

ANALISIS STABILITAS BANGUNAN UTAMA BENDUNG PLTM PARMONANGAN I

Johan Oberlyn Simanjuntak¹, Eben Oktavianus Zai², Totonafu Zega³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan

email : johan.simanjuntak@uhn.ac.id¹, eben.zai@uhn.ac.id², totonafu.zega@student.uhn.ac.id³

ABSTRAK

Bendungan adalah bangunan air yang melintang sungai dengan tujuan untuk meninggikan muka air sehingga aliran sungai bisa disadap (pengambilan) dan aliran secara gravitasi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau yang saat ini berkembang bendungan juga dimanfaatkan sebagai PLTA. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser dan stabilitas terhadap daya dukung tanah. Metode yang digunakan adalah analisis stabilitas bentung dengan menggunakan data sekunder. Berdasarkan analisis stabilitas bendung dapat dinilai stabilitas pada kondisi normal yaitu stabilitas terhadap guling ($SF = 2 > 1,5$); stabilitas terhadap geser ($SF = 3,19 > 1,5$); nilai eksentrisitas ($e = 2,531 < 2,688$); daya dukung ultimate ($q_{ult} = 484,709$); stabilitas daya dukung tanah ($SF = 6,101 > 3$). Nilai stabilitas pada kondisi banjir yaitu stabilitas terhadap guling ($SF = 1,809 > 1,25$); stabilitas terhadap geser ($SF = 1,583 > 1,25$); nilai eksentrisitas ($e = 2,531 < 2,688$); daya dukung ultimate ($q_{ult} = 484,709$); stabilitas daya dukung tanah ($SF = 4,781 > 3$). Dari hasil perhitungan kontrol stabilitas maka bendungan dinyatakan aman.

Kata Kunci : stabilitas guling, stabilitas geser, daya dukung

ABSTRACT

A weir is a water structure that crosses a river with the aim of raising the river water level so that the river flow can be tapped (withdrawal) and flow by gravity to meet irrigation water needs, or currently developing dams are also utilized by hydropower. The purpose of this research is to determine stability against overturning, stability against sliding and stability against soil bearing capacity. The method used is weir stability analysis using secondary data. Based on the stability analysis of the weir, the stability value is obtained under normal conditions: overturning stability ($SF = 2 > 1,5$); shear stability ($SF = 3,19 > 1,5$); eccentricity value ($e = 2,531 < 2,688$); ultimate bearing capacity ($q_{ult} = 484,709$); soil bearing capacity stability ($SF = 6,101 > 3$). Stability value in flood conditions: overturning stability ($SF = 1,809 > 1,25$); shear stability ($SF = 1,583 > 1,25$); ultimate bearing capacity ($q_{ult} = 484,709$); stability of soil bearing capacity ($SF = 4,781 > 3$). From the results of stability control calculations, the weir is declared safe.

Keywords : overturning stability, shear stability, carrying capacity

PENDAHULUAN

Bendungan umumnya berfungsi untuk mengendalikan banjir dan menyediakan suplai air pada jaringan irigasi, air baku sarana pembangkit tenaga, pertanian, perikanan dan rekreasi. Hal tersebut merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bagian infrastruktur dengan sosial, ekonomi dan lingkungan. Secara umum, konstruksi dinyatakan aman apabila memenuhi kriteria salah satunya adalah stabilitas. Stabilitas merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran bendungan agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan, dalam hal ini termasuk jadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir

besar. Salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunan suatu bendung ialah stabilitas guling, stabilitas geser dan daya dukung. Jika syarat stabilitas tersebut tidak terpenuhi, maka akan mengakibatkan masalah keamanan bendung yang meliputi kerobohan, penurunan bendung, longsor dan retakan. Stabilitas ini dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain adalah material pembentuk tubuh bendung, penentuan zona tubuh bendung, kemiringan tebing, beban gempa dan lainnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas bendung terhadap guling, geser dan daya dukung atas stabilitas di Bendung PLTM Parmonangan I yang terletak di Desa Manalu Dolok Kecamatan Parmonangan Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara.

TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas Bendung

Stabilitas bendung merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran bendung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan, dalam hal ini termasuk terjadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir besar. Syarat-syarat stabilitas konstruksi seperti lereng di sebelah hulu dan hilir bendung tidak mudah longsor, harus aman terhadap geseran, harus aman terhadap rembesan dan harus aman terhadap penurunan bendung. Perhitungan konstruksi yang dilakukan untuk menentukan dimensi/ukuran bendung (*weir*) supaya mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja pada bendung dalam keadaan apapun, termasuk banjir besar dan gempa bumi. Penyelidikan geologi teknik, ditujukan untuk mengetahui apakah pondasi bendung cukup kuat, apakah rembesan airnya tidak membahayakan konsturksi dan apakah bendungan akan dapat dioperasikan bagi penggunaan airnya dalam jangka waktu yang lama minimal 30 tahun (Mawardi dan Memed, 2010).

Keamanan Terhadap Geser

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (*Head Works*) tahun 2013, Tangen θ merupakan sudut antara garis vertikal dan resultan semua gaya termasuk gaya angkat yang bekerja pada bendung di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesek yang diijikan pada bidang tersebut.

$$\frac{\sum(H)}{\sum(V - u)} = \tan \theta < \frac{f}{S} \quad (1)$$

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5 \quad (\text{untuk kondisi normal}) \quad (2)$$

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,25 \quad (\text{untuk kondisi ekstrim}) \quad (3)$$

Dimana :

$\Sigma (H)$	=	Keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bangunan (kN)
$\Sigma (V-U)$	=	Keseluruhan gaya vertikal (V) dikurangi gaya tekanan ke atas yang bekerja pada bangunan (kN)
ΣV	=	Keseluruhan gaya vertikal yang bekerja pada bangunan (kN)
θ	=	Sudut resultan semua gaya, terhadap garis vertikal (derajat)
f	=	Koefisien gesekan
S	=	Faktor keamanan

Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan dijabarkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP 2, 2013)

Keamanan Terhadap Guling

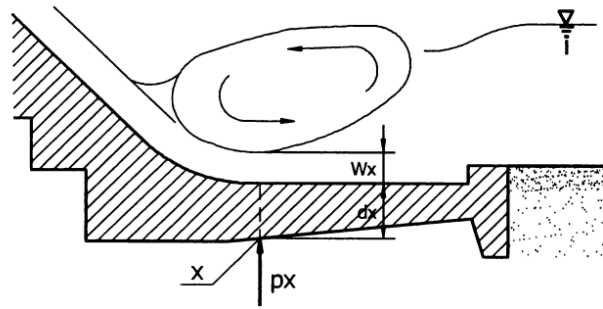
Menurut Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (*Head Works*) tahun 2013, agar bangunan aman terhadap guling, maka resultan semua gaya yang bekerja pada bagian di atas bidang horizontal termasuk gaya angkat harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan mana pun. Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan.

Tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (*bending moment*). Oleh sebab itu, tebal lantai kolam olak dihitung sebagai berikut.

$$d_x \geq S \frac{P_x - W_x}{\tau} \quad (4)$$

Dimana :

d_x	=	Tebal lantai pada titik x (m)
P_x	=	Gaya angkat pada titik x (kg/m^2)
W_x	=	Kedalaman air pada titik x (m)
τ	=	Berat jenis bahan (kg/m^3)
S	=	Faktor keamanan (=1,5 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrim)



Gambar 1. Tebal lantai kolam oak

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP 2, 2013)

Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah ialah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebihan (Najoan, 2002). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis stabilitas daya dukung tanah sebagai syarat bangunan tersebut aman.

a. Tekanan tanah

1) Tekanan tanah aktif

$$P_a = \frac{1}{2} \times (K_a \times \gamma_{tanah} \times H) \times (H) \quad (5)$$

2) Tekanan tanah pasif

$$P_p = \frac{1}{2} \times (K_p \times \gamma_{tanah} \times H) \times (H) \quad (6)$$

3) Tekanan tanah statis

$$P_{as} = K_a \times \gamma_t \times h^2 + \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_t \times h^2 \quad (7)$$

4) Tekanan tanah dinamis

$$P_d = 0,5 \times \gamma_t \times ce \quad (8)$$

Dimana :

P_a = Tekanan tanah aktif (tm)

P_p = Tekanan tanah pasif (tm)

P_{as} = Tekanan tanah statis (tm)

P_d = Tekanan tanah dinamis (tm)

h = Tinggi jatuh (m)

γ_t = Berat jenis tanah

ce = $(1 - \sin \theta) / (1 + \sin \theta)$

b. Tekanan sedimen

$$P_s = 0,5 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times C_s \times h^2 \quad (9)$$

Dimana :

C_s = Koefisien tekanan tanah

c. Koefisien tekanan tanah aktif (K_a)

$$K_a = \frac{(1 - \sin \theta)}{(1 + \sin \theta)} \quad (10)$$

Dimana :

θ = Sudut geser tanah (derajat)

d. Koefisien tanah pasif (K_p)

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (11)$$

e. Daya dukung tanah bawah untuk pondasi

Kedudukan pondasi bangunan haruslah pada tanah keras sehingga dapat menahan bobot konstruksi bangunan di atasnya. Daya dukung dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Terzaghi dan Peck, 1943).

$$q_{ult} = c S_c N_c + q N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (12)$$

Dimana :

q_{ult} = Daya dukung batas (kN/m^2)

N_c, N_q, N_γ = Faktor-faktor daya dukung tak berdimensi (Tabel 2)

S_c, S_γ = Parameter sesuai bentuk potongan melintang pondasi (Tabel 3)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

B = Lebar telapak pondasi (m)

c = Kohesi, tegangan kohesif (kN/m^2)

Tabel 2. Parameter S_c dan S_γ sesuai bentuk potongan melintang pondasi

Parameter	Bentuk pondasi		
	Menerus	Bundar	Bujur sangkar
S_c	1,0	1,3	1,3
S_γ	1,0	0,6	0,8

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP 6, 2013)

Tabel 3. Faktor-faktor daya dukung untuk Persamaan Terzaghi

$\theta(^{\circ})$	N_c	N_q	N_γ	$K_{\rho\gamma}$
0	5,7	1,0	0,0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7

$\theta(^{\circ})$	N_c	N_q	N_{γ}	K_{py}
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	18,7	52,0
34	52,6	36,5	36,0	
35	57,8	41,4	42,4	8,20
40	95,7	81,3	100,4	141,0
45	172,3	173,3	297,5	298,0
48	258,3	287,9	780,9	
50	347,5	415,1	1153,2	800,0

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP 6, 2013)

Tabel 4. Harga-harga perkiraan daya dukung izin

Jenis	Daya dukung	
	kN/m ²	Kgf/cm ²
Batu sangat keras	10.000	100
Batu kapur/batu pasir keras	4.000	40
Kerikil berkerapatan sedang atau pasir dan kerikil	200 – 600	2 – 6
Pasir berkerapatan sedang	100 – 300	1 – 3
Lempung kenyal	150 – 300	1,5 – 3
Lempung teguh	75 – 150	0,75 – 1,5
Lempung lunak dan lanau	< 75	< 0,75

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP 6, 2013)

f. Kontrol terhadap eksentrisitas

Eksentrisitas yang terjadi pada bendung dapat pula menimbulkan penggulingan dan pergeseran, oleh karena itu dalam perencanaan bendung perlu adanya kontrol eksentrisitas titik berat bangunan bendung (K. Suryolelono, 2000).

$$e = \left(\frac{\sum M}{\sum V} \right) - \frac{B}{2} < \frac{1}{6}B \quad (12)$$

$$\sum M = \sum M_t - \sum M_g \quad (13)$$

Dimana :

e = Besarnya eksentrisitas konstruksi (m)

B = Panjang konstruksi (m)

M_t = Momen tahan (kNm)
 M_g = Momen guling (kNm)
 ΣV = Jumlah gaya vertikal (kN)

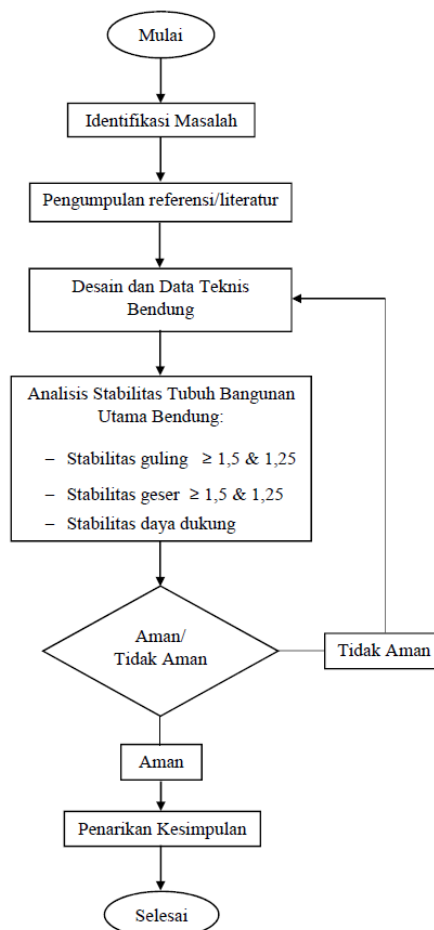
METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada Bendung PLTM Parmonangan I yang terletak di Desa Manalu Dolok Kecamatan Parmonangan Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. Kehadiran PLTM Parmonangan I sejak tahun 2021 dengan kapasitas 2 x 4,5 megawatt (MW) memberikan manfaat yang luar biasa kepada masyarakat di daerah Sumatera Utara terutama terhadap penggunaan ramah lingkungan untuk menekan penggunaan bahan bakar fosil.

Diagram Alir Penelitian

Untuk penyelesaian penelitian ini tahapan-tahapan yang dilakukan digambarkan pada grafik berikut.



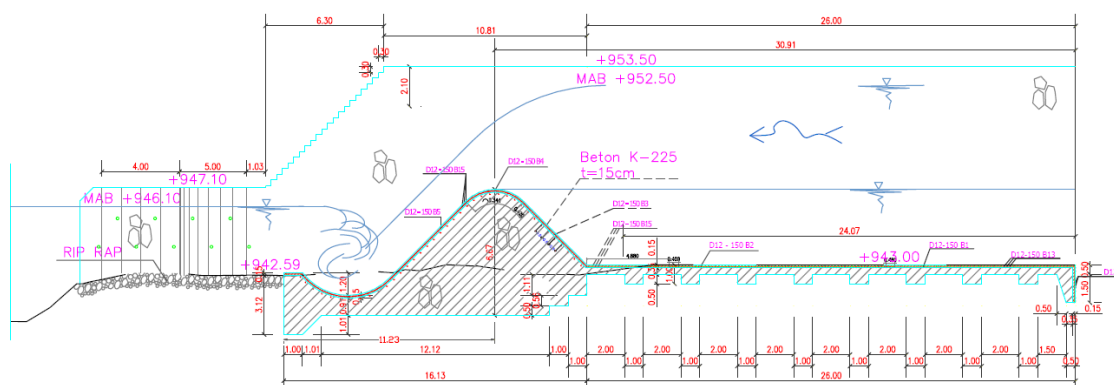
Gambar 2. Bagan alir penelitian

- Mengidentifikasi masalah apa saja yang akan dibahas dalam penelitian
- Mengumpulkan berbagai referensi yang terkait dengan penelitian seperti jurnal dan penelitian lainnya yang sudah dilakukan.
- Mengumpulkan data seperti data desain bendungan meliputi gambar denah bendungan, potongan melintang dan potongan memanjang bendungan, data teknis bendungan meliputi tipe bendungan, mercu bendung, kolam olak, lebar bendung, tinggi bendung, elevasi bendung dan lainnya. Data mekanika tanah meliputi berat jenis tanah (γ) dan lainnya.
- Melakukan analisis pada tubuh bendungan terhadap geser dan guling.
- Menarik kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan.

Data Teknis Bendung

Data teknis dalam perhitungan bendungan sebagai berikut :

- | | |
|---|---|
| a. Elevasi mercu bandung | = +947,00 m |
| b. Elevasi muka air <i>headpond</i> | = +946,17 m |
| c. Elevasi as pipa <i>waterway</i> hulu | = +942,97 m |
| d. Elevasi as turbin | = +875,00 m |
| e. Tinggi jatuh (h_{gross}) | = 71,17 m (tinggi jatuh kotor dari elevasi muka air <i>headpond</i> ke as turbin) |
| f. Panjang pipa <i>waterway</i> | = 831 m |
| g. Panjang <i>penstock</i> total | = 270 m |
| h. Elevasi muka air di hulu (normal) | = +947,00 m |
| i. Elevasi muka air di hilir (normal) | = +943,00 m |
| j. Elevasi muka air di hulu (banjir) | = +952,51 m |
| k. Elevasi muka air di hilir (banjir) | = +945,35 m |



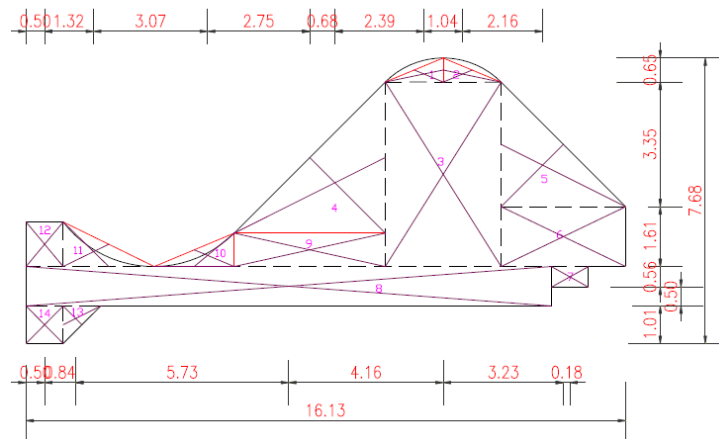
Gambar 3. Potongan memanjang bendung PLTM Parmonangan

(Sumber : PT. Seluma, 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban Sendiri Tubuh Bendung

Bendung PLTM Parmonangan di desain dengan bahan batukali sehingga dalam perhitungan pembebanan gama (γ) yang dipakai adalah (γ) gama batu kali yaitu $2,2 \text{ ton/m}^3$.



Gambar 4. Pembagian beban sendiri tubuh bendung

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Tabel 5. Pembagian beban sendiri tubuh bendung

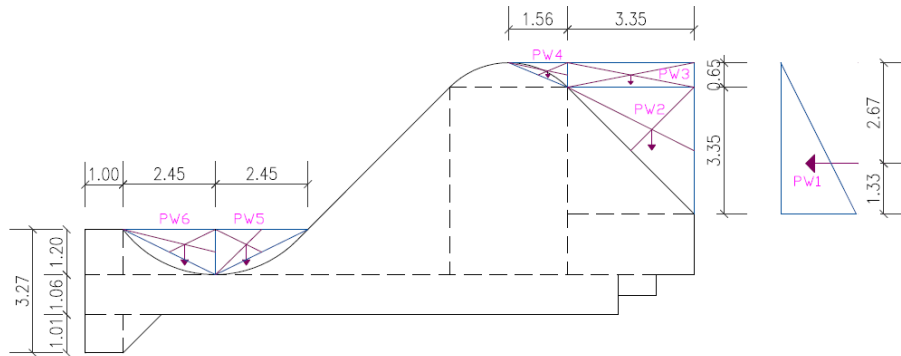
Segmen	Berat Segmen (ton)	Lengan (m)	Momen (ton.m)
1	1,115	10,71	11,946
2	1,115	11,74	13,095
3	34,045	11,22	381,990
4	18,221	8,31	151,420
5	12,345	13,90	171,592
6	11,866	14,46	171,578
7	1,232	14,63	18,024
8	32,951	7,07	232,965
9	8,059	7,63	61,487
10	2,129	4,88	10,387
11	3,234	1,82	5,886
12	2,640	0,50	1,320
13	1,122	1,34	1,504
14	2,222	0,50	1,111
Σ	132,296		1234,304

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Beban Tekanan Air (Hidrostatik)

Pada perhitungan beban akibat tekanan air dibagi menjadi dua (2) yaitu pada kondisi normal dan kondisi banjir ditinjau struk 1 m.

a. Kondisi Normal



Gambar 5. Pembebanan akibat tekanan air normal

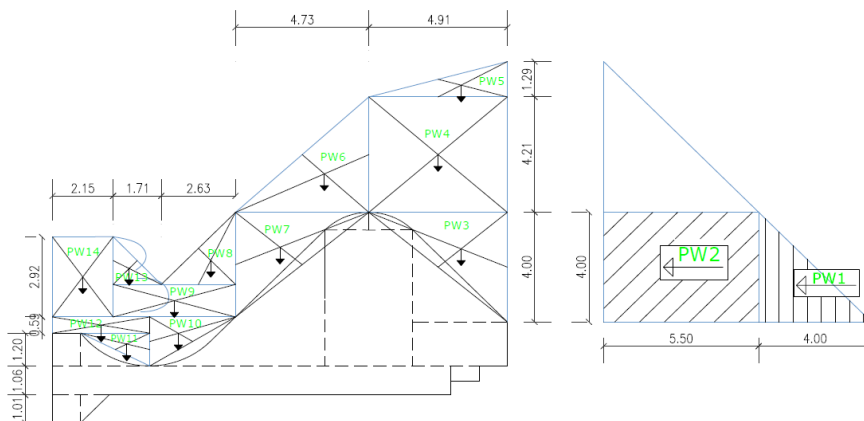
(Sumber : hasil analisis, 2024)

Tabel 6. Perhitungan pembebanan akibat tekanan air normal

Beban	Notasi	V (ton)	H (ton)	Lengan momen	Momen	
					M _V (ton.m)	M _H (ton.m)
Tekanan Air Statik	PW1		8	1,33		10,667
	PW2	5,611		15,020	84,281	
	PW3	2,178		14,460	31,487	
	PW4	0,507		12,260	6,216	
	PW5	1,470		4,270	6,277	
	PW6	1,470		2,630	3,866	
Σ		11,236	8		132,1264	10,667

(Sumber : hasil analisis, 2024)

b. Kondisi Banjir



Gambar 6. Pembebanan akibat tekanan air banjir

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Tabel 7. Perhitungan pembebanan akibat tekanan air banjir

Beban	Notasi	V (ton)	H (ton)	Lengan momen	Momen	
					M _V (ton.m)	M _H (ton.m)
Tekanan Air Statik	PW1		22	2,000		44,000
	PW2		8	1,333		10,667
	PW3	9,820		14,20	139,444	
	PW4	20,671		13,68	282,781	
	PW5	3,167		14,5	45,921	
	PW6	9,957		9,65	96,082	
	PW7	9,034		8,07	72,907	
	PW8	3,458		5,61	19,402	
	PW9	5,165		4,32	22,311	
	PW10	2,721		4,46	12,135	
	PW11	1,470		2,63	3,866	
	PW12	2,036		1,73	3,521	
	PW13	1,479		2,72	4,023	
	PW14	6,278		1,08	6,780	
Σ		75,256	30,00		709,173	54,667

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Beban Tekanan Tanah

Sama halnya pada perhitungan beban akibat air. Perhitungan beban akibat tanah juga dibagi menjadi dua (2) yaitu akibat tekanan tanah aktif (Pa) dan tekanan tanah pasif (Pp). Dengan sudut geser dalam (Φ) = 30° dan berat jenis tanah (γ) = 1,833 ton/m². Dengan nilai tekanan tanah aktif (Ka) = 0,333 dan tekanan tanah pasif (Kp) = 3 maka perhitungan pembebanan akibat tekanan tanah dijabarkan dalam Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Perhitungan pembebanan akibat tekanan tanah

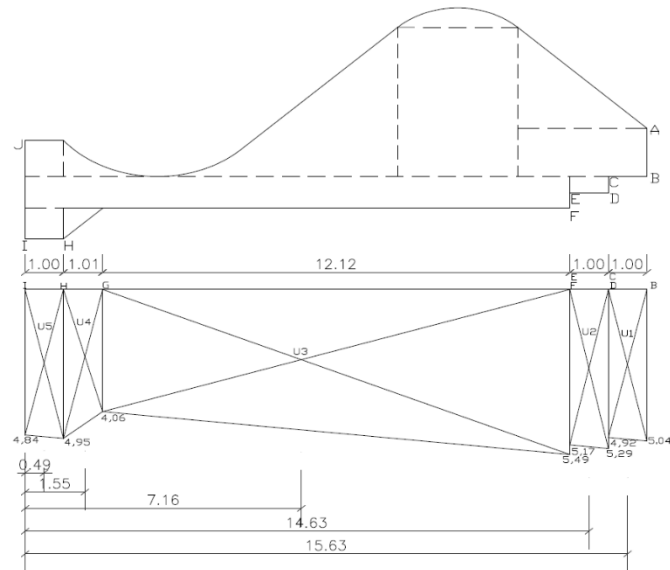
Beban	Notasi	V (ton)	H (ton)	Lengan momen	Momen	
					M _V (ton.m)	M _H (ton.m)
Tekanan	Pa		4,137	1,23		5,075
Tanah	Pp		29,400	1,09		32,046
Σ			25,263			

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Beban Uplift

Pada perhitungan pembebanan akibat gaya *uplift*, dianalisis *uplift* pada kondisi normal dan *uplift* pada kondisi banjir.

- Kondisi normal



Gambar 7. Pembebanan akibat tekanan *uplift* normal

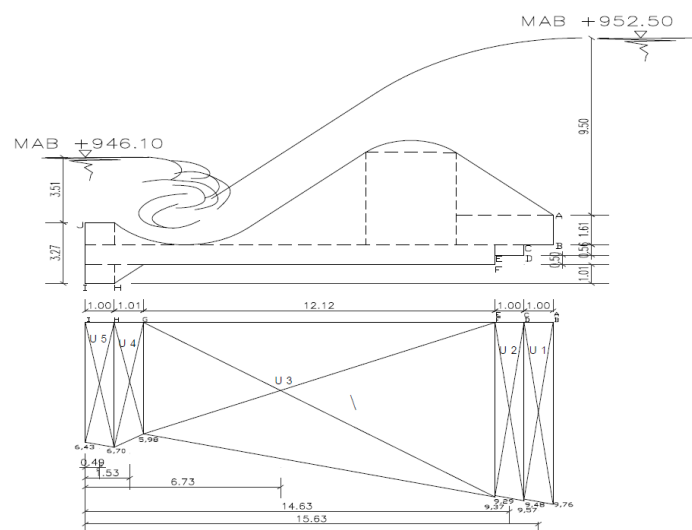
(Sumber : hasil analisis, 2024)

Tabel 9. Perhitungan pembebanan akibat tekanan air *uplift* normal

Notasi	Gaya (ton)	Lengan (m)	Momen (ton.m)
U1	4,980	15,63	77,837
U2	5,230	14,63	76,515
U3	57,873	7,16	414,371
U4	4,550	1,55	7,053
U5	4,895	0,49	2,399
Σ	77,528		578,174

(Sumber : hasil analisis, 2024)

b. Kondisi banjir



Gambar 8. Pembebanan akibat tekanan *uplift* banjir

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Tabel 10. Perhitungan pembebanan akibat tekanan air *uplift* banjir

Notasi	Gaya (ton)	Lengan (m)	Momen (ton.m)
U1	9,620	15,63	150,361
U2	9,430	14,63	137,961
U3	93,021	6,73	626,031
U4	6,403	1,53	9,797
U5	6,565	0,49	3,217
Σ	125,039		927,367

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Beban Gempa

Sesuai dengan lokasi PLTM Parmonangan yang berada pada daerah gempa wilayah D, maka beberapa analisis data yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut.

- Koefisien jenis tanah (Aluvium lunak) dengan $n = 0,29$ dan $m = 1,32$
- Periode ulang (T_d) = 100 tahun
- Percepatan dasar gempa (a_c) = 160 cm/dt^2
- Zona D dengan koefisien gempa $z = 1$
- Percepatan gempa rencana (a_d) = $235,416 \text{ cm/dt}^2$
- Koefisien gempat (E) = $0,24$

Dengan demikian perhitungan gaya gempa dan momen gempat lainnya dapat dilihat pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Perhitungan pembebanan akibat gempa

No.	Berat (ton)	Koefisien gempa	Gaya gempa (ton)	Lengan (m)	Momen (ton.m)
1	1,115	0,240	0,268	7,25	1,941
2	1,115		0,268	7,25	1,941
3	34,045		8,170	4,55	37,174
4	18,221		4,373	4,32	18,890
5	12,345		2,962	4,80	14,220
6	11,866		2,847	2,87	8,172
7	1,232		0,296	1,79	0,529
8	32,951		7,907	1,54	12,178
9	8,059		1,934	2,52	4,873
10	2,129		0,511	2,37	1,211
11	3,234		0,776	2,47	1,917
12	2,640		0,634	2,67	1,692
13	1,122		0,269	0,67	0,180
14	2,222		0,533	0,51	0,272
Σ			31,748		105,189

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Stabilitas Tubuh Bendung

Hasil analisis stabilitas tubuh bendung dikelompokkan atas dua (2) bagian yaitu kondisi normal dan kondisi banjir.

1. Kondisi Normal

- a. Stabilitas terhadap guling kondisi normal

$$\sum M_H = 699,104 \text{ ton.m}$$

$$\sum M_V = 1.398,477 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned} \text{SF} &= \frac{\sum M_V}{\sum M_H} > 1,5 \\ &= \frac{1.398,477}{699,104} > 1,5 \\ &= 2,00 > 1,5 \longrightarrow (\text{Aman}) \end{aligned}$$

- b. Stabilitas terhadap geser kondisi normal

$$\sum V = 66,004 \text{ ton}$$

$$\sum H = 14,485 \text{ ton}$$

$$\text{Koefisien geser } (f) = 0,7 \text{ (pasangan batu)}$$

$$\begin{aligned} \text{SF} &= \frac{f \times \sum V}{\sum H} > 1,5 \\ &= \frac{0,7 \times 66,004}{14,485} > 1,5 \\ &= 3,19 > 1,5 \longrightarrow (\text{Aman}) \end{aligned}$$

- c. Stabilitas terhadap gaya dukung tanah

$$\begin{aligned} x &= \frac{(\sum M_V - \sum M_H)}{\sum V} \\ &= \frac{(1398,477 - 699,104)}{66,004} \\ &= 10,596 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Eksentrisitas } (e) = 2,531$$

$$\sigma = 7,944 \text{ ton/m}^2$$

$$q_u = 484,709 \text{ ton/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{SF daya dukung} &= \frac{q_u}{\sigma} \\ &= \frac{484,709 \text{ ton/m}^2}{7,944 \text{ ton/m}^2} \\ &= 61,03 > 3 \longrightarrow (\text{Aman}) \end{aligned}$$

2. Kondisi Banjir

- a. Stabilitas terhadap guling kondisi banjir

$$\begin{aligned}
 \sum M_H &= 1.092,297 \text{ ton.m} \\
 \sum M_V &= 1.975,523 \text{ ton.m} \\
 SF &= \frac{\sum M_V}{\sum M_H} > 1,25 \\
 &= \frac{1.975,523}{1.092,297} > 1,25 \\
 &= 1,809 > 1,5 \longrightarrow \text{(Aman)}
 \end{aligned}$$

b. Stabilitas terhadap geser kondisi banjir

$$\begin{aligned}
 \sum V &= 82,513 \text{ ton} \\
 \sum H &= 36,485 \text{ ton} \\
 \text{Koefisien geser (f)} &= 0,7 \text{ (pasangan batu)} \\
 SF &= \frac{f \times \sum V}{\sum H} > 1,25 \\
 &= \frac{0,7 \times 82,513}{36,485} > 1,25 \\
 &= 1,583 > 1,25 \longrightarrow \text{(Aman)}
 \end{aligned}$$

c. Stabilitas terhadap gaya dukung tanah

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{(\sum M_V - \sum M_H)}{\sum V} \\
 &= \frac{(1.975,523 - 1.092,297)}{82,513} \\
 &= 10,704 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas (e)} &= 2,639 \\
 \sigma &= 10,137 \text{ ton/m}^2 \\
 q_u &= 484,709 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{SF daya dukung} &= \frac{q_u}{\sigma} \\
 &= \frac{484,709 \text{ ton/m}^2}{10,137 \text{ ton/m}^2} \\
 &= 4,781 > 3 \longrightarrow \text{(Aman)}
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan stabilitas yang telah dilakukan diperoleh sebagai berikut :

1. Stabilitas terhadap guling dengan nilai stabilitas pada kondisi normal adalah $SF = 2 > 1,5$ (Aman) dan nilai stabilitas pada kondisi banjir adalah $SF = 1,809 > 1,5$ (Aman).

2. Stabilitas terhadap geser dengan nilai stabilitas pada kondisi normal adalah $SF = 3,190 > 1,5$ (Aman) dan nilai stabilitas pada kondisi banjir adalah $SF = 1,583 > 1,25$ (Aman).
3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah, pada kondisi normal, nilai eksentrisitas ($e = 2,531 < 2,688$); daya dukung ultimate ($q_{ult} = 484,709$) dan stabilitas daya dukung tanah adalah $SF = 6,101 > 3$. Sedangkan pada kondisi banjir nilai eksentrisitas ($e = 2,639 < 2,688$); daya dukung ultimate ($q_{ult} = 484,709$) dan stabilitas daya dukung tanah adalah $SF = 4,781 > 3$.

DAFTAR PUSTAKA

- Erman, M., Moch. M. 2010. *Desain Bangunan-Bangunan Irigasi*. Bandung.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013. Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (Head Works) KP-02. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013. Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP-06. Jakarta.
- Najoan. 2002. *Interpretasi Hasil Uji dan Penyusunan Laporan Penyelidikan Geoteknik*. Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum.
- Terzaghi, K., Peck. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. John Willey and Sons New York.
- Suryolelono, K. B. 2000. *Geosintetik Geoteknik*. Penerbit Nafiri. Yogyakarta.