

## Analisis Kapasitas dan Stabilitas pada Kegagalan Bendung Cipamingkis, Jawa Barat

Tri Octaviani Sihombing <sup>[1]\*</sup>, Olga Catherina Pattipawaej <sup>[2]</sup>, Monica Rina Tutkey <sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pattimura, Ambon, 97233, Indonesia

<sup>[2]</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 40164, Indonesia

Email: [sihombing.octaviani@maranatha.edu](mailto:sihombing.octaviani@maranatha.edu)\*, [olga.pattipawaej@gmail.com](mailto:olga.pattipawaej@gmail.com),  
[monicatutkey@gmail.com](mailto:monicatutkey@gmail.com)

\*) Correspondent Author

Received: 28 December 2022; Revised: 20 March 2023; Accepted: 21 March 2023

How to cited this article:

Tri Octaviani Sihombing, dkk (2023). Analisis Kapasitas dan Stabilitas pada Kegagalan Bendung Cipamingkis Jawa Barat. Jurnal Teknik Sipil, 19(1), 128–145. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i1.5958>

### ABSTRAK

Salah satu upaya pengelolaan air yang dapat dilakukan adalah dengan pembangunan bendung. Aspek yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pembuatannya adalah kapasitas dan stabilitas. Bendung Cipamingkis dibangun pada tahun 1980 dan merupakan infrastruktur yang vital karena mengairi  $\pm 7.508$  hektar sawah yang berada pada Kabupaten Bogor dan Kabupaten Bekasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas bendung untuk kemudian dihitung stabilitasnya. Melalui perhitungan diketahui stabilitas bendung pada waktu kondisi muka air normal adalah aman terhadap guling dengan faktor keamanan 3,80 lebih besar dari 1,5 untuk guling dengan gempa dan faktor keamanan 10,8 lebih besar dari 1,5 untuk guling tanpa gempa. Dalam kondisi muka air normal, bendung diketahui aman terhadap geser dengan faktor keamanan 1,56 lebih besar dari 1,1 untuk geser dengan gempa dan faktor keamanan 2,99 lebih besar dari 1,3 untuk geser tanpa gempa. Pada kondisi air banjir, stabilitas bendung adalah aman terhadap guling dengan faktor keamanan 1,67 lebih besar dari 1,5 dengan gempa dan faktor keamanan 2,38 lebih besar dari 1,5 untuk guling tanpa gempa. Demikian stabilitas bendung terhadap geser diketahui aman dengan faktor keamanan 1,68 lebih besar dari 1,1 untuk geser dengan gempa dan faktor keamanan 3,11 lebih besar dari 1,3 untuk geser tanpa gempa. Kapasitas bendung menggunakan kala ulang 50 tahun yaitu 1647,44 m<sup>3</sup>/detik sebagai desain debit ideal dan untuk kala ulang 100 tahun yaitu 1859,36 m<sup>3</sup>/detik.

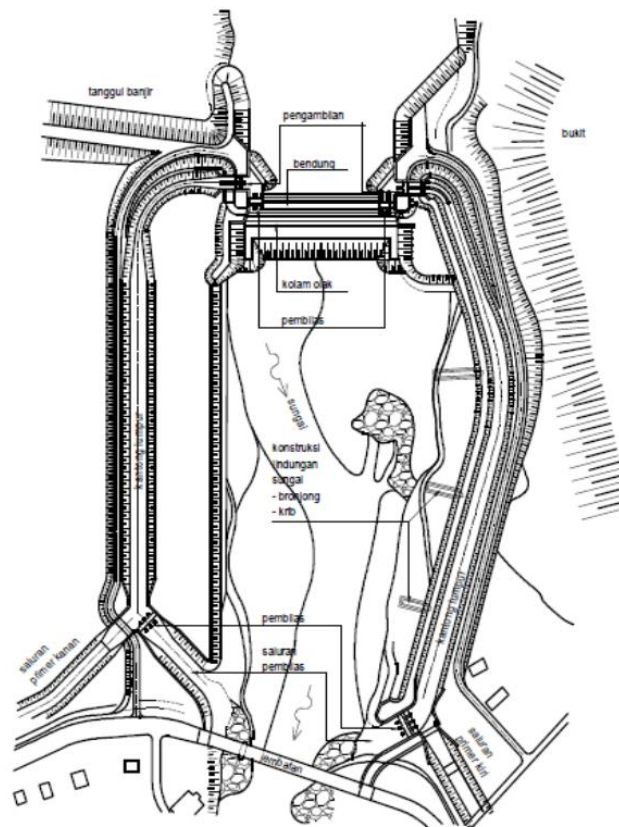
**Kata kunci:** Analisis, Kapasitas, Kegagalan Bendung, Stabilitas

**ABSTRACT.** Capacity and Stability Analysis of Cipamingkis Weir Failure, West Java. One of the water management efforts that can be done is the construction of a weir. Aspects that need to be considered in the planning and construction of a weir are capacity and stability. Cipamingkis weir was built in 1980 and is a vital irrigation infrastructure because it irrigates  $\pm 7.508$  hectares of rice fields in Bogor Regency and Bekasi Regency. This study aims to determine the capacity of the weir and then calculate its stability condition. Through calculations, it is known that the stability of the weir during normal water level conditions is safe against overturning with a safety factor of 3,8 greater than 1,5 for overturning with earthquake and a safety factor of 10,8 greater than 1,5 for overturning without earthquake. Under normal water level conditions, the weir is known to be safe against shear with a factor of safety of 1,56 greater than 1,1 for shear with earthquake and a factor of safety of 2,99 greater than 1,3 for shear without earthquake. Under flood water conditions, the stability of the weir is safe against overturning with a factor of safety of 1.67 greater than 1,5 for overturning with earthquake and a factor of safety of 2,38 greater than 1,5 for overturning without earthquake. Likewise, the stability of the weir against shear is known to be safe with a factor of safety of 1,68 greater than 1,1 for shear with earthquake and a factor of safety of 3,11 greater than 1,3 for shear without earthquake. The capacity of the weir using the 50-year return period is 1647,44 m<sup>3</sup>/sec as the ideal design discharge and for the 100-year return period is 1859,36 m<sup>3</sup>/sec.

**Keywords:** Analysis, Capacity, Weir Failure, Stability

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris, yang sampai saat ini sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Permasalahan yang umum dihadapi oleh petani adalah kekurangan air pada waktu musim kemarau dan banjir pada waktu musim penghujan. Salah satu upaya pengelolaan air yang dapat dilakukan adalah dengan pembangunan bendung, yaitu bangunan yang dapat mengendalikan endapan dan aliran air permukaan dari daerah tangkapan air di bagian hulu serta menstabilkan debit sungai yang akan dialirkan ke daerah irigasi dan juga meningkatkan permukaan air tanah di bagian hilirnya untuk kemudian dapat dialirkan ke tempat-tempat yang memerlukan. Gambar 1 menunjukkan sketsa bendung berikut kelengkapannya.



**Gambar 1.** Sketsa Bendung dan Kelengkapannya

Dalam merencanakan setiap struktur sipil, termasuk perencanaan sebuah bendung pada proyek irigasi aspek yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pembuatan adalah stabilitasnya. Mengingat keberadaan bendung tersebut menjamin mata pencaharian penduduk disekitarnya, maka dalam merencanakan pembuatan bendung harus diketahui kemampuan bendung menahan geser maupun guling dalam kondisi normal maupun kondisi banjir sekalipun.

Sungai Cipamingkis merupakan anak sungai dari Sungai Cibeet yang terletak di Kecamatan Jonggol, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Bendung Cipamingkis dibangun di aliran sungai Cipamingkis dengan Jembatan Jonggol-Cariu dan Jembatan Cibusah di bagian hilir Bendung. Bendung Cipamingkis terletak pada Desa Jatuninggal. Bendung ini dibangun pada tahun 1980 dan merupakan infrastruktur irigasi yang vital karena mengairi  $\pm 7.508$  hektar sawah yang terdapat pada Kabupaten Bogor dan Kabupaten Bekasi.

Lokasi bendung berada di lereng utara perbukitan Jawa Barat sehingga kemiringan dasar sungai yang relatif terjal menyebabkan kecepatan aliran yang tinggi dan kemungkinan terjadinya gerusan dalam pun tinggi. Situasi tersebut memicu kegagalan konstruksi bendung Cipamingkis. Inisiasi kegagalan bangunan tercatat pada Maret 2016 dimulai pada bagian mercu dan pintu pengambilan hingga kegagalan total terjadi pada April 2017.

Bendung Cipamingkis mengalami kerusakan total disebabkan karena debit air yang sangat besar mencapai 158,06 m<sup>3</sup>/s dengan TMA +131,84 mdpl dan curah hujan 80 mm. Kerusakan meliputi sayap hilir pembilas Bendung Cipamingkis runtuh, pintu masuk ruang penguras amblas, dek tangan-tangan sebelah kiri ambruk, pintu intake SI. Cibusah sudah mulai ada retakan, gorong-gorong saluran ke SI Mengker jebol, mercu utama Bendung Cipamingkis runtuh dan tambahan kerusakan retak di pembilas Bendung Cipamingkis sekitar 20 cm (Perum Jasa Tirta II, 2019). Dampak kerusakan tersebut mempengaruhi kebutuhan air irigasi seluas 3.971 hektar.

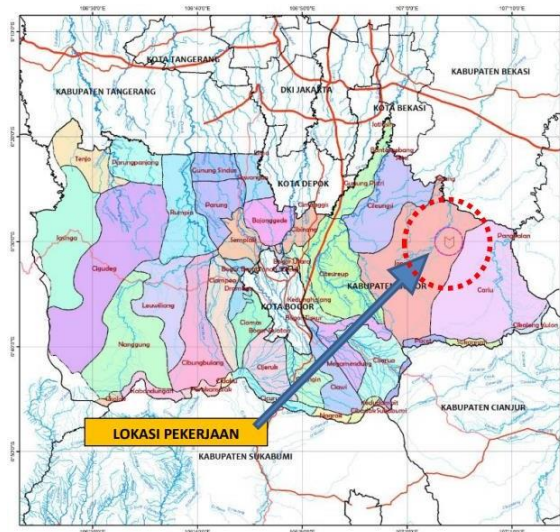
Kegagalan konstruksi bendung yang terjadi dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Menurut Bargess, dkk (2009) struktur bendung dapat diakibatkan karena sudah tidak kuatnya struktur tersebut untuk menahan beban horisontal maupun beban vertikal di sekitar bendung. Penggunaan Blok Halang bisa menjadi alternatif untuk mengurangi risiko kegagalan konstruksi bendung akibat penggerusan (Robby & Ivan, 2022). Akibat kegagalan konstruksi yang terjadi, pembangunan Bendung Cipamingkis yang baru yang dimulai pada tahun 2017 dan selesai pada tahun 2019. Oleh karena itu, penting untuk menghitung berapa besar debit air yang mampu dialirkan ke daerah irigasi (kapasitas) dan seberapa luas daerah irigasi yang sesungguhnya mampu diairi oleh Bendung Cipamingkis yang baru dibangun tersebut. Setelah itu, dilakukan perhitungan kembali stabilitas bendung pada Proyek Bendung Cipamingkis berdasarkan debit banjir dan kapasitas yang diperoleh tersebut.

Perhitungan kapasitas debit banjir dilakukan berdasarkan data yang diperoleh untuk tahun 2006 sampai tahun 2015 untuk daerah aliran sungai yang sama. Pemilihan stasiun curah hujan adalah dengan memperhatikan kondisi wilayah studi yang merupakan wilayah kepulauan, sehingga diambil Stasiun curah hujan terdekat yang kondisi hidrologinya mirip dan dapat mewakili kondisi wilayah studi. Dari beberapa Stasiun curah hujan yang dimiliki oleh BWS

Citarum dan BMKG, dipilih Stasiun Meteorologi Kabupaten Bogor, sehingga diperkirakan dapat mewakili kondisi hidrologi di Kabupaten Bogor.

## 2. METODOLOGI

Studi kasus pada penelitian ini dilakukan pada Bendung Cipamingkis yang berada di Pulau Jawa, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Peta Lokasi Pekerjaan Rehabilitasi Bendung Cipamingkis

### 2.1 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh probabilitas besaran hujan atau debit masa yang akan datang. Data diperlukan untuk menunjang aplikasi teori kemungkinan ini minimum 10 kejadian dengan harga tertinggi dalam tahunan, dengan kata lain diperlukan panjang data minimum 10 tahun. Berdasarkan teori kemungkinan, koefisien *reduced mean* untuk data 10 tahun mencapai 0,50 atau 50% penyimpangan dari harga rata-rata seluruh kejadian.

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi yaitu: Distribusi normal, Distribusi log normal, Distribusi log-Pearson tipe III dan Distribusi Gumbel. Dalam hal ini yang digunakan adalah distribusi log-Pearson tipe III dan distribusi Gumbel sehingga memperhitungkan kondisi ekstrim ketika melakukan pemilihan debit banjir rancangan.

### 2.2 Perhitungan *Design Flood*

*Design flood* adalah besarnya debit yang direncanakan untuk melewati bendung. Besarnya *design flood* tidak sebesar banjir terbesar yang dapat terjadi sembarang waktu. Jadi

*design flood* direncanakan sebagai banjir yang diharapkan terjadi pada suatu jangka waktu (tahun) rata-rata kemungkinan berulangnya banjir tersebut. Setelah diketahui besar *design flood* daerah irigasi maka perhitungan selanjutnya adalah mengenai perhitungan konstruksi bendung dan sebagainya, harus diambil penetapan *design flood* yang akan dibangun. Penetapan *design flood* tersebut diambil berdasarkan kriteria dan pertimbangan hidro-ekonomis, yang diantaranya: umur serta ekonomis bangunan, biaya bangunan, besar kecilnya kerugian akibat banjir terhadap bangunan serta sering tidaknya kerusakan yang akan mungkin terjadi.

### 2.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah observasi langsung ke lapangan, wawancara dengan pihak terkait dan pengambilan data curah hujan ke instansi terkait. Perhitungan data dilakukan menggunakan rumus perhitungan kapasitas pada pintu pengambilan (*intake*), debit banjir rencana dan stabilitas bendung berdasarkan referensi dan standar yang berlaku.

Data curah hujan adalah sebagai berikut dengan data curah hujan bulanan pada stasiun hujan disajikan pada Tabel 1.

Nama Stasiun	: Stasiun Meteorologi Kabupaten Bogor
Jenis Data	: Data Debit, Data Curah Hujan Harian
Lokasi Stasiun	: Kabupaten Bogor
Ketersediaan Data	: 2006 – 2016

**Tabel 1.** Data Curah Hujan Bulanan Tahun 2006 - 2015

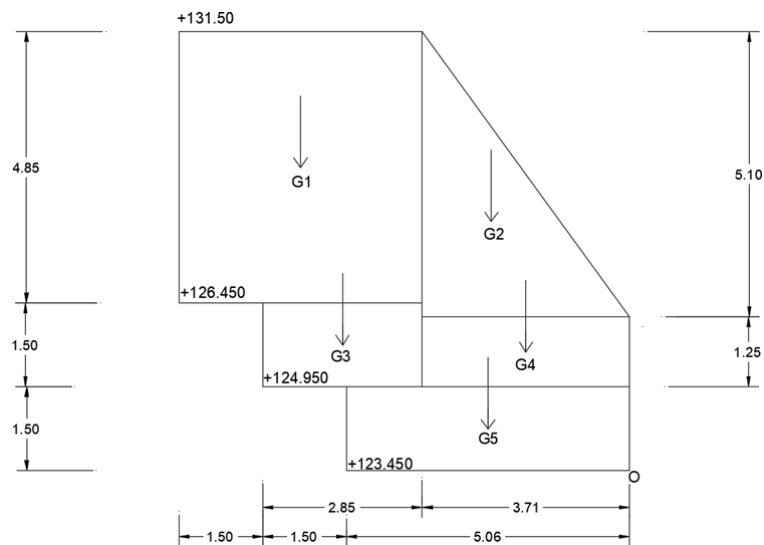
Thn	Jan	Feb	Maret	Apr	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2006	524,6	104,4	140,9	285,8	306,9	251,9	161,1	165,3	265,8	102,2	358,7	874,2
2007	636,0	268,9	154,2	383,9	322,7	171,3	212,9	296,3	119,4	303,8	256,9	500,7
2008	176,7	219,2	472,5	332,5	135,2	192,7	223,2	341,5	162,7	461,0	341,7	315,3
2009	41,9	132,1	369,3	155,7	181,6	137,0	187,2	225,2	290,3	302,4	321,5	394,7
2010	33,8	14,5	322,4	171,7	407,9	348,1	382,6	245,9	409,3	192,0	510,3	133,9
2011	495,2	20,7	425,9	495,4	252,8	374,3	226,5	248,9	175,1	288,7	416,2	499,9
2012	241,8	210,0	268,7	287,8	237,2	116,4	176,7	122,3	258,2	245,0	517,1	548,6
2013	244,3	395,9	138,1	530,1	292,7	172,5	144,1	98,1	253,2	234,8	558,0	327,7
2014	102,9	0	142,1	405,4	501,6	260,3	169,4	200,9	149,4	160,3	574,0	429,0
2015	23,0	86,1	96,8	379,8	183,3	196,0	136,5	144,0	34,0	128,2	630,0	269,4
Max	636,0	395,9	427,5	530,1	510,6	374,3	382,6	341,5	409,3	461,0	630,0	874,2
Min	23,0	0	96,8	155,7	135,2	116,4	136,5	98,1	34,0	102,2	256,9	133,9
Rata <sup>2</sup>	252,0	145,2	253,1	342,8	282,2	222,1	202,0	208,8	211,7	241,8	448,4	429,3

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Perhitungan Stabilitas Bendung

##### 1. Stabilitas Bendung terhadap Berat Sendiri

Untuk  $\gamma_{\text{beton}} = 2,40 \text{ t/m}^3$ , dilakukan perhitungan stabilitas bendung terhadap berat sendiri. Gaya-gaya berat sendiri yang bekerja pada bendung dapat dilihat pada Gambar 3 dengan perhitungan gaya berat terhadap lengan gaya dapat dilihat pada Tabel 2.



**Gambar 3.** Gaya Berat sendiri

**Tabel 2.** Perhitungan untuk Gaya Berat Sendiri

No	Berat (ton)	Lengan Gaya (m)	Momen Tahan (ton. m)
G1	$2,40 \times 4,85 \times 4,35 = 50,63$	$((2,85 + 1,5)/2) + 3,71 = 5,88$	297,98
G2	$2,40 \times (5,13 \times 3,71) / 2 = 22,83$	$3,71 \times 2/3 = 2,47$	56,48
G3	$2,40 \times 2,85 \times 1,5 = 10,26$	$(2,85/2) + 3,71 = 5,13$	52,68
G4	$2,40 \times 3,71 \times 1,25 = 11,13$	$3,71/2 = 1,85$	20,64
G5	$2,40 \times 5,06 \times 1,5 = 18,21$	$5,06/2 = 2,53$	46,08
Total	113,07	(↓)	473,87

##### 2. Stabilitas Bendung Akibat Gempa

Gaya gempa yang diperhitungkan adalah yang bekerja secara horizontal, kearah yang berbahaya (yang merugikan), dengan garis kerja yang melewati titik berat kontruksi, Sehingga gaya-gaya yang bekerja pada bendung akibat gempa dapat dilihat pada Gambar 3 seperti yang bekerja pada berat sendiri. Untuk komponen vertikal dapat diabaikan karena relatif tidak

berbahaya. Untuk koefisien gempa ( $f$ ) = 0,15 dilakukan perhitungan stabilitas bendung terhadap berat sendiri yang diakibatkan oleh gempa seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perhitungan untuk Gaya Akibat Gempa

No	Berat (ton)	Lengan Momen (m)	Momen Guling (ton. m)
1	0,15 x 50,63 = 7,59	(4,85/2) + 1,50 + 1,50 = 5,42	41,21
2	0,15 x 22,83 = 3,42	(5,10/3) + 1,25 + 1,50 = 4,45	15,24
3	0,15 x 10,26 = 1,53	(1,50/2) + 1,5 = 2,25	3,46
4	0,15 x 11,13 = 1,67	(1,25/2) + 1,50 = 2,12	3,54
5	0,15 x 18,21 = 2,73	1,50/2 = 0,75	2,04
Total	16,96 (→)		102,35

### 3. Stabilitas Bendung terhadap Gaya Berat Akibat Tekanan Lumpur

Gaya berat akibat tekanan lumpur adalah gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal.

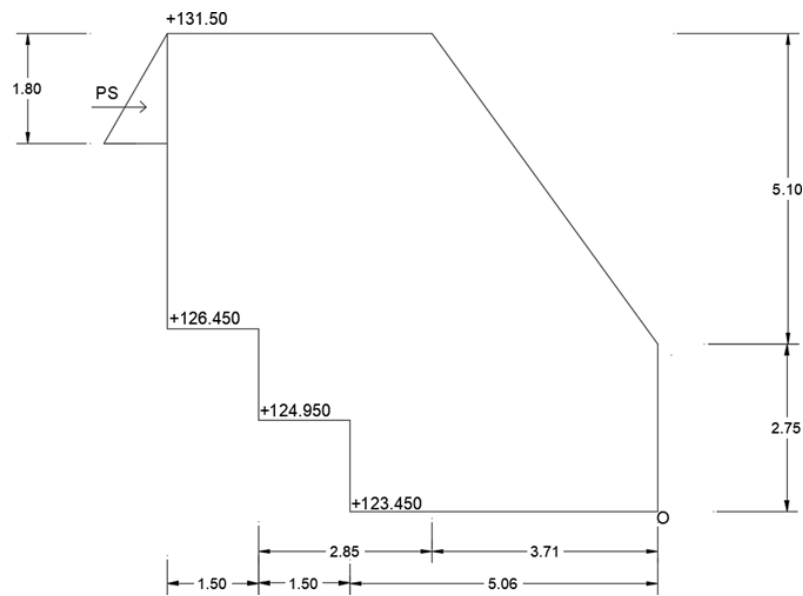
$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \times k_a \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,6 \times 1,8^2 \times \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,6 \times 1,8^2 \times \left( \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right) \\
 &= 2,59 \text{ ton } (\rightarrow)
 \end{aligned}$$

$$\text{Dengan lengan gaya} = \left( \frac{1}{3} \times 1,8 \right) + (5,10 - 1,8) + 2,75 = 6,65 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \text{Momen guling:} \\
 &= P_s \times 6,65 \\
 &= 2,59 \times 6,65 \\
 &= 17,23 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

Untuk stabilitas bendung terhadap berat sendiri yang diakibatkan oleh tekanan lumpur, gaya-gaya yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 4.



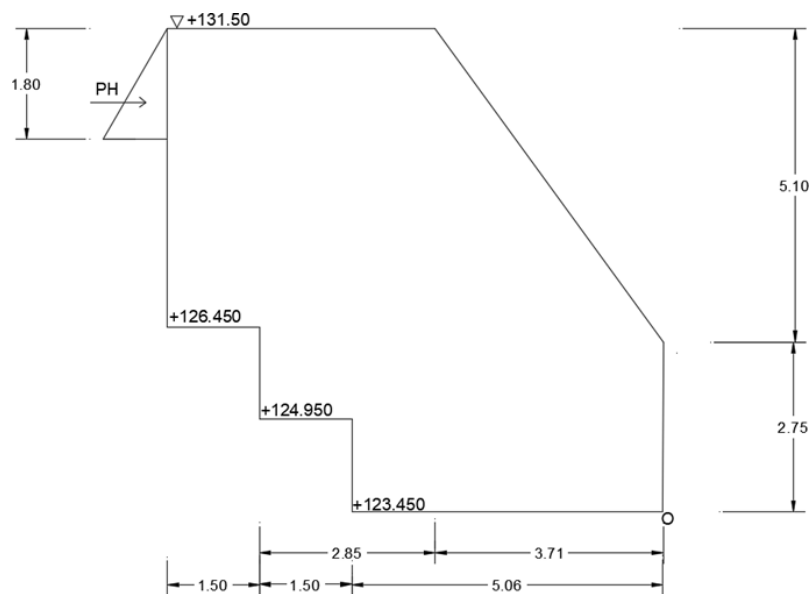
Gambar 4. Gaya Berat Akibat Tekanan Lumpur

#### 4. Stabilitas Bendung Akibat Gaya Hidrostatik

Dilakukan perhitungan stabilitas bendung yang diakibatkan oleh gaya hidrostatik, baik pada kondisi normal maupun pada kondisi banjir. Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatik dan gaya hidrodinamik. Akan tetapi, tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

##### a. Pada Kondisi Normal

Gaya hidrostatik yang bekerja pada kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5 dan gaya-gaya yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 5. Gaya Hidrostatik pada Kondisi Normal

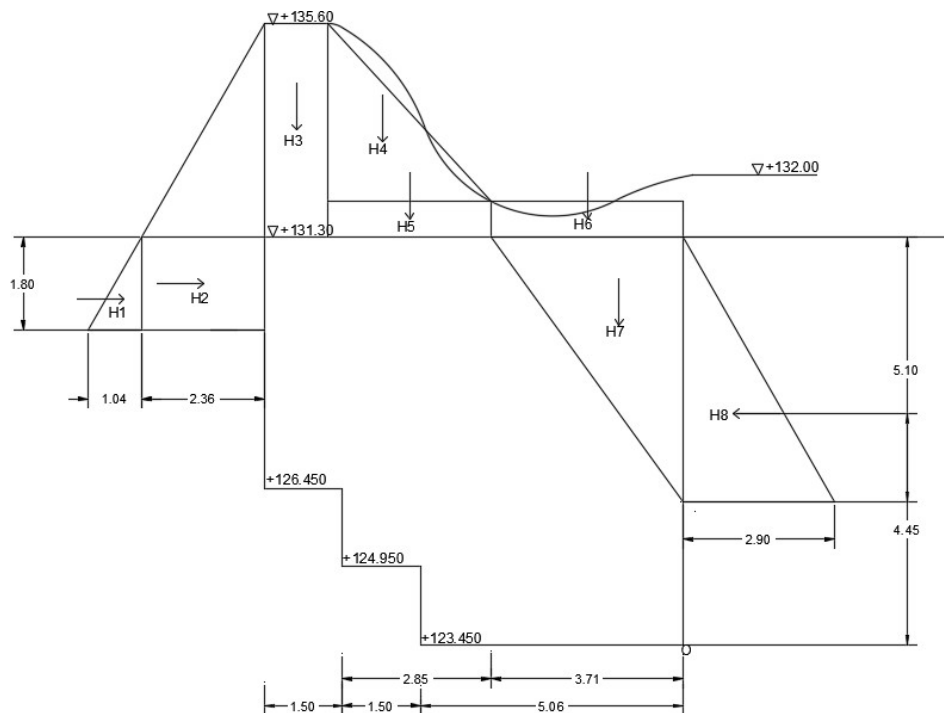


**Tabel 4.** Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Normal

No	Berat (ton)	Vr	Hz	Lengan Momen (m)	Momen (ton.m)	
					Tahan	Guling
1	1,0 x (1,8x 1,8) / 2	=	1,8	(1,8)/3+ 3,3 +2,75 = 6,65		11,97
	Total	(→)	1,8			11,97

**b. Pada Kondisi Banjir**

Gaya hidrostatik yang bekerja pada kondisi banjir dapat dilihat pada Gambar 6. Gaya-gaya tersebut dihitung terhadap lengan momen sehingga terdiri dari momen tahan dan momen guling. Detail perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.



**Gambar 6.** Gaya Hidrostatik untuk Kondisi Banjir

**Tabel 5.** Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Banjir

No	Berat (ton)	Ver-tikal	Hori-zontal	Lengan Momen (m)	Momen (ton.m)	
					Tahan	Guling
H1	1,0 x (1,04 x 1,8) / 2		0,93	7,85 - (1,8/3) = 7,25		6,78
H2	1,0 x 2,36 x 1,8		4,24	7,85 - (1,8/2) = 6,95		29,52
H3	1,0 x 4,3 x 1,22	5,24		8,06 - (1,22/2) = 7,45	40,67	
H4	1,0 x (3,41 x 3,13)/2	5,33		3,71 + (2/3 x 3,13) = 5,79	30,93	

**Tabel 5.** Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Banjir (Lanjutan)

No	Berat (ton)	Ver- tikal	Hori- zontal	Lengan Momen (m)	Momen (ton.m)	
					Tahan	Guling
H5	1,0 x 3,13 x 0,69	2,16		(3,13/2) x 3,71)) = 5,80	12,54	
H6	1,0 x 3,71 x 0,69	2,55		(3,71/2) = 1,85	4,74	
H7	1,0 x (3,71 x 5,10)/2	9,46		(1/3 x 3,71) = 1,23	11,70	
H8	1,0 x (2,90 x 5,10)/2		-7,39	((1/3 x 5,10) + 2,75) = 4,45		-32,90
Total		(↓) 24,76	(←) -2,21		100,60	3,40

### 5. Stabilitas Bendung Akibat Gaya *Up Lift* pada Saat Air Normal

Gaya-gaya uplift yang bekerja pada bendung diperhitungkan pada kondisi normal maupun banjir, terhadap gaya-gaya horizontal maupun gaya-gaya vertikal.

$$\delta_{air} = 1.00 \text{ t/m}^3$$

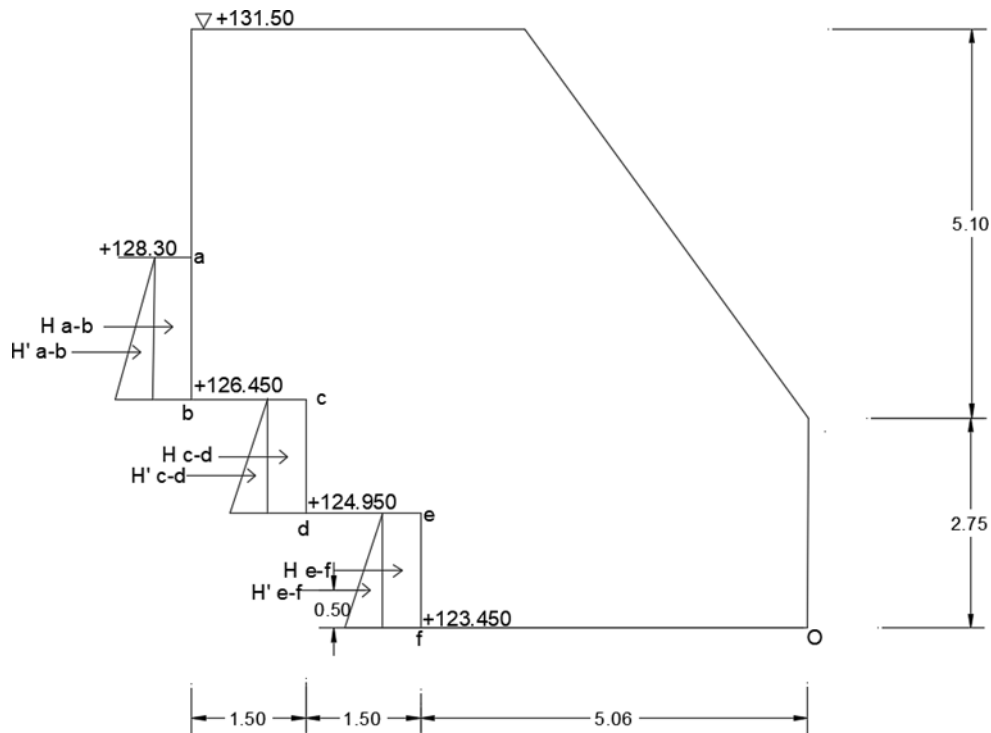
$$Lt = 78,58$$

$$H = 1,45$$

- 1)  $U_a = \left(3,2 - \frac{41,12}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 2,44 \text{ ton}$
- 2)  $U_b = \left(5,05 - \frac{42,97}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 4,26 \text{ ton}$
- 3)  $U_c = \left(5,05 - \frac{46,32}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 4,20 \text{ ton}$
- 4)  $U_d = \left(6,55 - \frac{47,82}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 5,67 \text{ ton}$
- 5)  $U_e = \left(6,55 - \frac{49,32}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 5,64 \text{ ton}$
- 6)  $U_f = \left(8,05 - \frac{54,38}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 7,05 \text{ ton}$
- 7)  $U_o = \left(8,05 - \frac{59,44}{78,58} \times 1,45\right) \times 1,00 = 6,95 \text{ ton}$

#### a. Horizontal

Pada Gambar 7 berikut ditunjukkan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada bendung terhadap tekanan uplift untuk kondisi muka air normal.



**Gambar 7.** Gaya Horizontal untuk *Up Lift* pada Kondisi Normal

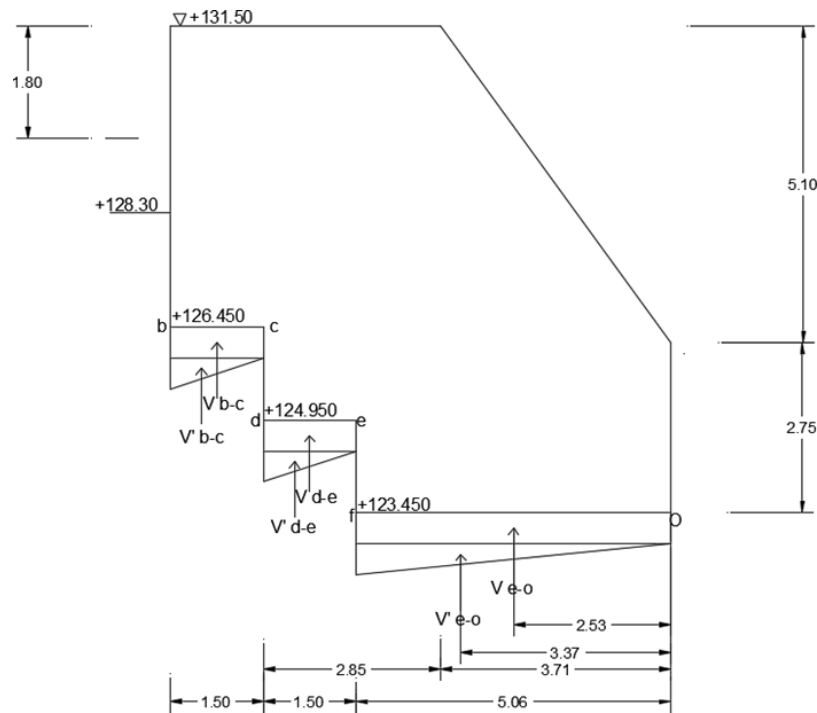
Perhitungan gaya-gaya tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

**Tabel 6.** Perhitungan Gaya Horizontal untuk *Up Lift* pada Kondisi Normal

Gaya	Besarnya Gaya (ton)	Lengan momen (m)	Momen terhadap O (ton.m)	
			Tahan	Guling
H a-b	1,85 x 1,32 = →	2,44	3,94	9,62
H' a-b	0,5 x 1,85 x 1,82 = →	1,68	3,62	6,08
H c-d	1,5 x 4,20 = →	6,29	2,25	14,15
H' c-d	0,5 x 1,5 x 1,47 = →	1,10	2,00	2,20
H e-f	1,5 x 5,64 = →	8,46	0,75	6,34
H' e-f	0,5 x 1,5 x 1,41 = →	1,05	0,50	0,52
Jumlah	= →	21,03		38,94
	= ←	0		

**b. Vertikal**

Untuk gaya-gaya vertikal yang bekerja pada bendung terhadap tekanan uplift untuk kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 8 dengan perhitungan gaya-gaya tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.



**Gambar 8.** Gaya Vertikal untuk *Up Lift* pada Kondisi Normal

**Tabel 7.** Perhitungan Gaya Vertikal akibat Gaya *Up Lift* pada Kondisi Normal

Gaya	Besar Gaya (ton)		Lengan momen (m)	Momen Tahan terhadap O (ton.m)
V b-c	1,5 x 4,26	=	6,38	46,67
V' b-c	0,5 x 1,5 x 0,06	=	0,04	0,35
V d-e	1,5 x 5,67	=	8,50	49,39
V' d-e	0,5 x 1,5 x 0,03	=	0,02	0,12
V f-O	5,06 x 7,05	=	35,65	90,20
V' f-O	0,5 x 5,56 x 0,09	=	0,26	0,87
	(↑)		50,86	187,62

**6. Stabilitas Bendung Akibat Gaya *Up Lift* pada Saat Air Banjir**

$$\delta_{air} = 1,00 \text{ t/m}^3$$

$$Lt = 78,58$$

$$H = 3,6 \text{ m}$$

$$1) U_a = \left( 7,3 - \frac{41,12}{78,58} \times 3,6 \right) \times 1,00 = 5,42 \text{ ton}$$

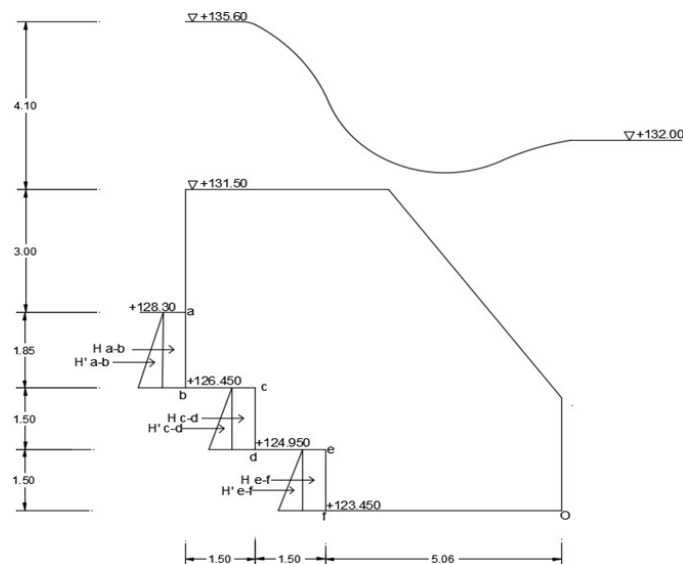
$$2) U_b = \left( 9,15 - \frac{42,97}{78,58} \times 3,6 \right) \times 1,00 = 7,18 \text{ ton}$$

$$3) U_c = \left( 9,15 - \frac{46,32}{78,58} \times 3,6 \right) \times 1,00 = 7,03 \text{ ton}$$

- 4)  $U_d = \left(10,65 - \frac{47,82}{78,58} \times 3,6\right) \times 1,00 = 8,46 \text{ ton}$
- 5)  $U_e = \left(10,65 - \frac{49,32}{78,58} \times 3,6\right) \times 1,00 = 8,39 \text{ ton}$
- 6)  $U_f = \left(12,15 - \frac{54,38}{78,58} \times 3,6\right) \times 1,00 = 9,66 \text{ ton}$
- 7)  $U_O = \left(12,15 - \frac{59,44}{78,58} \times 3,6\right) \times 1,00 = 9,43 \text{ ton}$

a. Horizontal

Gambar 9 memperlihatkan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada bendung terhadap tekanan *up lift* untuk kondisi muka air banjir. Sementara perhitungan gaya-gaya tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.



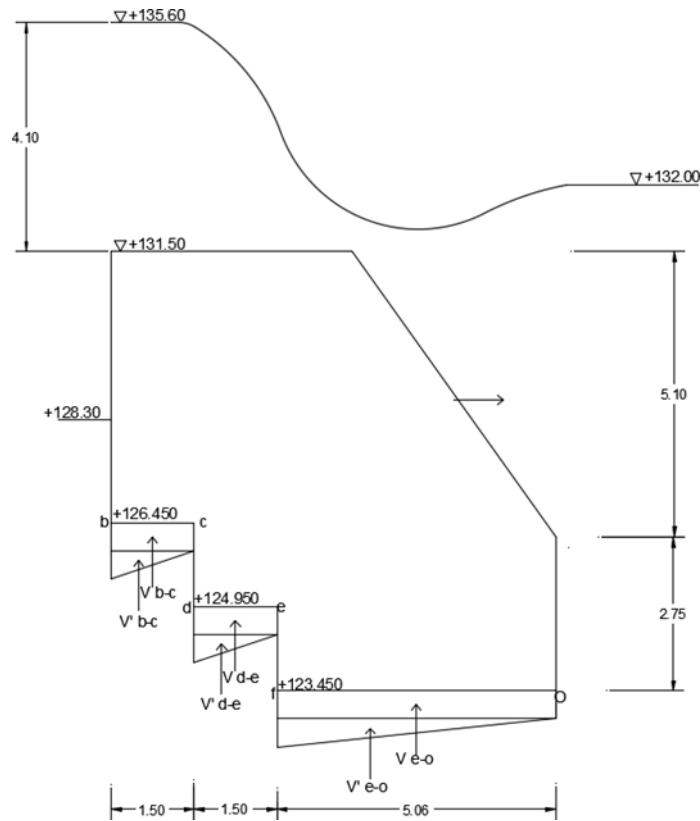
**Gambar 9,** Gaya Horizontal Akibat *Up Lift* pada Kondisi Banjir

**Tabel 8.** Perhitungan Gaya Horizontal Akibat Gaya *Up Lift* pada Kondisi Banjir

Gaya	Besarnya Gaya (ton)		Lengan momen (m)	Momen terhadap O(ton.m)	
				Tahan	Guling
H a-b	1,85 x 1,32	= →	2,44	3,94	9,62
H' a-b	0,5 x 1,85 x 1,77	= →	1,63	3,62	5,91
H c-d	1,5 x 7,03	= →	10,54	2,25	23,71
H' c-d	0,5 x 1,5 x 1,43	= →	1,07	2,00	2,14
H e-f	1,5 x 8,39	= →	12,58	0,75	9,43
H' e-f	0,5 x 1,5 x 1,27	= →	0,95	0,50	0,47
Jumlah		= →	29,22		51,31
		= ←	0		

b. Vertikal

Gaya-gaya vertikal yang bekerja pada bendung terhadap tekanan *uplift* untuk kondisi muka air banjir ditunjukkan pada Gambar 10 dan perhitungan gaya-gaya tersebut yang bekerja ditunjukkan pada Tabel 9.



**Gambar 10.** Gaya Vertikal Akibat *Up Lift* pada Kondisi Banjir

**Tabel 9.** Perhitungan Gaya Vertikal Akibat Gaya *Up Lift* pada Kondisi Banjir

Gaya	Besar Gaya (ton)	Lengan momen (m)	Momen Guling terhadap O (ton.m)
V b-c	1,5 x 7,18 = 10,77	7,31	78,74
V' b-c	0,5 x 1,5 x 0,15 = 0,11	7,56	0,87
V d-e	1,5 x 8,46 = 12,68	5,81	73,71
V' d-e	0,5 x 1,5 x 0,07 = 0,05	6,06	0,31
V f-O	5,06 x 9,66 = 48,87	2,53	123,64
V' f-O	0,5 x 5,56 x 0,23 = 0,64	3,37	2,17
	(↑) 73,14		278,27

## 7. Kontrol Stabilitas Bendung pada Waktu Air Normal

Terhadap seluruh gaya-gaya yang bekerja pada bendung, dilakukan rekapitulasi sebagai bentuk kontrol terhadap stabilitas bendung, baik pada waktu air dalam kondisi normal maupun dalam kondisi banjir.

Gaya-gaya dan momen yang bekerja pada bendung, baik horizontal maupun gaya vertikal pada waktu air dalam kondisi normal dirangkum pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Rekapitulasi Gaya-Gaya dan Momen pada Waktu Air Normal

No	Item	Gaya Horizontal (ton)		Gaya Vertikal (ton)		Momen (ton.m)	
		→	←	↑	↓	Momen Tahan	Momen Guling
1	Berat Sendiri Bendung				113,07	473,87	
2	Gaya Gempa	16,96					102,35
3	Tekanan Lumpur	2,59					17,23
4	Gaya Hidrostatik	1,8					11,97
5	Up Lift Pressure (67%)	14,09		34,08		125,71	26,09
6	Dengan gaya-gaya gempa	35,44		34,08	113,07	599,58	157,65
7	Tanpa gaya-gaya gempa	18,48		34,08	113,07	599,58	55,29

### A. Faktor keamanan (Fk) terhadap guling

Dilakukan kontrol stabilitas dengan memperhitungkan faktor keamanannya. Dalam hal ini kontrol dilakukan terhadap gaya guling dengan memperhitungkan faktor gempa maupun tanpa faktor gempa.

- Dengan gempa

$$Fk = \frac{\text{Total momen tahan}}{\text{Total momen guling}} = \frac{599,58}{157,65} = 3,80 > 1,5 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Tanpa gempa

$$Fk = \frac{599,58}{55,29} = 10,8 \geq 1,5 \text{ (memenuhi syarat)}$$

### B. Faktor keamanan (Fk) terhadap geser

Selanjutnya, dilakukan kontrol stabilitas dengan memperhitungkan faktor keamanannya terhadap gaya geser dengan memperhitungkan faktor gempa maupun tanpa faktor gempa.

$$Fk = \frac{\sum \text{Gaya Vertikal} \times f}{\sum \text{Gaya Horizontal}} \text{ (dimana nilai } f \text{ diambil } 0,7)$$

- Dengan gempa

$$F_k = \frac{(113,07 - 34,08) \times 0,7}{(35,44)} = 1,56 > 1,1 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Tanpa gempa

$$F_k = \frac{(113,07 - 34,08) \times 0,7}{(18,48)} = 2,99 > 1,3 \text{ (memenuhi syarat)}$$

## 8. Kontrol Stabilitas Bendung pada Waktu Air Banjir

Gaya-gaya dan momen yang bekerja pada bendung, baik gaya horizontal maupun gaya vertikal pada waktu air dalam kondisi banjir dirangkum pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Rekapitulasi Gaya-Gaya dan Momen pada Waktu Air Banjir

No	Item	Gaya Horizontal (ton)		Gaya Vertikal (ton)		Momen (ton.m)	
		→	←	↑	↓	Momen Tahan	Momen Guling
1	Berat Sendiri Bendung				113,07	473,87	
2	Gaya Gempa	16,96					102,35
3	Tekanan Lumpur	2,59					17,23
4	Gaya Hidrostatik	5,18	7,39		24,76	100,60	3,40
5	Up Lift Pressure (67%)	19,58		49,00			220,82
6	Dengan gaya-gaya gempa	44,31	7,39	49,00	137,83	574,48	343,81
7	Tanpa gaya-gaya gempa	27,35	7,39	49,00	137,83	574,48	241,46

### A. Faktor keamanan (Fk) terhadap guling

Dilakukan kontrol stabilitas dengan memperhitungkan faktor keamanannya. Dalam hal ini kontrol dilakukan terhadap gaya guling dengan memperhitungkan faktor gempa maupun tanpa faktor gempa.

- Dengan gempa

$$F_k = \frac{\text{Total momen tahan}}{\text{Total momen guling}} = \frac{574,48}{343,81} = 1,67 > 1,5 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Tanpa gempa

$$F_k = \frac{574,48}{241,46} = 2,38 \geq 1,5 \text{ (memenuhi syarat)}$$



B. Faktor keamanan (Fk) terhadap geser

Selanjutnya, dilakukan kontrol stabilitas dengan memperhitungkan faktor keamanannya terhadap gaya geser dengan memperhitungkan faktor gempa maupun tanpa faktor gempa.

$$Fk = \frac{\sum \text{Gaya Vertikal} \times f}{\sum \text{Gaya Horizontal}} \text{ (dimana nilai } f \text{ diambil } 0,7)$$

- Dengan gempa

$$Fk = \frac{(137,83 - 49,00) \times 0,7}{(44,31 - 7,39)} = 1,68 > 1,1 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Tanpa gempa

$$Fk = \frac{(137,83 - 49,08) \times 0,7}{(27,35 - 7,39)} = 3,11 > 1,3 \text{ (memenuhi syarat)}$$

**3.2 Perhitungan Kapasitas Bendung**

Kabupaten Bogor memiliki luas DAS sebesar 108 km<sup>2</sup>, sehingga metode yang digunakan untuk menganalisis debit banjir rencana adalah metode Log Pearson III dan metode Gumbel.

Metode Log Person III digunakan dengan terlebih dahulu melakukan perhitungan atau analisis frekuensi. Hasil statistik analisis frekuensi memperoleh simpulan statistik *Number of Datum* adalah 14 dengan *means* atau rata-ratanya 2,73 dan standar deviasinya 0,27. Hasil statistik analisis frekuensi dengan metode Gumbel memperoleh simpulan statistik *Number of Datum* adalah 14 dengan *means* atau rata-ratanya 624,26 dan standar deviasinya 331,29.

Dari hasil analisis kedua metode, disajikan rekapitulasi hasil analisis frekuensi untuk selanjutnya dilakukan pemilihan curah hujan rancangan seperti pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir Rancangan

No.	Return Period	Frequency Distribution Methods	
		Log Pearson Tipe III	Gumbel Tipe 1
		mm	mm
1	2	576	574,37
2	5	912,21	918,39
3	10	1113,87	114,15
4	20	1298,96	1364,63
5	25	1339,52	1433,94
6	50	1497,38	1647,44
7	100	1619,22	1859,36

Berdasarkan rekapitulasi debit banjir rencana, maka pemilihan debit desain rencana menggunakan kala ulang 50 tahun yaitu 1647,44 m<sup>3</sup>/detik.

#### **4. SIMPULAN**

Melalui perhitungan yang dilakukan maka dapat diketahui stabilitas bendung pada waktu kondisi muka air normal adalah aman terhadap guling dengan faktor keamanan 3,80 lebih besar dari 1,5 untuk guling dengan gempa dan faktor keamanan 10,8 lebih besar dari 1,5 untuk guling tanpa gempa. Demikian bendung dalam kondisi muka air normal adalah aman terhadap geser dengan faktor keamanan 1,56 lebih besar dari 1,1 untuk geser dengan gempa dan faktor keamanan 2,99 lebih besar dari 1,3 untuk geser tanpa gempa.

Pada kondisi air banjir, stabilitas bendung adalah aman terhadap guling dengan faktor keamanan 1,67 lebih besar dari 1,5 untuk guling dengan gempa dan faktor keamanan 2,38 lebih besar dari 1,5 untuk guling tanpa gempa. Demikian bendung terhadap geser dengan faktor keamanan 1,68 lebih besar dari 1,1 untuk geser dengan gempa dan faktor keamanan 3,11 lebih besar dari 1,3 untuk geser tanpa gempa. Kapasitas bendung diketahui dengan melakukan pemilihan debit desain rencana menggunakan kala ulang 50 tahun yaitu 1.647,44 m<sup>3</sup>/detik sebagai desain debit ideal dan untuk kala ulang 100 tahun yaitu 1.859,36 m<sup>3</sup>/detik.

#### **5. DAFTAR PUSTAKA**

- Afriani F., dkk. (2016). Analisis Stabilitas Bendung (Studi Kasus: Bendung Tamiang). *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1-11.
- Bargess Moch. Fadhli, Cindrawaty Lesmana, dkk. (2009). Analisis Struktur Bendung Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil*. 5 (1), 1-21.
- Sadono Kresno W., dkk., 2017, Analisis Geologi Teknik Pada Kegagalan Bendung Cipamingkis, Bogor, Provinsi Jawa Barat, Proceeding Nasional Kebumihan ke-10, Grha Sabha Pramana, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, September 13-14, 190-201.
- Siagian, Trisnafia. 2012. *Evaluasi Hidrolis Bendung Lama Terhadap Rencana Bendung Baru pada Bendung Timbang Lawan di Kabupaten Langkat*. Universitas Sumatera Utara
- Sri Harto Br. (2003). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Yogyakarta
- Standar Perencanaan Irigasi KP-01, Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi.
- Standar Perencanaan Irigasi KP-02, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (Head Works).
- Standar Perencanaan Irigasi KP-04, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan.
- Tallar Robby, Ivan. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Blok-Halang Pada Lantai Kolam Pada Lantai Kolam Olak Bendung Terhadap Penggerusan Lokal, *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2), 134-192.
- Triatmodjo, Bambang. (2008). *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Jakarta.
- Tri, Sihombing. (2010). *Kontrol Perhitungan Stabilitas Bendung Proyek Irigasi Sungai Ular Kabupaten Serdang Berdagai*. Politeknik Negeri Medan.