



Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>

SAINSTEK
(e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Stabilitas Bendung Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (Studi Kasus; Desa Sundeta, Pasaman)

Fajri Hidayat^a, Sih Andajani^b

^a Jurusan Teknik Sipil Universitas Trisakti, Jakarta

^b Jurusan Teknik Sipil Universitas Trisakti, Jakarta

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel : Sub, 25 Februari 2020

Diterima Redaksi : 07 April 2020

Revisi Akhir : 06 Mei 2020

Diterbitkan Online : 30 Juni 2020

KATA KUNCI

Bendung, Stabilitas, Guling, Geser

KORESPONDENSI

Telepon: 08551486837

E-mail: fajrih89@gmail.com

A B S T R A K

Energi listrik merupakan kebutuhan bagi setiap manusia, akan tetapi di Pasaman, Sumatra Barat ada sekitar 364 desa yang belum teralir listrik. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka dibangun pembangkit listrik tenaga air minihidro (PLTM) dengan kapasitas yang dibangkitkan 1–10 MW. PLTM adalah salah satu alternatif karena Pasaman memiliki Batang (sungai) Sumpur dan topografi yang berpotensi. Untuk merealisasikannya perlu adanya perencanaan dari segi bangunan sipil berupa dimensi bendung, dan bangunan pelengkap. Berdasarkan hasil perhitungan dengan debit banjir (Q_{100}) sebesar $619 \text{ m}^3/\text{det}$ diperoleh dimensi bendung tinggi 5 m, lebar 43 m, dengan kolam olak bak tenggelam jari-jari 4,7 m. Dengan debit andalan (q) sebesar $14,5 \text{ m}^3/\text{det}$ diperoleh bangunan pembilas dengan lebar 4,4 m, bangunan pengambil 6 m. dan untuk menjaga tubuh bendung aman terhadap bahaya guling dan geser maka dihitung stabilitasnya. Berdasarkan stabilitas bendung nilai keamanan pada kondisi normal $S_f = 3,211 > 1,5$ untuk stabilitas guling, $S_f = 2,280 > 1,5$ untuk stabilitas geser, pada kondisi banjir nilai keamanan $S_f = 2,181 > 1,25$ untuk stabilitas guling, dan $S_f = 1,409 > 1,25$ untuk stabilitas geser.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan setiap manusia yang penting dalam menunjang kegiatan manusia. Pada masa yang akan datang kebutuhan energi listrik akan terus meningkat seiring meningkatnya jumlah penduduk serta kegiatan ekonomi yang akan terus bertumbuh terutama di Indonesia. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang akan datang, serta mengurangi pemakaian sumber daya alam berupa batubara adalah dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam berupa sumber air. Tenaga air merupakan sumber energi listrik yang ramah lingkungan dan

berpotensi besar di Indonesia. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) yang daya listriknya lebih kecil dari PLTA banyak dibangun terutama di pedesaan, karena secara ekonomis sangat menguntungkan dari segi bangunan sipil yang sederhana dan murah, ditambah lagi jika diimplementasikan di lokasi yang memiliki kemiringan daerah yang curam yang dapat menghasilkan tinggi terjun air yang baik.

PLTM merupakan pembangkit listrik dengan memanfaatkan potensi tenaga air yang besar. Pembangunan bendung pada PLTM bertujuan menaikkan elevasi muka air sungai dan menjaga debit rencana agar selalu dapat dialirkan walaupun saat musim kemarau,

sehingga debit rencana dapat dialiri ke dalam bangunan pengambil (*intake*) dan sampai ke rumah pembangkit. Agar tubuh bendung bendung tersebut aman terhadap bahaya guling dan bahaya geser maka perlu dilakukan analisis stabilitas guling dan geser pada kondisi air normal maupun banjir, maka atas permasalahan tersebut penulis akan membahas tentang “Analisis Stabilitas Bendung Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro”

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perencanaan bendung memerlukan Analisis stabilitas bendung agar bendung aman terhadap stabilitas terhadap dan stabilitas terhadap Geser, dan analisa stabilitas bendung tersebut dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung yang meliputi: Berat Sendiri, Gaya Gempa Gaya Hidrostatik, dan Gaya Angkat (Uplift) dimana gaya yang berkerja terjadi pada kondisi normal dengan $S_f \geq 1,5$ dan pada kondisi banjir $S_f \geq 1,25$.

3. METODOLOGI

3.1. Analisa Stabilitas Bendung

Untuk mendapatkan hasil perencanaan yang aman, maka perlu dilakukan analisa kontrol terhadap guling dan analisa kontrol terhadap geser dimana $S_f \geq 1,5$ untuk kondisi banjir $S_f \geq 1,25$, gaya-gaya yang bekerja meliputi:

3.1.1. Gaya Akibat Berat Bendung Sendiri

Berat bendung bergantung pada material yang digunakan untuk membuat bangunan tersebut, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Gaya} &= V \cdot \gamma_{\text{beton}} \\ \text{Momen} &= \text{Gaya} \times \text{jarak} \\ \text{Dimana:} \\ V &= \text{Volume (m}^3\text{)} \\ \gamma_{\text{beton}} &: \text{berat jenis beton (2,4 = ton/m}^3\text{)} \end{aligned} \quad (2)$$

3.1.2. Gaya Akibat Gempa

Gaya gempa merupakan nilai koefisien gempa dikali dengan berat bangunan, nilai koefisien gempa diambil berdasarkan peta zona gempa Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan resiko gempa. Untuk mencari nilai koefisien gempa dapat menggunakan persamaan.

$$a_d = n (a_c \times z)^m \quad (3)$$

$$E = \frac{ad}{g} \quad (4)$$

$$\text{Gaya} = \text{koefisien} \times V \times \gamma_{\text{beton}} \quad (5)$$

Dimana:

a_d = percepatan gempa permukaan terkoreksi

n, m = Koefisien jenis tanah (Tabel 1.)

z = Koefisien zona (Gambar 1.)

a_c = Percepatan kejut dasar

E = koefisien gempa

Tabel 1. Koefisien Jenis Tanah

Jenis	n	m
Batu	2,76	0,71
Diluvium	0,87	1,05
Aluvium	1,57	0,89
Aluvium lunak	0,29	1,32

Tabel 2. Koefisien Percepatan Kejut Dasar

Periode Ulang T (Tahun)	a_c (cm/det ²)
20	85
100	160
500	225
1000	275



Gambar 1. Koefisien Zona

3.1.3. Gaya Tekan Hidrostatik

(1)
Gaya tekan hidrostatik merupakan tekanan air yang bekerja tegak lurus terhadap muka bendung. Gaya tekan hidrostatik terjadi dihitung dengan dua kondisi muka air; kondisi muka air normal dan kondisi muka air banjir. Dalam menentukan gaya tekan hidrostatik dapat menggunakan persamaan.

$$W = (0,5 \times h_w^2) \cdot \gamma_w \quad (6)$$

Dimana:

W = gaya tekan hidrostatik (ton)

γ_w = berat jenis air (ton/m³)

h = kedalaman air (m)

3.1.4. Gaya Angkat (Uplift)

Gaya angkat pada bendung merupakan gaya yang bekerja pada dasar bangunan dalam tubuh bendung. Gaya angkat juga menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan

di atasnya. Gaya tekan angkat terjadi dihitung dengan dua kondisi muka air; kondisi muka air normal dan kondisi muka air banjir. Gaya angkat dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H \quad (7)$$

Dimana:

P_x = gaya angkat (ton/m^2)
 H_x = tinggi energi (m)
 L_x = panjang rembesan (m)
 L = Panjang total bidang kontak bendung
 ΔH = beda tinggi energi (m)

3.1.5. Periksa Stabilitas Guling

Menentukan apakah bendung aman terhadap Stabilitas Guling sebagai berikut:

$$S_f = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5 \text{ (kondisi normal)}$$

$$S_f = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,25 \text{ (kondisi banjir)}$$

Dimana:

$\sum MT$ = momen tahanan (tm)
 $\sum MG$ = momen guling (tm)

3.1.6. Periksa Stabilitas Geser

Menentukan apakah bendung aman terhadap Stabilitas Guling sebagai berikut:

$$S_f = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5 \text{ (kondisi normal)}$$

$$S_f = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,25 \text{ (kondisi banjir)}$$

Dimana:

$\sum V$ = gaya vertikal (ton)
 $\sum H$ = gaya horizontal (ton)

3.1.7. Keamanan Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Untuk mengatasi erosi bawah tanah elevasi dasar hilir dapat diasumsikan pada pangkal koperan hilir. Gaya tekan ke atas dapat dihitung dengan mengasumsikan bagian atas ambang ujung. Keamanan terhadap erosi bagian hilir bangunan dapat dicek dengan menggunakan persamaan:

$$S_f = \frac{s(1+\frac{a}{s})}{h_s}$$

Dimana:

S_f = faktor keamanan ($s_f > 2$)
 s = Kedalaman tanah (m)
 a = tebal lapisan pelindung (m)
 h_s = tekanan air pada kedalaman s, (kg/m^2)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bendung direncanakan dengan debit banjir rencana (Q_{100}) sebesar $619 \text{ m}^3/\text{det}$, dan diketahui bahwa dasar sungai pada daerah tersebut mengandung pasir dan batuan maka direncanakan kolam olak tipe bak tenggelam. Berdasarkan data tersebut diperoleh dimensi bendung sebagai berikut:

Dimana:

(Q_{100}) : dengan debit banjir ($619 \text{ m}^3/\text{det}$)

P : tinggi bendung (5m)

r : jari-jari mercu bendung (1m)

R : jari-jari bak tenggelam (4,7m)

Tinggi muka air normal dihilir (5m)

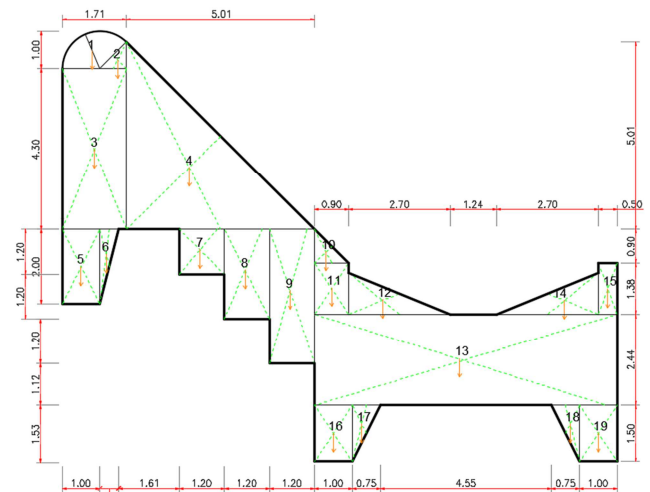
Tinggi muka air banjir dihilir (8,17m)

Tinggi muka air normal dihilir (0m)

Tinggi muka air banjir dihilir (5,99m)

4.1. Gaya Akibat Berat Bendung Sendiri

Berdasarkan data diatas direncanakan tubuh bendung sebagai berikut:



Gambar 2. Gaya Akibat Berat Sendiri

Berat bendung bergantung pada material yang digunakan untuk membuat bangunan tersebut, dan untuk menghitung gaya berat bendung tersebut dengan cara volume dikali dengan berat jenis material dapat menggunakan persamaan berikut:

Contoh perhitungan ini berdasarkan bangunan 1 berupa sepertiga lingkaran:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 \cdot l$$

$$= \frac{1}{3} \times \pi \times 1^2 \times 1$$

$$= 1,047 \text{ m}^3$$

$$\text{Gaya} = V \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$= 1,047 \times 2,4$$

$$= 2,513 \text{ ton}$$

$$\text{Momen} = \text{Gaya} \times \text{jarak}$$

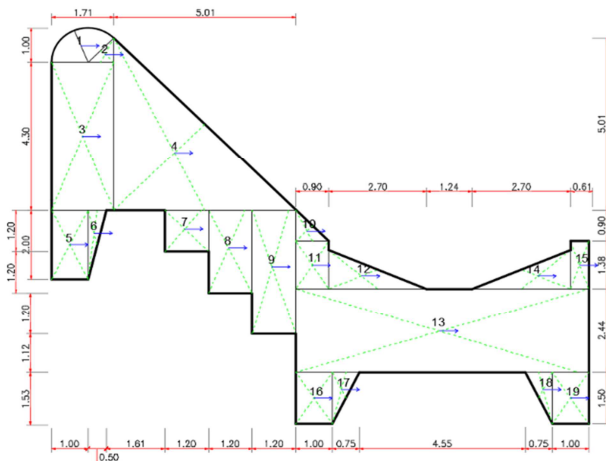
$$= -2,513 \times 13,960$$

$$= -35,085 \text{ tm}$$

Tabel 3. Perhitungan Akibat Berat Sendiri

Bangun	H (m)	L (m)	Vol. (m ³)	Gaya (Ton)	jarak (m)	MT (Tm)
B1	r = 1		1,05	-2,51	13,96	-35,09
B2	0,71	0,71	0,25	-0,60	13,29	-8,04
B3	4,30	1,71	7,35	-17,65	13,91	-245,38
B4	5,01	5,01	12,55	-30,12	11,38	-342,77
B5	2,00	1,00	2,00	-4,80	14,26	-68,45
B6	2,00	0,50	0,50	-1,20	13,59	-16,31
B7	1,20	1,20	1,44	-3,46	11,05	-38,19
B8	2,40	1,20	2,88	-6,91	9,85	-68,08
B9	3,60	1,20	4,32	-10,37	8,65	-89,68
B10	0,90	0,90	0,41	-0,97	7,75	-7,53
B11	1,38	0,90	1,24	-2,98	7,60	-22,65
B12	1,12	2,70	1,51	-3,63	6,25	-22,68
B13	2,44	8,05	19,64	-47,14	4,03	-189,74
B14	1,12	2,70	1,51	-3,63	1,40	-5,08
B15	1,38	0,50	0,69	-1,66	0,25	-0,41
B16	1,50	1,00	1,50	-3,60	7,55	-27,18
B17	1,50	0,75	0,56	-1,35	6,80	-9,18
B18	1,50	0,75	0,56	-1,35	1,25	-1,69
B19	1,50	1,00	1,50	-3,60	0,75	-2,70
Total				-147,53		-1200,84

4.2. Gaya Akibat Berat Bendung Sendiri



Gambar 3. Gaya Akibat Gempa

Berdasarkan data lokasi diperoleh koefisien gempa sebagai berikut:

Koefisien jenis tanah : (n=1,56); (m= 0,89)

Koefisien zona (z) : 1,2 (gambar 1.1)

Percepatan kejut dasar (a_c) : 160 cm/det²

Percepatan gravitasi (g) : 981 cm/det²

$$\begin{aligned}
 a_d &= n (a_c \times z)^m \\
 &= 1,56 (160 \times 1,2)^{0,89} \\
 &= 167,982 \text{ cm/det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{ad}{g} \\
 &= \frac{167,982}{981} \\
 &= 0,171
 \end{aligned}$$

Gaya = koefisien x V x γ_{beton}

$$= 0,171 \times 1,047 \times 2,4$$

$$= 0,430 \text{ ton}$$

Momen= gaya x jarak

$$= 0,430 \times 11$$

$$= 4,734 \text{ tm}$$

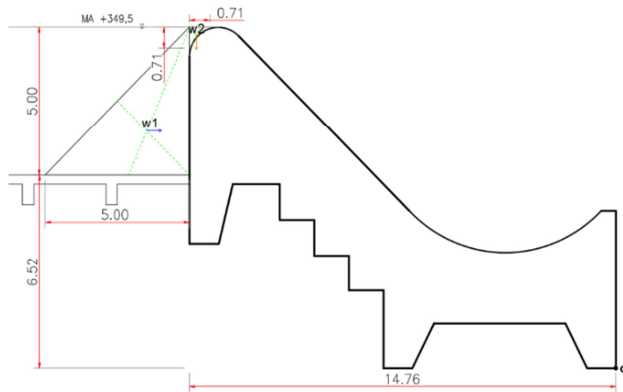
Tabel 4. Perhitungan Akibat Gempa

Bangun	h (m)	t (m)	Vol. (m ³)	Gaya (Ton)	jarak (m)	MG (Tm)
B1	r =	1,00	1,05	0,43	11,00	4,73
B2	0,71	0,71	0,25	0,10	10,76	1,11
B3	4,30	1,71	7,35	3,02	8,37	25,29
B4	5,01	5,01	12,55	5,16	7,89	40,69
B5	2,00	1,00	2,00	0,82	5,22	4,29
B6	2,00	0,50	0,50	0,21	5,55	1,14
B7	1,20	1,20	1,44	0,59	5,62	3,33
B8	2,40	1,20	2,88	1,18	5,02	5,94
B9	3,60	1,20	4,32	1,78	4,42	7,85
B10	0,90	0,90	0,41	0,17	5,62	0,94
B11	1,38	0,90	1,24	0,51	4,63	2,36
B12	1,12	2,70	1,51	0,62	4,31	2,68
B13	2,44	8,05	19,64	8,07	2,72	21,96
B14	1,12	2,70	1,51	0,62	4,31	2,68
B15	1,38	0,50	0,69	0,28	4,63	1,31
B16	1,50	1,00	1,50	0,62	0,75	0,46
B17	1,50	0,75	0,56	0,23	1,00	0,23
B18	1,50	0,75	0,56	0,23	1,00	0,23
B19	1,50	1,00	1,50	0,62	0,75	0,46
Total				25,26		127,70

4.3. Gaya Tekan Hidrostatik

Gaya tekan hidrostatik merupakan tekanan air yang bekerja tegak lurus terhadap muka bendung.

4.3.1. Gaya Hidrostatik Kondisi Normal



Gambar 4. Gaya Hidrostatik (Normal)

$$\begin{aligned} W &= (0,5 \times h_w^2) \cdot \gamma_w \\ &= (0,5 \times 5^2) \cdot 1 \\ &= 12,5 \text{ ton} \end{aligned}$$

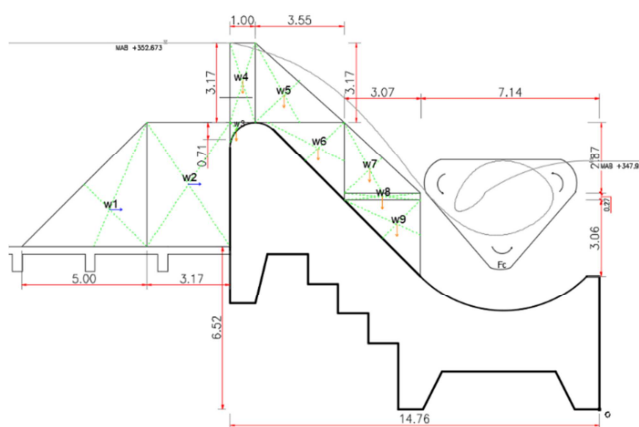
$$\begin{aligned}\text{Momen} &= \text{gaya} \times \text{jarak} \\ &= 12,5 \times 8,187 \\ &= 102,333 \text{ tm}\end{aligned}$$

Tabel 5. Perhitungan Akibat Hidrostatik (Normal)

Bangun	h (m)	t (m)	Vol. (m³)	Gaya (Ton)		jarak (m)	MG (Tm)	MT (Tm)
				H	V			
w1	5,00	5,00	12,50	12,50		8,19	102,33	
w2	0,71	0,71	0,25		-0,25	14,52		-3,66
Total				12,50	-0,25		102,33	-3,66

4.3.2. Gaya Hidrostatik Kondisi Banjir

Kondisi banjir sama halnya dengan kondisi normal, tapi kondisi muka air berberda dan ditambah dengan gaya sentrifugal diatas bak tenggelam:



Gambar 5. Gaya Hidrostatik (Banjir)

- Menghitung kecepatan air (v):

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2g(T+z)} \\ &= \sqrt{2 \times 9,81(5,99 + 4,71)} \\ &= 14,496 \text{ m/det} \end{aligned}$$

- Menghitung tebal pancaran air (d):

$$\begin{aligned} d &= q/v \\ &= 14,599/14,496 \\ &= 1,007 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tekanan sentrifugal pada bak (p):

$$\begin{aligned} p &= \frac{d \cdot v^2}{g \cdot r} \\ &= \frac{1,007 \times 14,496^2}{9,81 \times 4,7} \\ &= 4,590 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

- Maka gaya sentrifugal (F_c):

$$\begin{aligned} F_c &= p \cdot (\pi/4) \cdot r \\ &= 4,590 (\pi/4) \times 4,7 \\ &= 16,943 \text{ ton} \end{aligned}$$

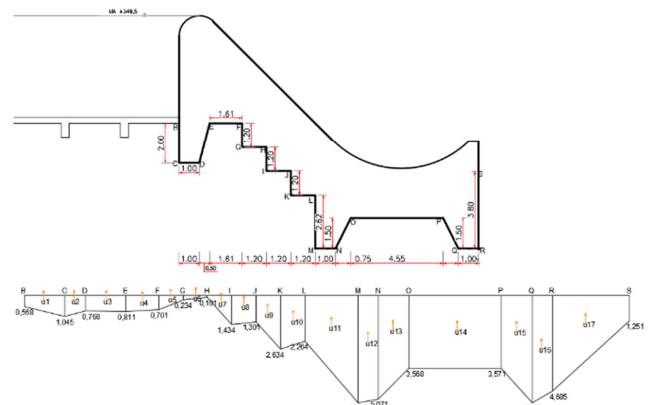
Tabel 6. Perhitungan Akibat Hidrostatik (Banjir)

Bangun	h (m)	L (m)	Vol. (m³)	Gaya (Ton)		jarak (m)	MG (Tm)	MT (Tm)
				H	V			
w1	5,0	5,0	12,5	12,5		8,2	102,3	
w2	5,0	3,2	7,9	7,9		9,0	71,5	
w3	0,7	0,7	0,3		-0,3	14,5		-3,7
w4	3,2	1,0	1,6		-1,6	14,3		-22,6
w5	3,2	3,6	5,6		-5,6	12,6		-70,7
w6	3,1	3,6	5,6		-5,6	11,4		-63,4
w7	2,9	3,1	4,4		-4,4	9,2		-40,4
w8	0,3	3,1	0,8		-0,8	8,7		-7,2
w9	3,1	3,1	4,7		-4,7	8,2		-38,3
fc					-16,9	3,8		-64,8
Total				20,4	-39,9		173,8	-311,1

4.4. Gaya Angkat (Uplift)

Gaya angkat pada bendung merupakan gaya yang bekerja pada dasar bangunan dalam tubuh bendung. Gaya angkat juga menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

4.4.1. Gaya Angkat Kondisi Normal



Gambar 6. Gaya Angkat (Normal)

$$\begin{aligned} L_x &= LV + \frac{1}{3} LH \\ &= 2 + \frac{1}{3} \times 0 \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Hx = Elv titik B - elv muka air dihilir
= 344,2 - 343,3

$$\begin{aligned}
 &= 0,9 \text{ m} \\
 H_x &= \text{beda muka air hulu dengan hilir} \\
 &= 349,5 - 343,3 \\
 &= 6,20 \text{ m} \\
 C_x &= \frac{\sum Lx}{H_x} \\
 &= \frac{37,293}{6,20} \\
 &= 6,02 \\
 \Delta H &= \frac{Lx}{C_x} \\
 &= \frac{2}{6,02} \\
 &= 0,332 \text{ m} \\
 P &= (H_x - \Delta H) \cdot \gamma_w \\
 &= (0,9 - 0,332) \times 1 \\
 &= 0,568 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

- Menghitung luas

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} &= \frac{(P_C + P_B)}{2} \times L \\
 &= \frac{(1,045 + 0,568)}{2} \times 2 \\
 &= 1,612 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Menghitung besar gaya (u):

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \text{luas} \\
 &= 1,612 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Menghitung momen:

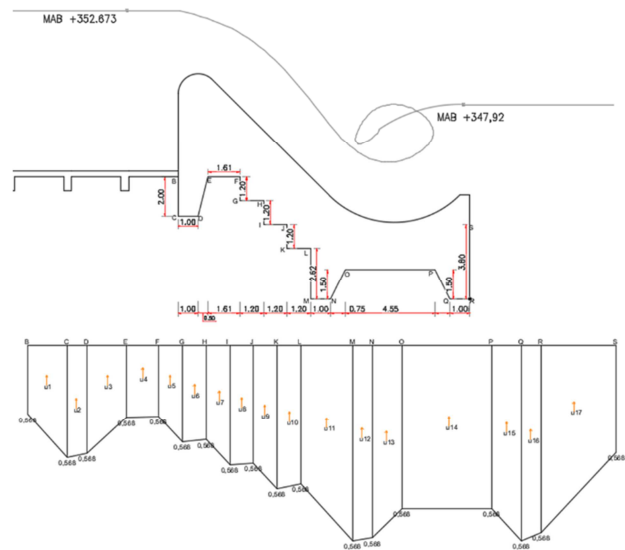
$$\begin{aligned}
 \text{Momen} &= u_1 \times \text{jarak} \\
 &= 1,612 \times 5,121 \\
 &= 8,256 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Perhitungan Akibat Angkat (Normal)

Bangun	H (m)	L (m)	Luas (m ²)	Gaya (Ton)		jarak (m)	MG (Tm)	MT (Tm)
				H	V			
u1	0,57	2,00	1,61	1,61		5,12	8,26	
u2	1,04	1,00	0,91		0,91	14,28		12,93
u3	0,77	2,00	1,58	-1,58		5,23	-8,25	
u4	0,81	1,61	1,22		1,22	12,47		15,18
u5	0,70	1,20	0,56	0,56		5,72	3,21	
u6	0,23	1,20	0,20		0,20	11,13		2,23
u7	0,10	1,20	0,92	0,92		4,25	3,91	
u8	1,43	1,20	1,64		1,64	9,86		16,17
u9	1,30	1,20	2,36	2,36		3,15	7,44	
u10	2,63	1,20	2,94		2,94	8,67		25,46
u11	2,26	2,62	9,86	9,86		1,14	11,20	
u12	5,26	1,00	5,17		5,17	7,55		39,03
u13	5,07	1,50	6,48	-6,48		0,71	-4,58	
u14	3,57	4,55	16,24		16,24	4,02		65,36
u15	3,57	1,50	6,63	6,63		0,70	4,65	
u16	5,26	1,00	4,97		4,97	0,51		2,54
u17	4,68	3,82	11,34	-11,34		1,54	-17,48	
Jumlah $\sum$ =				2,55	33,28		8,36	178,91

4.4.2. Gaya Angkat Kondisi Banjir

Kondisi banjir sama halnya dengan kondisi normal tapi, dibedakan dengan beda tinggi muka airnya.



Gambar 7. Gaya Angkat (Banjir)

Tabel 8. Perhitungan Akibat Angkat (Banjir)

Bangun	H (m)	L (m)	Luas (m ²)	Gaya (Ton)		jarak (m)	MG (Tm)	MT (Tm)
				H	V			
u1	3,49	2,00	9,17	9,17		5,14	47,16	
u2	5,68	1,00	5,59		5,59	14,25		79,63
u3	5,49	2,00	9,15	-9,15		5,15	-47,16	
u4	3,66	1,61	5,83		5,83	12,46		72,62
u5	3,58	1,20	5,07	5,07		5,59	28,36	
u6	4,87	1,20	5,79		5,79	11,05		64,04
u7	4,78	1,20	6,51	6,51		4,40	28,64	
u8	6,07	1,20	7,23		7,23	9,85		71,27
u9	5,98	1,20	7,95	7,95		3,20	25,46	
u10	7,27	1,20	8,58		8,58	8,65		74,23
u11	7,02	2,62	22,17	22,17		1,24	27,40	
u12	9,90	1,00	9,84		9,84	7,55		74,27
u13	9,77	1,50	13,53	-13,53		0,73	-9,86	
u14	8,27	4,55	37,62		37,62	4,02		151,42
u15	8,27	1,50	13,63	13,63		0,73	9,91	
u16	9,90	1,00	9,70		9,70	0,50		4,88
u17	9,51	3,82	28,52	-28,52		1,74	-49,51	
Jumlah $\sum$ =				13,32	90,18		109,85	436,05

4.5. Rekapitulasi Gaya-Gaya yang Bekerja

Tabel 9. Rekapitulasi Gaya Kondisi Normal

No	Gaya	Gaya (ton)		MG (tm)	MT (tm)
		V	H		
1	Berat Sendiri	-147,53			-1200,84
2	Gempa		25,26	127,70	
3	Hidrostatik	-0,25	12,50	102,33	-3,66
4	Angkat	33,28	2,55	8,36	178,91
Total		114,50	40,31	238,39	1025,59

Tabel 10. Rekapitulasi Gaya Kondisi Banjir

No	Gaya	Gaya (ton)		MG (tm)	MT (tm)
		V	H		
1	Berat Sendiri	-147,53			-1200,84
2	Gempa		25,26	127,70	
3	Hidrostatik	-39,91	20,43	173,82	-311,13
4	Angkat	90,18	13,32	109,85	436,05
Total		97,26	59,00	411,37	1075,92

4.6. Periksa Stabilitas Terhadap Guling

Momen tahanan ($\sum MT$) : 1025,592 tm

Momen guling ($\sum MG$) : 238,389 tm

$$Sf = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5$$

$$= \frac{1075,923}{411,367}$$

$$= 2,62 \geq 1,25 \rightarrow \text{Ok (kondisi normal)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa bendung aman terhadap bahaya guling, karena nilai $Sf = 4,30 \geq 1,5$ pada kondisi air normal.

$$Sf = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,25$$

$$= \frac{1075,923}{411,367}$$

$$= 2,62 \geq 1,25 \rightarrow \text{Ok (kondisi banjir)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa bendung aman terhadap bahaya guling, karena nilai $Sf = 2,62 \geq 1,25$ pada kondisi air banjir.

4.7. Periksa Stabilitas Terhadap Guling

$$Sf = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5$$

$$= \frac{114,496}{40,311}$$

$$= 2,84 \geq 1,5 \rightarrow \text{Ok (kondisi normal)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa bendung aman terhadap bahaya geser, karena nilai $Sf = 2,84 \geq 1,5$ pada kondisi air normal.

$$Sf = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,25$$

$$= \frac{97,259}{59,005}$$

$$= 1,65 \geq 1,25 \rightarrow \text{Ok (kondisi banjir)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa bendung aman terhadap bahaya geser, karena nilai $Sf = 1,65 \geq 1,25$ pada kondisi air banjir.

Maka berdasarkan analisis stabilitas bendung, tubuh bendung aman terhadap bahaya guling dan bahaya geser.

4.8. Keamanan Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Pada hilir bendung bagian ujung dapat memungkinkan terjadinya erosi, untuk mencegah terjadinya erosi tanah maka harga keamanan sekurang-kurangnya adalah 2, bagian ujung bendung direncanakan dengan pasangan batu kali dengan ketebalan akan direncanakan sebagai berikut:

Dimana:

Tebal lapisan pelindung (a) = 1,5 m
Tebal dinding kolam olak di hilir (Tk) = 5,32 m

- Menghitung kedalaman tanah (s):

$$s = Tk - a$$

$$= 5,32 - 1,5$$

$$= 3,82 \text{ m}$$

- Tekanan air pada kedalaman s, (hs):

$$hs = \frac{2}{3} \cdot hs \cdot \gamma_w$$

$$= \frac{2}{3} \times 3,82 \times 1$$

$$= 2,547 \text{ t/m}^2$$

- Keamanan terhadap erosi bawah tanah (Sf):

$$Sf = \frac{s(1 + \frac{a}{s})}{hs}$$

$$= \frac{3,82(1 + \frac{1,5}{3,82})}{2,547}$$

$$= 2,09 > 2 \rightarrow \text{Ok}$$

Berdasarkan nilai faktor keamanan terhadap erosi bawah tanah (Sf) diatas sebesar 2,09 maka tebal lapisan pelindung yang direncanakan dengan tebal 1,5 m aman terhadap erosi bawah tanah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa stabilitas bendung dapat disimpulkan bahwa tubuh bendung aman terhadap stabilitas guling dan stabilitas geser, dengan nilai keamanan pada kondisi normal yaitu stabilitas terhadap guling $Sf = 3,211 > 1,5$ dan stabilitas geser $Sf = 2,280 > 1,5$. Sedangkan pada kondisi banjir nilai keamanan stabilitas bendung diperoleh stabilitas guling $Sf = 2181 > 1,25$ dan stabilitas geser $Sf = 1,409 > 1,25$. Berdasarkan nilai faktor keamanan terhadap erosi bawah tanah tubuh bendung bagian hilir aman terhadap erosi bawah tanah dengan $Sf = 2,09 > 2$. Agar analisis

lebih efektif sebaiknya diperhitungan tekanan lumpur yang mempengaruhi tubuh bendung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya berterima kasih kepada Allah subhanahu wa ta'ala karena berkat rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan ini dengan baik dan tepat waktu, dan kepada Ibu Ir. Sih Andayani, Dipl.HE. selaku dosen pembimbing dan Bapak Djudjun Warganda, yang telah memberikan bimbingan, didikan, arahan dan saran kepada saya dalam mengerjakan penulisan ini sehingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Djauhari, A. B. (2012). *Perencanaan Bendung Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Di Kali Jompo*.
- Sunarlo. (2011). Tinjauan Analisis Stabilitas Bendung Tetap (Studi Kasus Bendung Njaen Pada Sungai Brambangan Sukoharjo). *Tugas Ahir*.
- Pengairan, D. J. (1986). KRITERIA PRENCANAAN BAGUNAN UTAMA (KP-02). *Direktur Jendral Pengairan*.