

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN STABILITAS BENDUNG KAMIJORO

C.1. Gaya Berat Tubuh Bendung

Perhitungan gaya berat bendung dapat 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/m³, 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. Lengan momen ini dapat dilihat pada Gambar B.3 dengan mengambil contoh pada pias GI, G7 dan G17.

Berdasarkan pada Gambar B.1, berikut diberikan hasil perhitungan gaya berat tubuh Bendung Kamijoro pada Tabel C.1.

Tabel C.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

Note: nilai gaya berat bendung bernilai negatif karena momen gaya berlawanan dengan arah jarum jam

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya berat tubuh bendung di atas berikut diuraikan contoh perhitungan dibawah ini.

Pias bagian lantai hulu:

1) Pias GI

$$W = luas \times tekanan$$

$$W = 0.5 \times 1.02 \times 2 \times 2.4$$

$$W = -2.45 \text{ Ton}$$

$$M = V \times lengan$$

$$M = -2.45 \times 51.45$$

$$M = -126.053 \text{ Tm}$$

2) Pias GII

$$W = luas \times tekanan$$

$$W = 1,5 \times 0.75 \times 2.4$$

$$W = -2.7 \text{ Ton}$$

$$M = V \times lengan$$

$$M = -2.7 \times 50.85$$

$$M = -137.295 \text{ Tm}$$

3) Pias GIII

$$W = luas \times tekanan$$

$$W = 5.55 \times 0.5 \times 2.4$$

$$W = -6.66 \text{ Ton}$$

$$M = V \times lengan$$

$$M = -6.66 \times 48.3$$

$$M = -321.678 \text{ Tm}$$

4) Pias GIV

$$W = luas \times tekanan$$

$$W = 0.5 \times 0.5 \times 2.4$$

$$W = -0.6$$

$$M = V \times lengan$$

$$M = -0.6 \times 48.1$$

$$M = -28.860 \text{ Tm}$$

5) Pias GV

$$W = luas \times tekanan$$

$$W = 0.5 \times 1.25 \times 2.5 \times 2.4$$

$$M = V \times lengan$$

$$M = -3.75 \times 45.97$$

$$W = -3.75 \text{ Ton}$$

$$M = 172.388 \text{ Tm}$$

6) Pias GVI

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.5 \times 1.25 \times 1.22 \times 2.4$$

$$M = -1.83 \times 46.57$$

$$W = -1.83 \text{ Ton}$$

$$M = -85.223 \text{ Ton}$$

7) Pias GVII

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.875 \times 2.4$$

$$M = -2.06 \times 45.63$$

$$W = -2.06 \text{ Ton}$$

$$M = -93.998 \text{ Tm}$$

8) Pias GVIII

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.5 \times 0.5 \times 2.4$$

$$M = -2.43 \times 44.61$$

$$W = -2.43 \text{ Ton}$$

$$M = -108.402 \text{ Tm}$$

Pias bagian tubuh bendung:

1) Pias G1

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.5 \times 2.4 \times 2.4 \times 2.4$$

$$M = -6.9 \times 43.5$$

$$W = -6.9 \text{ Ton}$$

$$M = -300.150 \text{ Tm}$$

2) Pias G2

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 2.1 \times 2.4 \times 2.4$$

$$M = -12.1 \times 41.65$$

$$W = -12.1 \text{ Ton}$$

$$M = -503.965 \text{ Tm}$$

3) Pias G3

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.5 \times 1.9 \times 2.4 \times 2.4$$

$$M = -5.5 \times 39.97$$

$$W = -5.5 \text{ Ton}$$

$$M = -219.835 \text{ Tm}$$

4) Pias G4

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 1.95 \times 3 \times 2.4$$

$$M = -14.04 \times 44.57$$

$$W = -14.04 \text{ Ton}$$

$$M = -625.763 \text{ Tm}$$

5) Pias G5

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.86 \times 2 \times 2.4$$

$$W = -4.13 \text{ Ton}$$

$$M = -4.13 \times 43.15$$

$$M = -178.210 \text{ Tm}$$

6) Pias G6

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 0.5 \times 0.9 \times 1 \times 2.4$$

$$W = -1.08 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -1.08 \times 43.3$$

$$M = -46.764 \text{ Tm}$$

7) Pias G7

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 2.1 \times 2 \times 2.4$$

$$W = -10.08 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -10.08 \times 41.65$$

$$M = -419.832 \text{ Tm}$$

8) Pias G8

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 1.2 \times 2 \times 2.4$$

$$W = -5.76 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -5.76 \times 40$$

$$M = -230.400 \text{ Tm}$$

9) Pias G9

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 0.5 \times 1.2 \times 2 \times 2.4$$

$$W = -2.88 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -2.88 \times 39.8$$

$$M = -114.624 \text{ Tm}$$

10) Pias G10

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 1.5 \times 4 \times 2.4$$

$$W = -14.4 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -14.4 \times 38.65$$

$$M = -556.560 \text{ Tm}$$

11) Pias G11

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 0.5 \times 0.87 \times 0.59 \times 2.4$$

$$W = -0.62 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -0.62 \times 37.6$$

$$M = -23.312 \text{ Tm}$$

12) Pias G12

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 0.9 \times 2.69 \times 2.4$$

$$W = -5.81 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -5.81 \times 37.45$$

$$M = -217.585 \text{ Tm}$$

13) Pias G13

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$W = 0.5 \times 0.9 \times 2 \times 2.4$$

$$W = -2.16 \text{ Ton}$$

$$M = -2.16 \times 37.3$$

$$M = -80.568 \text{ Tm}$$

14) Pias G14

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 0.5 \times 2.1 \times 0.68 \times 2.4$$

$$W = -1.71 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -1.71 \times 36.3$$

$$M = -62.073 \text{ Tm}$$

15) Pias G15

$$W = \text{luas} \times \text{tekanan}$$

$$W = 2.1 \times 4 \times 2.4$$

$$W = -20.16 \text{ Ton}$$

$$M = V \times \text{lengan}$$

$$M = -20.16 \times 35.95$$

$$M = -724.752 \text{ Tm}$$

Pias bagian lantai hilir:

1) Pias G16

$$W = 0.5 \times 33 \times 1 \times 2.4$$

$$W = -39.6 \text{ Ton}$$

$$M = -39.6 \times 23.9$$

$$M = -964.440 \text{ Tm}$$

2) Pias G17

$$W = 1.5 \times 33.75 \times 2.4$$

$$W = -121.5 \text{ Ton}$$

$$M = -121.5 \times 18.4$$

$$M = -2235.600 \text{ Tm}$$

3) Pias G18

$$W = 0.5 \times 1 \times 1.75 \times 2.4$$

$$W = -2.1 \text{ Ton}$$

$$M = -2.1 \times 1.73$$

$$M = -3.633 \text{ Tm}$$

4) Pias G19

$$W = 0.5 \times 0.75 \times 1 \times 2.4$$

$$W = -0.9 \text{ Ton}$$

$$M = -0.9 \times 1.4$$

$$M = -1.260 \text{ Tm}$$

5) Pias G20

$$W = 1.15 \times 2.5 \times 2.4$$

$$W = -6.9 \text{ Ton}$$

$$M = -6.9 \times 0.58$$

$$M = -4.002 \text{ Tm}$$

6) Pias G21

$$W = 1.4 \times 1.75 \times 2.4$$

$$W = -5.88 \text{ Ton}$$

$$M = -5.88 \times 0.7$$

$$M = -4.116 \text{ Tm}$$

7) Pias G22

$$W = 0.5 \times 1.56 \times 3.75 \times 2.4$$

$$W = -7.02 \text{ Ton}$$

$$M = -7.02 \times -0.53$$

$$M = -3.721 \text{ Tm}$$

C.2. Gaya Gempa

Perhitungan gaya gempa dapat dikakukan dengan cara mengalikan koefisien gempa dengan gaya berat bendung. Sementara itu, perhitungan momen dihitung dengan cara mengalikan antara nilai dari gaya gempa dengan lengan momen searah sumbu y. Lengan momen ini dapat dilihat pada Gambar B.5 dengan mengambil contoh pada pias GI, G7 dan G20.

Percepatan gempa pada lokasi bendung ini memiliki koefisien gempa (kh) berkisar antara 0,05-0,1 untuk periode 10 tahun dengan probabilitas terlampaui sebesar 20%, pada penelitian ini diambil percepatan gempa sebesar 0.1. Berdasarkan pada Gambar B.1, berikut diberikan hasil perhitungan gaya gempa pada tubuh Bendung Kamijoro pada Tabel C.2.

Tabel C.2 Hasil perhitungan gaya gempa tubuh bendung

Pias	Gaya Gempa (Ton)	Lengan (m)	Momen (Tm)
	H	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	-313.71		70.604

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya gempa tubuh bendung di atas berikut diuraikan contoh perhitungan dibawah ini.

Pias bagian lantai hulu:

1) Pias GI

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 2.45$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.2 \times 3.83$$

$$M = 0.938 \text{ Tm}$$

2) Pias GII

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 2.7$$

$$H = 0.3 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.3 \times 3.250$$

$$M = 0.878 \text{ Tm}$$

3) Pias GIII

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 6.66$$

$$H = 0.7 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.7 \times 4.250$$

$$M = 2.831 \text{ Tm}$$

4) Pias GIV

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 0.6$$

$$H = 0.1 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.1 \times 3.750$$

$$M = 0.225 \text{ Tm}$$

5) Pias GV

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 3.75$$

$$H = 0.4 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.4 \times 3$$

$$M = 1.125 \text{ Tm}$$

6) Pias GVI

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 1.83$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.2 \times 4.910$$

$$M = 0.899 \text{ Tm}$$

7) Pias GVII

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 2.06$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.2 \times 5.230$$

$$M = 1.077 \text{ Tm}$$

8) Pias GVIII

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 2.43$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.2 \times 5.050$$

$$M = 1.227 \text{ Tm}$$

Pias bagian lantai hulu:

1) Pias G1

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 6.9$$

$$H = 0.7 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.7 \times 5.240$$

$$M = 3.616 \text{ Tm}$$

2) Pias G2

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 12.1$$

$$H = 1.2 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 1.2 \times 5.610$$

$$M = 6.788 \text{ Tm}$$

3) Pias G3

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 5.5$$

$$H = 0.6 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.6 \times 5.130$$

$$M = 2.822 \text{ Tm}$$

4) Pias G4

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 14.04$$

$$H = 1.4 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 1.4 \times 3$$

$$M = 4.212 \text{ Tm}$$

5) Pias G5

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 4.13$$

$$H = 0.4 \text{ Ton}$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.4 \times 3.5$$

$$M = 1.446 \text{ Tm}$$

6) Pias G6

$$H = Kh \times W$$

$$H = 0.1 \times 1.08$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$M = 0.1 \times 2.170$$

$$H = 0.1 \text{ Ton}$$

$$M = 0.234 \text{ Tm}$$

7) Pias G7

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 10.08$$

$$M = 1 \times 3.500$$

$$H = 1.0 \text{ Ton}$$

$$M = 3.528 \text{ Tm}$$

8) Pias G8

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 5.76$$

$$M = 0.6 \times 3.50$$

$$H = 0.6 \text{ Ton}$$

$$M = 2.016 \text{ Tm}$$

9) Pias G9

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 2.88$$

$$M = 0.3 \times 1.83$$

$$H = 0.3 \text{ Ton}$$

$$M = 0.527 \text{ Tm}$$

10) Pias G10

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 14.4$$

$$M = 1.4 \times 2.50$$

$$H = 1.4 \text{ Ton}$$

$$M = 3.600 \text{ Tm}$$

11) Pias G11

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 0.62$$

$$M = 0.1 \times 3.190$$

$$H = 0.1 \text{ Ton}$$

$$M = 0.198 \text{ Tm}$$

12) Pias G12

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 5.81$$

$$M = 0.6 \times 1.840$$

$$H = 0.6 \text{ Ton}$$

$$M = 1.069 \text{ Tm}$$

13) Pias G13

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 2.16$$

$$M = 0.2 \times -0.170$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = -0.037 \text{ Tm}$$

14) Pias G14

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 1.71$$

$$M = 0.2 \times 2.720$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = 0.465 \text{ Tm}$$

15) Pias G15

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 20.16$$

$$M = 2 \times 0.840$$

$$H = 2.0 \text{ Ton}$$

$$M = 1.693 \text{ Tm}$$

Pias bagian lantai hilir:

1) Pias G16

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 39.6$$

$$M = 4.0 \times 0.670$$

$$H = 4.0 \text{ Ton}$$

$$M = 2.653 \text{ Tm}$$

2) Pias G17

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 121.5$$

$$M = 12.2 \times 1.750$$

$$H = 12.2 \text{ Ton}$$

$$M = 21.263 \text{ Tm}$$

3) Pias G18

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 2.1$$

$$M = 0.2 \times 3.080$$

$$H = 0.2 \text{ Ton}$$

$$M = 0.647 \text{ Tm}$$

4) Pias G19

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 0.9$$

$$M = 0.1 \times 0.670$$

$$H = 0.1 \text{ Ton}$$

$$M = 0.060 \text{ Tm}$$

5) Pias G20

$$H = Kh \times W$$

$$M = H \times \text{lengan}$$

$$H = 0.1 \times 6.9$$

$$M = 0.7 \times 1.250$$

$$H = 0.7 \text{ Ton}$$

$$M = 0.863 \text{ Tm}$$

6) Pias G21

$$H = 0.1 \times 5.88$$

$$M = 0.6 \times 3.380$$

$$H = 0.6 \text{ Ton}$$

$$M = 1.987 \text{ Tm}$$

7) Pias G22

$$H = 0.1 \times 7.02$$

$$M = 0.7 \times 2.500$$

$$H = 0.7 \text{ Ton}$$

$$M = 1.755 \text{ Tm}$$

C.3. Gaya Tekan Air

C.3.1. Gaya *Uplift* Air

Perhitungan gaya *uplift*, pertama dilakukan dengan cara membuat jaringan aliran (*flow net*) seperti yang terlihat pada Gambar B.6. Setelah dilakukan penggambaran berikutnya dilakukan perhitungan gaya *uplift*, berikut ini diberikan hasil perhitungan gaya *uplift* pada Tabel C.3.

Tabel C.3 Hasil perhitungan gaya *uplift* pada bendung

Point	Head Drops	Tinggi Point (m)	Beda Tinggi (m)	gaya tekan (ton/m ²)	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 C.3 dan hasil penggambaran jaringan aliran pada Gambar B.6, berikut diuraikan contoh perhitungan dibawah ini

Diketahui:

Elevasi muka air hulu = +28.54 m

Elevasi muka air hilir = +28.28 m

H (tinggi muka air hulu dari tanah dasar) = 15.33 m

$$N_d \text{ (total head drops)} = 47 \text{ drops}$$

$$N_f \text{ (total Channel)} = 4 \text{ channels}$$

$$k \text{ (koef. permeabilitas tanah)} = 10^{-5} \text{ m/det (jenis tanah pasir)}$$

$$\rho_w \text{ (massa jenis air)} = 1 \text{ ton/m}^3$$

Perhitungan debit aliran:

$$\Delta H = \text{elevasi muka air hulu} - \text{elevasi muka air hilir}$$

$$= (+28.54) - (+28.28)$$

$$= 0.26 \text{ m}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{N_d} = \frac{0.26}{47} = 0.0055 \text{ m}^3/\text{drops}$$

$$q = k \times \left(\frac{\Delta H}{N_d}\right) \times (N_f)$$

$$= 10^{-5} \times \left(\frac{0.26}{47}\right) \times (4) = 2.213 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt/m}$$

Perhitungan gaya dan momen *uplift* tiap titik tinjauan:

1) Titik A:

$$N_d = 1 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 7.12 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 51.1 \text{ m}$$

$$HA \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (1 \times 0.005) = 15.32 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HA - z) = 1 \times (15.32 - 7.12) = 8.20 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 8.20 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 8.20 \times 51.1 = 419.248 \text{ Tm}$$

2) Titik B:

$$N_d = 6 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 7.13 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 50.6 \text{ m}$$

$$HB \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (6 \times 0.005) = 15.30 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HB - z) = 1 \times (15.30 - 7.13) = 8.17 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 8.17 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 8.17 \times 50.6 = 413.241 \text{ Tm}$$

3) Titik C:

$$N_d = 7 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 8.54 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 50.37 \text{ m}$$

$$HC \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (7 \times 0.005) = 15.29 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HC - z) = 1 \times (15.32 - 8.54) = 6.75 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 6.75 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 6.75 \times 50.37 = 340.062 \text{ Tm}$$

- 4) Titik D:
 $Nd = 8 \text{ drops}$
 z (tinggi titik dari dasar tanah) = 8.1 m
 x (lengan gaya) = 48.09 m
 HD (beda tinggi) = $H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (8 \times 0.005) = 15.29 \text{ m}$
 P (gaya tekan) = $\rho_w \times (HD - z) = 1 \times (15.29 - 8.1) = 7.19 \text{ ton/m}^2$
 Wu (gaya berat) = 7.19 ton
 M (momen) = $V \times \text{lengan} = 7.19 \times 48.09 = 345.562 \text{ Tm}$
- 5) Titik E:
 $Nd = 9 \text{ drops}$
 z (tinggi titik dari dasar tanah) = 6.17 m
 x (lengan gaya) = 44.55 m
 HE (beda tinggi) = $H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (9 \times 0.005) = 15.28 \text{ m}$
 P (gaya tekan) = $\rho_w \times (HE - z) = 1 \times (15.28 - 6.17) = 9.11 \text{ ton/m}^2$
 Wu (gaya berat) = 9.11 ton
 M (momen) = $V \times \text{lengan} = 9.11 \times 44.55 = 405.860 \text{ Tm}$
- 6) Titik F:
 $Nd = 10 \text{ drops}$
 z (tinggi titik dari dasar tanah) = 7.21 m
 x (lengan gaya) = 42.79 m
 HF (beda tinggi) = $H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (10 \times 0.005) = 15.27 \text{ m}$
 P (gaya tekan) = $\rho_w \times (HF - z) = 1 \times (15.27 - 7.21) = 8.06 \text{ ton/m}^2$
 Wu (gaya berat) = 8.06 ton
 M (momen) = $V \times \text{lengan} = 8.06 \times 42.79 = 345.088 \text{ Tm}$
- 7) Titik G:
 $Nd = 11 \text{ drops}$
 z (tinggi titik dari dasar tanah) = 7.11 m
 x (lengan gaya) = 40.54 m
 HG (beda tinggi) = $H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (11 \times 0.005) = 15.27 \text{ m}$
 P (gaya tekan) = $\rho_w \times (HG - z) = 1 \times (15.27 - 7.11) = 8.16 \text{ ton/m}^2$
 Wu (gaya berat) = 8.16 ton
 M (momen) = $V \times \text{lengan} = 8.16 \times 40.54 = 330.772 \text{ Tm}$
- 8) Titik H:
 $Nd = 12 \text{ drops}$
 z (tinggi titik dari dasar tanah) = 5.2 m
 x (lengan gaya) = 39.4 m
 HH (beda tinggi) = $H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (12 \times 0.005) = 15.26 \text{ m}$
 P (gaya tekan) = $\rho_w \times (HH - z) = 1 \times (15.26 - 5.2) = 10.06 \text{ ton/m}^2$
 Wu (gaya berat) = 10.06 ton
 M (momen) = $V \times \text{lengan} = 10.06 \times 39.4 = 396.507 \text{ Tm}$
- 9) Titik I:
 $Nd = 13 \text{ drops}$
 z (tinggi titik dari dasar tanah) = 5.18 m

$$x \text{ (lengan gaya)} = 39.4 \text{ m}$$

$$HI \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (13 \times 0.005) = 15.26 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HI - z) = 1 \times (15.26 - 5.18) = 10.08 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 10.08 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 10.08 \times 39.4 = 381.657 \text{ Tm}$$

10) Titik J:

$$Nd = 14 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 3.19 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 37 \text{ m}$$

$$HJ \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (14 \times 0.005) = 15.25 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HJ - z) = 1 \times (15.25 - 3.19) = 12.06 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 12.06 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 12.06 \times 37 = 446.314 \text{ Tm}$$

11) Titik K:

$$Nd = 16 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 3.19 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 34.9 \text{ m}$$

$$HK \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (16 \times 0.005) = 15.24 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HK - z) = 1 \times (15.24 - 3.19) = 12.05 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 12.05 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 12.05 \times 34.9 = 420.597 \text{ Tm}$$

12) Titik L:

$$Nd = 20 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 4.82 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 29.9 \text{ m}$$

$$HL \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (20 \times 0.005) = 15.18 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HL - z) = 1 \times (15.18 - 4.82) = 10.40 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 10.40 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 10.40 \times 29.9 = 310.941 \text{ Tm}$$

13) Titik M:

$$Nd = 24 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 4.93 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 24.95 \text{ m}$$

$$HM \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (24 \times 0.005) = 15.20 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HM - z) = 1 \times (15.20 - 4.93) = 10.27 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 10.27 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 10.27 \times 24.95 = 256.167 \text{ Tm}$$

14) Titik N:

$$Nd = 28 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 5.1 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 19.9 \text{ m}$$

$$HN \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (28 \times 0.005) = 15.18 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HN - z) = 1 \times (15.18 - 5.1) = 10.08 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 10.08 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 10.08 \times 19.9 = 200.495 \text{ Tm}$$

15) Titik O:

$$N_d = 32 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 5.33 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 14.9 \text{ m}$$

$$HO \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (32 \times 0.005) = 15.15 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HO - z) = 1 \times (15.15 - 5.33) = 9.82 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 9.82 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 9.82 \times 14.9 = 146.362 \text{ Tm}$$

16) Titik P:

$$N_d = 36 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 5.56 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 9.89 \text{ m}$$

$$HP \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (36 \times 0.005) = 15.13 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HP - z) = 1 \times (15.13 - 5.56) = 9.57 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 9.57 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 9.57 \times 9.89 = 94.656 \text{ Tm}$$

17) Titik Q:

$$N_d = 40 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 5.77 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 4.98 \text{ m}$$

$$HQ \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (40 \times 0.005) = 15.11 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HQ - z) = 1 \times (15.11 - 5.77) = 9.34 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 9.34 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 9.34 \times 4.98 = 46.507 \text{ Tm}$$

18) Titik R:

$$N_d = 42 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 5.91 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 1.83 \text{ m}$$

$$HR \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (42 \times 0.005) = 15.10 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HR - z) = 1 \times (15.10 - 5.91) = 9.19 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 9.19 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 9.19 \times 1.83 = 16.813 \text{ Tm}$$

19) Titik S:

$$N_d = 43 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 4.91 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 1.15 \text{ m}$$

$$HS \text{ (beda tinggi)} = H - (N_d \times \Delta h) = 15.33 - (43 \times 0.005) = 15.09 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HS - z) = 1 \times (15.09 - 4.91) = 10.18 \text{ ton/m}^2$$

$$W_u \text{ (gaya berat)} = 10.18 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 10.18 \times 1.15 = 11.709 \text{ Tm}$$

20) Titik T:

$$Nd = 44 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 4.93 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = 0 \text{ m}$$

$$HT \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (44 \times 0.005) = 15.09 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HT - z) = 1 \times (15.09 - 4.93) = 10.16 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 10.16 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 10.16 \times 0 = 0 \text{ Tm}$$

21) Titik U:

$$Nd = 46 \text{ drops}$$

$$z \text{ (tinggi titik dari dasar tanah)} = 8.81 \text{ m}$$

$$x \text{ (lengan gaya)} = -1.56 \text{ m}$$

$$HU \text{ (beda tinggi)} = H - (Nd \times \Delta h) = 15.33 - (46 \times 0.005) = 15.08 \text{ m}$$

$$P \text{ (gaya tekan)} = \rho_w \times (HU - z) = 1 \times (15.08 - (-4.93)) = 6.27 \text{ ton/m}^2$$

$$Wu \text{ (gaya berat)} = 6.27 \text{ ton}$$

$$M \text{ (momen)} = V \times \text{lengan} = 6.27 \times (-1.56) = -9.774 \text{ Tm}$$

C.3.2. Gaya Berat Air

Perhitungan gaya berat air pada tubuh bendung ini dapat dikakukan dengan cara mengalikan volume air dengan massa jenis air (1 ton/m^3). Momen gaya berat air 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. Lengan momen ini dapat dilihat pada Gambar B.9 dengan mengambil contoh pada elemen WH1, WV1. berikut diberikan hasil perhitungan gaya berat tubuh Bendung Kamijoro pada Tabel C.4.

Tabel C.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 C.4 diatas dan berdasarkan pada Gambar B.8, berikut diuraikan contoh perhitungan gaya dan momen untuk gaya berat air.

Perhitungan gaya vertikal:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1) Gaya WV1 | Momen WV1 |
| $WV = volume \times tekanan$ | $M = WV \times lengan$ |
| $WV = (3.77 \times 4.99 \times 1) \times 1$ | $M = (-18.812) \times 45.49$ |
| $WV = -18.812 \text{ Ton}$ | $M = - 855.758 \text{ Tm}$ |
| 2) Gaya WV2 | Momen WV2 |
| $WV = (0.5 \times 1.97 \times 1.45 \times 1) \times 1$ | $M = (-1.428) \times 46.71$ |
| $WV = -1.428 \text{ Ton}$ | $M = - 66.702 \text{ Tm}$ |
| 3) Gaya WV3 | Momen WV3 |
| $WV = (4.93 \times 4.02 \times 1) \times 1$ | $M = (-19.819) \times 41.16$ |
| $WV = -19.819 \text{ Ton}$ | $M = - 815.750 \text{ Tm}$ |
| 4) Gaya WV4 | Momen WV4 |
| $WV = (0.5 \times 1.66 \times 0.95 \times 1) \times 1$ | $M = (-1.428) \times 43.06$ |
| $WV = -0.788 \text{ Ton}$ | $M = - 33.931 \text{ Tm}$ |
| 5) Gaya WV5 | Momen WV5 |
| $WV = (0.5 \times 3.1 \times 2.4 \times 1) \times 1$ | $M = (-3.2) \times 39.7$ |
| $WV = -3.2 \text{ Ton}$ | $M = - 127.040 \text{ Tm}$ |
| 6) Gaya WV6 | Momen WV6 |
| $WV = (2.5 \times 6.1 \times 1) \times 1$ | $M = (-15.25) \times 37.45$ |
| $WV = -15.25 \text{ Ton}$ | $M = - 571.113 \text{ Tm}$ |
| 7) Gaya WV7 | Momen WV7 |
| $WV = (41.8 \times 6.43 \times 1) \times 1$ | $M = (-268.774) \times 15.3$ |
| $WV = -268.774 \text{ Ton}$ | $M = - 4112.242 \text{ Tm}$ |
| 8) Gaya WV8 | Momen WV8 |
| $WV = (33.8 \times 1.75 \times 1) \times 1$ | $M = (-59.15) \times 24.93$ |
| $WV = -59.15 \text{ Ton}$ | $M = - 1474.610 \text{ Tm}$ |

Perhitungan gaya Horizontal:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1) Gaya WH1 | Momen WH1 |
| $WH = volume \times tekanan$ | $M = WH \times lengan$ |
| $WH = (0.5 \times 3.7 \times 2.43 \times 1) \times 1$ | $M = 4.495 \times 5.82$ |

$$WH = 4.495 \text{ Ton} \quad M = 26.161 \text{ Tm}$$

2) Gaya WH2 Momen WH2
 $WH = (0.5 \times 33.81 \times 1.75 \times 1) \times 1$ $M = 29.58 \times 3.18$
 $WH = 29.58 \text{ Ton}$ $M = 94.064 \text{ Tm}$

3) Gaya WH3 Momen WH3
 $WH = (0.5 \times 1 \times 1.75 \times 1) \times 1$ $M = 0.875 \times 3.43$
 $WH = 0.875 \text{ Ton}$ $M = 3.001 \text{ Tm}$

C.4. Gaya Tekan Lumpur

Perhitungan gaya tekan lumpur pada tubuh bendung ini dapat dilakukan dengan cara mengalikan volume lumpur yang mengendap pada tubuh bendung dengan massa jenis lumpur, yang mana massa jenis lumpur ini diambil nilai sebesar 1.86 (ton/m³) dengan sudut geseknya (ϕ) 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. Lengan momen ini dapat dilihat pada Gambar B.11 dengan mengambil contoh pada elemen WH1, WV1. Sementara itu, untuk hasil perhitungan gaya tekan lumpur pada tubuh bendung diberikan pada Tabel C.5 berikut.

Tabel C.5 Hasil perhitungan gaya tekan lumpur pada bendung

Elm	B. jenis (ton/m ³)	Ked. (m)	gaya tekan (ton/m ³)		Lengan (m)		Momen (Tm)		
			PS	WV	WH	x	y	V	H
SH1	1.86	1.42	0.625	0	0.63	0	4.97	0	3.12
SH2		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

Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya tekan lumpur pada Tabel C.5 di atas dan berdasarkan pada Gambar B.10, berikut diuraikan contoh perhitungan gaya dan momen untuk gaya tekan lumpur.

Perhitungan gaya horizontal:

1) Gaya WH1 Momen WH1

$$P_S = \frac{\tau_S \cdot h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$$
 $M = WH \times \text{lengan}$

$$P_S = \frac{1.86 \times 1.42^2}{2} \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right)$$

$$M = (0.625) \times 4.97$$

$$P_S = 0.625 \text{ Ton/m}^3$$

$$M = 3.12 \text{ Tm}$$

$$WH = 0.625 \text{ Ton}$$

2) Gaya WH2

Momen WH2

$$P_S = \frac{\tau_S \cdot h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$$

$$M = WH \times \text{lengan}$$

$$P_S = \frac{1.86 \times 0.95^2}{2} \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right)$$

$$M = (0.279) \times 6.27$$

$$P_S = 0.279 \text{ Ton/m}^3$$

$$M = 1.75 \text{ Tm}$$

$$WH = 0.279 \text{ Ton}$$

Perhitungan gaya vertikal:

1) Gaya WV1

Momen WV1

$$P_S = \frac{\tau_S \cdot h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$$

$$M = WV \times \text{lengan}$$

$$P_S = \frac{1.86 \times 1.45^2}{2} \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right)$$

$$M = (-0.652) \times 46.69$$

$$P_S = -0.652 \text{ Ton/m}^3$$

$$M = -30.44 \text{ Tm}$$

$$WV = -0.652 \text{ Ton}$$

2) Gaya WV2

Momen WV2

$$P_S = \frac{\tau_S \cdot h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$$

$$M = WV \times \text{lengan}$$

$$P_S = \frac{1.86 \times 0.95^2}{2} \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right)$$

$$M = (-0.279) \times 43.06$$

$$P_S = -0.279 \text{ Ton/m}^3$$

$$M = -12.01 \text{ Tm}$$

$$WV = -0.279 \text{ Ton}$$

C.5. Reaksi Pondasi

Perhitungan reaksi pondasi dapat dikakukan dengan cara membagi total gaya vertikal keseluruhan pada bendung dengan luasan tiap titik pondasi, yang mana titik pondasi diberikan pada Gambar B.12. Berikut diberikan hasil perhitungan total gaya vertikal pada bendung dan luasan tampang tiap titik pondasi pada Tabel C.6 dan Tabel C.7.

Tabel C.6 Hasil perhitungan total gaya vertikal pada bendung

Gaya	Vertikal
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 C.7 Hasil perhitungan luasan tampang tiap titik pondasi

Pondasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas Tampang (m ²)
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 C.6 dan Tabel C.7 diatas maka dapat dilakukan perhitungan reaksi pondasi sebagai berikut.

Perhitungan eksentrisitas:

$$e = \left(\frac{Mt - Mg}{WV} \right) - \left(\frac{A}{2} \right) = \left(\frac{16669.219 - 5524.891}{506.698} \right) - \left(\frac{45.9}{2} \right) = -0.94 \text{ m}$$

Karena nilai eksentrisitas adalah minus, maka eksentrisitas dianggap tidak ada atau bernilai 0. Oleh karena itu, beban eksentris dianggap berhimpit dengan pusat berat bendung.

Perhitungan Inersia:

$$I = \frac{1}{12} \times m \times (b^2 + h^2) = \frac{1}{12} \times 506.698 \times (1^2 + 45.9^2) = 89002 \text{ Tm}^2$$

Perhitungan gaya tekan vertikal pondasi:

$$q = \frac{\Sigma W}{A} + \frac{\Sigma W \times e}{I} \times m = \frac{506.698}{45.9} + \frac{506.698 \times (0)}{89002} \times 0 = 11.05 \text{ ton}$$

Maka, reaksi setiap titik pondasi pada total beban vertikal adalah sebesar 11.05 ton/m².

C.6. Cek Stabilitas Bendung

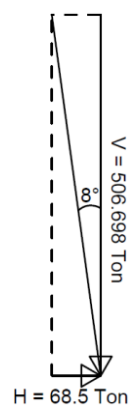
C.6.1. Stabilitas Terhadap Gelincir

Pengecekan stabilitas terhadap geser 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 C.8.

Tabel C.8 Hasil perhitungan total gaya dan momen pada bendung

Gaya	Vertikal	Horizontal	Momen	
			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 C.8 di atas maka resultan gaya dapat dilukiskan pada Gambar C.1 berikut.



Gambar C.1. Resultan Gaya Bendung Kamijoro

Pengecekan stabilitas terhadap geser dilakukan dengan Persamaan 2.8 berikut.

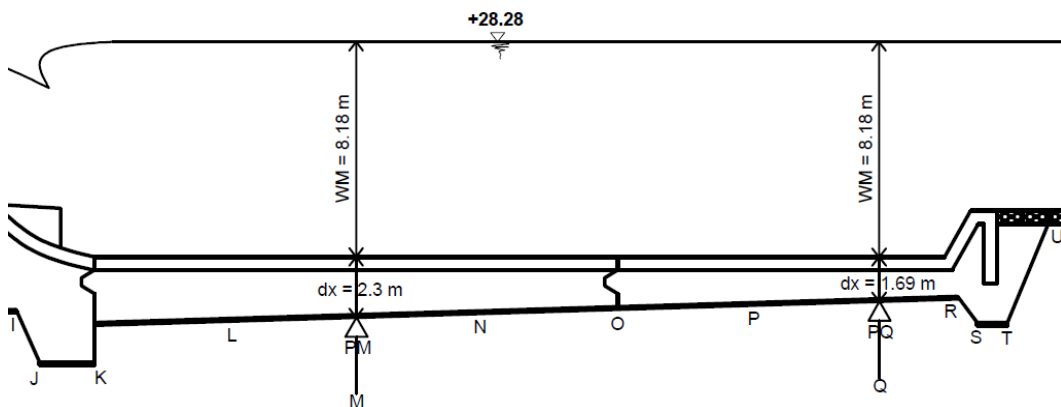
$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{s}$$

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

Maka, Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap geser.

C.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 olak 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/m³. Pada penelitian ini diambil dua titik tinjauan pada lantai kolam olak 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 B.6 dan digambarkan kembali pada Gambar C.2. Berdasarkan pada Tabel C.3 untuk hasil perhitungan gaya *uplift* telah diketahui nilai gaya *uplift* untuk titik M dan Q adalah sebesar 10.2 ton/m² dan 9.34 ton/m², 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 2.9 berikut.



Gambar C.2. Tebal lantai kolam olak

Titik M :

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

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

Titik Q:

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

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

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

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

Maka, Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap guling.

C.6.3. Stabilitas 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 . Cek terhadap *pipping* ini dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada muka air normal dan banjir. Berikut diberikan Tabel C.9 untuk hasil perhitungan angka aman rembesan (C_L) pada tanah dibawah bendung.

Tabel C.9. Hasil Perhitungan Angka Aman Rembesan Lane

Kondisi	Panjang Pondasi Bendung (m)		Tinggi muka air (m)		CL
	Vertikal	Horizontal	Hulu	Hilir	
Banjir	19.49	46.15	(+28.54)	(+28.28)	134.13
Normal	19.49	46.15	(+24.50)	(+20.10)	10.26

Berdasarkan dari hasil perhitungan angka aman rembesan diatas berikut diuraikan contoh perhitungan dibawah ini.

Kondisi Banjir:

Panjang Pondasi Vertikal = 19.49 m

Panjang Pondasi Horizontal = 46.15 m

H1 (tinggi muka air hulu) = (+28.54) m

H2 (tinggi muka air hilir) = (+28.28) m

Maka,

$$C_L = \frac{\sum L_v + 1/3 \sum L_H}{H} = \frac{19.49 + (\frac{1}{3} \times 46.15)}{(+28.54) - (+28.28)} = 134.13$$

Kondisi Muka Air Normal:

Panjang Pondasi Vertikal = 19.49 m

Panjang Pondasi Horizontal = 46.15 m

H1 (tinggi muka air hulu) = (+24.50) m

H2 (tinggi muka air hilir) = (+21.10) m

Maka,

$$C_L = \frac{\sum L_v + 1/3 \sum L_H}{H} = \frac{19.49 + (\frac{1}{3} \times 46.15)}{(+24.50) - (+21.10)} = 10.26$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan angka aman rembesan *Lane* diatas dan berdasar pada ketentuan harga minimum rembesan Lane pada Tabel C.10, 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 C.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*.

Tabel C.10 Harga minimum Rembesan Lane (C_L)

Material	Rembesan	
	Lane	Blight
Pasir sangat halus atau lanau	8.5	18
Pasir halus	7.0	15
Pasir sedang	6.0	-
Pasir kasar	5.0	12
Kerikil halus	4.0	-
Kerikil sedang	3.5	-
Kerikil kasar termasuk berangkal campur pasir	3.0	9
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2.5	4-6
Lempung lunak	3.0	-
Lempung sedang	2.0	-
Lempung keras	1.8	-
Lempung sangat keras	1.6	-

C.7. Rekaputasi Hasil-Hasil Perhitungan

C.7.1. 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

C.7.2. Gaya Gempa

Pias	Gaya Gempa (Ton)	Lengan (m)	Momen (Tm)
	H	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	-313.71		70.604

C.7.3. Gaya Uplift Air

Point	Head Drops	Tinggi Point (m)	Beda Tinggi (m)	gaya tekan (ton/m ²)	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

C.7.4. Gaya Berat Air

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

C.7.5. Gaya Tekan Lumpur

Elm	B. jenis (ton/m ³)	Ked. (m)	gaya tekan (ton/m ³)		Berat (ton)		Lengan (m)		Momen (Tm)	
			γs	h	PS	WV	WH	x	y	V
SH1	1.86	1.42	0.625	0	0.63	0	4.97	0	3.12	
SH2		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

C.7.6. Total Seluruh Gaya & Momen

Gaya	Vertikal	Horizontal	Momen	
			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

C.7.7. Stabilitas Terhadap Gelincir ,Guling, Pipping

Gelincir	Guling	Pipping
$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{s}$ $\frac{68.5}{506.698} = \tan 8^\circ < \frac{0.40}{2}$ <p>0.14 = 0.14 < 0.2</p>	<p>Titik M :</p> $dx \geq S \frac{PM - WM}{\tau}$ $2.3 \geq 1.5 \frac{10.2 - 8.18}{2.4}$ $2.3 \geq 1.26$ <p>Titik Q:</p> $dx \geq S \frac{PQ - WM}{\tau}$ $1.69 \geq 1.5 \frac{9.34 - 8.18}{2.4}$ $1.69 \geq 0.725$	<p>Kondisi Banjir:</p> $C_L = \frac{\Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_H}{H}$ $= \frac{19.49 + (\frac{1}{3} \times 46.15)}{(+28.54) - (+28.28)}$ $= 134.13$ <p>Kondisi Normal:</p> $C_L = \frac{\Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_H}{H}$ $= \frac{19.49 + (\frac{1}{3} \times 46.15)}{(+24.50) - (+21.10)}$ $= 10.26$
(AMAN)	(AMAN)	(AMAN)