muka air hulu dan hilir, karena suatu rembesan akan besar terjadi kemungkinannya apabila terdapat perbedaan tinggi muka air hulu dengan hilir yang cukup signifikan. Berdasarkan Tabel 4.9 diatas nilai dari angka aman rembesan lane pada kondisi banjir sangat tinggi yaitu sebesar 134.13, hal ini dikarenakan perbedaan tinggi antara muka air hulu dengan hilir sangatlah kecil yaitu hanya berkisar 0.26 m. Selain itu, panjang vertikal pada pondasi pun juga turut mempengaruhi karena semakin dalam suatu pondasi maka akan mengurangi aliran air dibawah bendung dan *pipping* pun akan kecil terjadi kemungkinannya. Maka, pemasangan *sheet pile* sangat membantu dalam menambah nilai dari panjang vertikal suatu pondasi bendung sehingga mampu mencegah terjadinya *pipping*.