

Analisa Stabilitas Bendung (Studi Kasus: Bendungan Pacal Kabupaten Bojonegoro)

Muhammad Yusuf Firmansyah

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Farah Putri Purwahono

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Alamat: Jl. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Kota SBY, Jawa Timur 60294,
Indonesia

Korespondensi penulis: 19035010037@student.upnjatim.ac.id

Abstract. *Pacal Dam as one of the infrastructures that has an important role in the life of the people of Bojonegoro Regency. Pacal Dam is one of the providers of water resources in meeting the needs of the surrounding community in irrigation and agriculture aspects. In addition, the Pacal Dam is also a water conservation medium which is one of the efforts to reduce surface runoff originating from the upstream of the river so that flooding does not occur downstream. Therefore, in planning, it is necessary to accurately calculate the stability of the weir. Spiral stability calculations are carried out to determine whether the weir is stable enough to withstand the external forces that occur. Factors that can affect stability include the weight of the weir, active and passive earth pressure forces, and the resulting uplift. In the stability analysis of the Pancal Dam, it was found that under normal conditions the SF (safety factor) result was 1.6082822, while in flood conditions the SF result was 1.55237, where the SF value was > 1.5 so it can be concluded that the weir planning has been able to withstand the overturning moment caused by water pressure, soil, and uplift pressure in flood conditions.*

Keywords: *Stability, weir, stability, safety factor*

Abstrak. Bendungan Pacal sebagai salah satu infrastruktur yang memiliki peran penting dalam kehidupan penduduk Kabupaten Bojonegoro. Bendungan Pacal menjadi salah satu penyedia sumber daya air dalam memenuhi kebutuhan masyarakat sekitar dalam aspek irigasi dan pertanian. Selain itu Bendungan Pacal juga menjadi salah satu media konservasi air yang menjadi salah satu upaya dalam mengurangi lipasan permukaan yang berasal dari hulu sungai sehingga tidak terjadi banjir di hilir. Oleh karena itu dalam perencanaannya, diperlukan perhitungan yang akurat mengenai stabilitas bendung. Perhitungan stabilitas pelimpah dilakukan untuk menentukan apakah bendung cukup stabil dalam menahan gaya eksternal yang terjadi. Faktor yang dapat mempengaruhi stabilitas mencakup bobot bendung, gaya tekanan tanah aktif dan pasif, dan gaya angkat yang terjadi. Pada analisa stabilitas Bendungan Pancal ini didapatkan pada kondisi normal hasil SF (*safety factor*) sebesar 1,6082822, Sedangkan pada kondisi banjir hasil SF sebesar 1,55237, dimana nilai SF $> 1,5$ sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan bendung telah mampu menahan momen guling yang disebabkan oleh tekanan air, tanah, dan tekanan *uplift* dalam kondisi banjir.

Kata Kunci : Stabilitas, bendung, stabilitas, *safety factor*

LATAR BELAKANG

Bendungan Pacal adalah salah satu infrastruktur yang sangat berperan penting bagi ketersediaan sumber daya penduduk Kabupaten Bojonegoro, khususnya dalam aspek irigasi pertanian. Tidak hanya sebagai penyedia air, Bendungan Pacal juga berfungsi sebagai konservasi air yang mana dapat mengurangi limpasan permukaan (*surface runoff*) dari hulu sungai agar tidak terjadi banjir di hilir dan untuk pengikisan kembali air tanah. Saat ini Bendungan Pacal hanya bisa menampung air sebanyak 21 juta meter kubik dan dapat mengairi sebanyak 13.000 hektar area persawahan. Salah satu penyebabnya adalah terjadinya kerusakan pelimpah yang mengalami keruntuhan pada tahun 2014, sehingga pada proses rehabilitasinya diperlukan analisis stabilitas bendungan pada bagian *spillway* agar dapat diketahui apakah pelimpah tersebut dapat menahan keruntuhan atau tidak. Bilamana syarat-syarat tersebut tidak terpenuhi, maka akan berpotensi mengakibatkan rembesan dan kelongsoran yang lebih parah lagi. Sebelum dilakukan pembangunan, analisis terhadap stabilitas perlu dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menjamin bendung memiliki stabilitas yang aman. Bendung yang aman akan mempengaruhi umur bendung yang lebih lama, sehingga kebutuhan air bagi masyarakat dapat tercukupi dalam waktu yang lebih lama (Mangroe, et al., 2013). Analisis stabilitas pada perencanaan bangunan pelimpah pada bendungan pacal merupakan hal yang harus dilakukan agar dalam perencanaannya dimensi bangunan tersebut dapat cukup stabil untuk menahan gaya eksternal yang terjadi.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

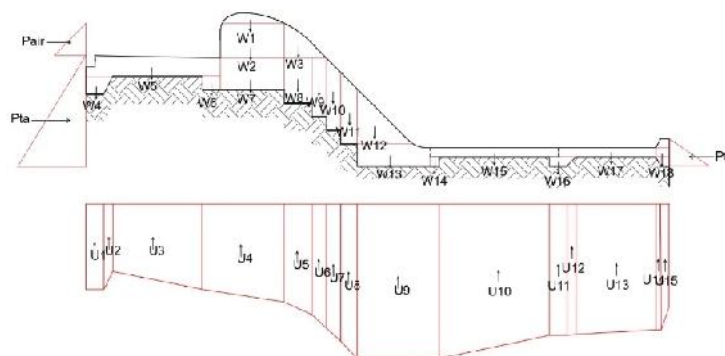
Bendungan Pacal dibangun di atas Sungai Pacal yang terletak di Desa Kedung Sumber Provinsi Jawa Timur, Kecamatan Temayang, dan Kabupaten Bojonegoro. Bendungan Pacal terletak pada koordinat 111° 52' 14.75" BT dan 7° 21' 44.75" S. Secara administratif, Balai Wilayah Sungai Bengawan Solo Direktorat Jenderal Sumber Daya Alam Kementerian Pekerjaan Umum bertanggung jawab atas Bendungan Pacal. Bendungan ini merupakan bagian dari wilayah Sungai Bengawan Solo yang sebagian

besar berfungsi sebagai sistem irigasi. Untuk mencapai lokasi bendungan dari Kota Bojonegoro, menempuh jarak lebih kurang 35 km.

Stabilitas Bendungan

Bendungan merupakan salah satu bangunan infrastruktur bidang sumber daya air yang penting dan memberikan manfaat bagi masyarakat. Saat ini masyarakat sudah dihadapkan pada kenyataan bahwa ketersediaan sumber daya air sudah sangat kritis karena kondisi iklim yang fluktuatif antara debit hujan yang besar dan air yang semakin hari semakin menurun. Salah satu penanganan yang terbaik adalah dengan pendekatan struktural, yaitu membangun penampung–penampung air seperti bendungan. (Mulyono, 2017).

Stabilitas bendung menjadi salah satu persyaratan yang wajib dipenuhi dalam pembangunan sebuah bendungan. Bilamana syarat-syarat tersebut tidak dipenuhi, maka akan berpotensi mengakibatkan rembesan dan kelongsoran. Sebelum dilakukan pembangunan, analisis terhadap stabilitas perlu dilakukan yang bertujuan untuk menjamin bendung memiliki stabilitas yang aman. Bendung yang aman akan mempengaruhi umur bendung yang lebih lama, sehingga kebutuhan air bagi masyarakat dapat tercukupi dalam waktu yang lebih lama (Mangroe, Wuisan, Kawet, & Tangkudung, 2013). Gaya-gaya yang berperan dalam perhitungan stabilitas bendung adalah berat bendung itu sendiri, gaya dari tekanan air, gaya dari tekanan tanah aktif dan pasif, dan gaya angkat menentukan perhitungan stabilitas.



Gambar 1 Gaya-Gaya Dalam Perhitungan Stabilitas Bendung

Keterangan:

Pta = Tekanan tanah aktif

Ptp = Tekanan tanah pasif

Pa = Tekanan Air

W = Gaya akibat berat sendiri

U = Gaya angkat (Uplift)

Bangunan pelimpah memiliki fungsi membuang kelebihan air yang dapat membahayakan bendungan (*overtopping*). Bagian penting untuk mempertahankan keamanan bendungan adalah bangunan pelimpah. Keamanan bendungan didefinisikan sebagai “melindungi bendungan dari keruntuhan bendungan dan melindungi manusia, harta benda, dan prasarana umum di wilayah yang terkena kemungkinan bahaya akibat jebolnya bendungan” dalam Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010.

Stabilitas pada konstruksi pelimpah merupakan salah satu syarat mutlak yang wajib dipenuhi, sehingga dalam perencanaannya diperlukan perhitungan dimensi dari bangunan tersebut. Perhitungan stabilitas bendung dilakukan untuk menentukan apakah bendung cukup stabil untuk menahan gaya eksternal. Perhitungan kestabilan dilakukan pada 2 (dua) skenario yang berbeda, yaitu keadaan banjir dan keadaan normal. Faktor-faktor yang berperan termasuk bobot bendung itu sendiri, gaya dari tekanan tanah aktif dan pasif, dan gaya angkat menentukan perhitungan stabilitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis Pelimpah

Lebar Pelimpah (b) = 45 m
El. Puncak Pelimpah = +115 m
El. Puncak Bendung = +118 m
El. Dasar Kolam Olak = +103 m

γ_{beton} = 2,4 ton/m³

γ_{air} = 1 ton/m³

Perhitungan kali ini menggunakan asumsi jenis tanah merupakan tanah pasir dipadatkan, sehingga didapatkan data berikut:

Sehingga digunakan:

γ_{tanah} = 1,7 ton/m³ (Sumber: Braja M. Das 1985)

(Sudut Geser) = 35° (Sumber: Terzaghi, 1943)

Perhitungan Pada Saat Kondisi Normal

Analisa pada saat keadaan normal diasumsikan di mana permukaan air berada 1 meter dibawah elevasi puncak pelimpah (+115 m) yaitu pada elevasi +114 m. Sementara tidak ada air atau ruang kosong di bagian hilir bendung. Gaya-gaya yang ada meliputi gaya angkat, tekanan tanah aktif dan pasif, dan gaya yang disebabkan oleh bendung itu sendiri (U).

Gaya akibat tekanan tanah aktif (P_a) dan pasif (P_p)

Sebagai salah satu faktor penting dalam analisa stabilitas bendung adalah perhitungan gaya akibat tekanan air, tekanan tanah aktif, dan tekanan tanah pasif. Gaya-gaya tersebut dikalikan dengan jarak terhadap titik tinjau Y. Sehingga dihasilkan nilai momen sebagai berikut:

Tabel 1 : Perhitungan Momen Pair, Pta, Ptp Kondisi Normal

Jenis	Gaya (t)	Terhadap Titik Y	
		Jarak (m)	Momen (t.m)
Pair	3,5912	15,98	57,39
Pta	40,59626	13,3	539,93
Ptp	28,23	3	84,69

Momen Tahan

Dengan menggunakan cara yang sama pada berbagai setiap notasi, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2 : Perhitungan Momen Tahan Kondisi Normal

Notasi	a (m)	b (m)	h (m)	Luas (m ²)	γ (t/m ³)	Besarnya Gaya (ton)	Terhadap titik Y		Notasi (m)	a (m)	b (m)	h (m ²)	Luas (t/m ³)	γ (ton)	Besarnya Gaya (ton)	Terhadap titik Y	
							Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)								Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)
W6	15	17,2	2,68	43,148	1	43,15	58,95	2543,57	W18	1,83	7,5	13,725	2,4	35,69	35,61	1270,74	
W7		2,25	3,68	8,28	2,4	21,53	50,66	1090,61	W19	6,6	6,57	43,362	2,4	112,74	32,49	3662,96	
W8		4,2	3,68	15,456	2,4	40,19	48,13	1934,13	W20	6,6	2	13,2	2,4	34,32	31,61	1084,86	
W9		4	3,68	14,72	2,4	38,27	44,80	1714,59	W21	2,6	2	5,2	2,4	13,52	27,93	377,61	
W10		17,3	3,3	57,09	2,4	148,43	57,60	8549,80	W22	12,3	1	12,3	2,4	31,98	19,52	624,25	
W11	8,36	11,6	3,3	32,934	2,4	85,63	44,58	3817,31	W23	2	1	2	2,4	5,20	12,39	64,43	
W12		2	2	4	2,4	10,40	64,04	666,02	W24	1	1	1	2,4	2,60	11,60	30,16	
W13		1	2	2	2,4	5,20	62,71	326,09	W25	10	1	10	2,4	26,00	6,70	174,20	
W14		12,2	1,5	18,33	2,4	47,66	45,99	2191,79	W26	1	1	1	2,4	2,60	1,17	3,04	
W15		3,08	1,48	4,5584	2,4	11,85	41,35	490,07	W27	1	1	1	2,4	2,60	0,50	1,30	
W16		1,6	4,5	7,2	2,4	18,72	39,60	741,31	W28	1	1	1	2,4	2,60	0,50	1,30	
W17		1,6	6	9,6	2,4	24,96	37,42	934,00	W29	0,5	1	0,5	2,4	1,30	1,17	1,52	
Jumlah										1	1		321,6034		767,1		39646,18
															3		

Perhitungan Uplift

Gaya *uplift* atau yang disebut gaya angkat adalah gaya yang disebabkan oleh tekanan air dan rembesan yang terjadi. Perhitungan gaya uplift dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis air } (\gamma_{\text{air}}) = 1 \text{ t/m}^3$$

$$H_w = \text{El. Di hulu pelimpah} - \text{El. di kolam olak}$$

$$= (+114) - (+103)$$

$$= 11 \text{ m}$$

$$C_w = \frac{\sum Lw}{Hw}$$

$$= \frac{591}{11}$$

$$= 53,72$$

Tabel 3 : Perhitungan Uplift Pada Kondisi Normal

Titik	Garis	Panjang Rembesan			Lw (m)	$\Delta H=Lw/Cw$ (m)	H (m)	P (m)	Titik	Garis	Panjang Rembesan			Lw (m)	$\Delta H=Lw/Cw$ (m)	H (m)	P (m)	
		Lv	Lh	1/3 Lh							Lv	Lh	1/3 Lh					
A					0	0	5,3	5,30	N				22,92	0,43	16,58	16,15		
B	A-B	5,3	0	0	5,30	0,10	10,60	10,50	O	N-O	0	1,83	1	23,53	0,44	16,58	16,14	
C	B-C	0	2	1	5,97	0,11	10,60	10,49	P	O-P	2	0	0	25,53	0,47	18,58	18,11	
D	C-D	1	0	0	6,97	0,13	8,60	8,47	Q	P-Q	0	9,14	3	28,58	0,53	18,58	18,05	
E	D-E	0	10	3	10,30	0,19	8,60	8,41	R	Q-R	0,5	0	0	29,08	0,54	18,08	17,54	
F	E-F	1,5	0	0	11,80	0,22	10,60	10,38	S	R-S	0	12,26	4	33,16	0,62	15,58	14,96	
G	F-G	0	9,14	3	14,85	0,28	10,60	10,32	T	S-T	0,5	0	0	33,66	0,63	16,08	15,45	
H	G-H	1,48	0	0	16,33	0,30	12,08	11,78	U	T-U	0	2	1	34,33	0,64	16,08	15,44	
I	H-I	0	3,08	1	17,35	0,32	12,08	11,76	V	U-V	0,5	0	0	34,83	0,65	15,58	14,93	
J	I-J	1,5	0	0	18,85	0,35	13,58	13,23	W	V-W	0	8,89	3	37,79	0,70	15,58	14,88	
K	J-K	0	1,6	1	19,39	0,36	13,58	13,22	X	W-X	0,5	0	0	38,29	0,71	16,08	15,37	
L	K-L	1,5	0	0	20,89	0,39	15,08	14,69	Y	X-Y	0	1	0	38,63	0,72	16,08	15,36	
M	L-M	0	1,6	1	21,42	0,40	15,08	14,68	Z	Y-Z	3	0	0	41,63	0,77	13,08	12,31	
	M-N	1,5	0	0,00														
TOTAL											21	63		591				348

Perhitungan Momen Guling

Perhitungan momen guling dilakukan dengan mengalikan luas bidang trapesium pada sketsa dengan gamma air, yang kemudian didapatkan besar gaya. Besar gaya ini dikalikan dengan panjang lengan terhadap titik tinjau Y, yang nantinya dihasilkan nilai momen guling. Contoh perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{L. U1} &= \frac{(a+b).t}{2} \\ &= \frac{(10,5+10,5).2}{2} \\ &= 21 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besar Gaya} &= \text{L. U1} \times \text{air} \\ &= 21 \times 1 \\ &= 21 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen} &= \text{Besar gaya} \times \text{panjang lengan} \\ &= 21 \times 64,04 \\ &= 1344,84 \text{ tm} \end{aligned}$$

Tabel 4 Perhitungan Momen Guling Pada Kondisi Normal

Notasi	a (m)	b (m)	t (m)	L. bidang (m ²)	γ (t/m ³)	Besar Gaya (t)	Terhadap titik Y	
							Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)
U1	10,50	8,10	2,00	18,60	1,00	18,60	64,04	1191,23
U2	8,10	8,10	1,00	8,10	1,00	8,10	62,54	506,57
U3	8,10	10,11	10,00	91,05	1,00	91,05	57,04	5193,49
U4	10,11	10,60	9,14	94,64	1,00	94,64	47,47	4492,78
U5	10,60	13,07	3,08	36,45	1,00	36,45	41,36	1507,65
U6	13,07	14,22	1,60	21,83	1,00	21,83	39,02	851,88
U7	14,22	15,63	1,60	23,88	1,00	23,88	37,42	893,59
U8	15,63	15,71	1,83	28,68	1,00	28,68	35,71	1023,88
U9	15,71	16,62	9,14	147,75	1,00	147,75	30,22	4464,95
U10	16,62	14,21	12,26	188,99	1,00	188,99	19,52	3689,04
U11	14,21	14,50	2,00	28,71	1,00	28,71	12,39	355,72
U12	14,50	14,33	1,00	14,42	1,00	14,42	10,89	156,98
U13	14,33	13,36	8,89	123,08	1,00	123,08	5,95	731,72
U14	13,36	15,23	0,50	7,15	1,00	7,15	1,25	8,93
U15	15,23	12,31	1,00	13,77	1,00	13,77	0,50	6,89
							Σmomen	25075,32

Analisis Stabilitas Pada Kondisi Normal

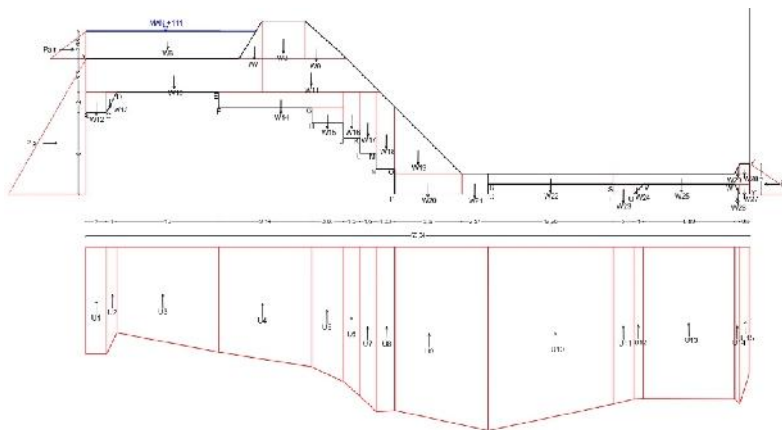
Tabel 5 : Rekapitulasi Momen Pada Kondisi Normal

Gaya	Momen (t.m)	
	Momen Tahan(t.m)	Momen Guling (t.m)
Berat Sendiri	39646,18	
Tekanan Air	57,39	
Tekanan Tanah Aktif	539,93	
Tekanan Tanah Pasif	84,69	
Uplift		25075,32
Total	40328,18	25075,32
SF	1,608282202	> 1,5 OK

Syarat: SF > 1,5

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\Sigma \text{Momen Tahan}}{\Sigma \text{Momen Guling}} \\
 &= \frac{40328,18 \text{ tm}}{25075,32 \text{ tm}} \\
 &= 1.6082822 > 1,5 \dots \text{ AMAN}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan bendung telah mampu menahan momen guling yang disebabkan oleh tekanan air, tanah, dan tekanan *uplift* dalam kondisi Muka Air Normal.



Gambar 2 Gaya-gaya dalam Perhitungan Stabilitas Bendung Kondisi Normal

Perhitungan Pada Saat Kondisi Banjir

Kondisi banjir diasumsikan terjadi pada elevasi muka air hulu berada di 1 m di bawah elevasi puncak bendungan (+118 m), maka digunakan elevasi hulu pelimpah +117 m. Sedangkan, elevasi muka air pada kolam olak digunakan +109 m. Acuan elevasi tersebut didasarkan pada laporan perencanaan perusahaan.

Gaya akibat tekanan tanah aktif (P_a) dan pasif (P_p)

Sebagai salah satu faktor penting dalam analisa stabilitas bendung adalah perhitungan gaya akibat tekanan air, tekanan tanah aktif, dan tekanan tanah pasif. Gaya gaya tersebut kemudian dikalikan dengan jarak terhadap titik tinjau Y. Sehingga dihasilkan nilai momen sebagai berikut

Tabel 6 : Perhitungan Momen Pair, Pta, Ptp Kondisi Banjir

Jenis	Terhadap Titik Y		
	Gaya (t)	Jarak (m)	Momen (t.m)
Pair	23,5298	19,97	469,89
Pta	40,59626	13,3	539,93
Ptp	28,23	3	84,69

Momen Tahan

Perhitungan momen tahan untuk kondisi banjir

$$\begin{aligned} W_1 &= b \times h \\ &= 21,4 \times 3 \\ &= 64,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya tetap} &= \text{Luas bidang} \times \text{yair} \\ &= 64,2 \times 1 \\ &= 64,2 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen} &= \text{Gaya tetap} \times \text{panjang lengan} \\ &= 64,2 \times 56,02 \\ &= 3609,32 \text{ tm} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama pada berbagai notasi, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 7 : Perhitungan Momen Tahan Pada Kondisi Banjir

Notasi	a (m)	b (m)	h (m)	Luas (m ²)	γ (t/m ³)	Besar Gaya (ton)	Terhadap titik Y		Notasi	a (m)	b (m)	h (m)	Luas (t/m ³)	γ (ton)	Besar Gaya (ton)	Terhadap titik Y	
							Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)								Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)
W1		21,4	3	64,2	1	64,20	56,09	3600,98	W16		1,6	4,5	7,2	2,4	18,72	39,60	741,31
W2		11,6	3,7	43,5	1	43,50	41,97	1825,70	W17		1,6	6	9,6	2,4	24,96	37,42	934,00
W3			5						W18		1,83	7,5	13,725	2,4	35,69	35,61	1270,74
W4			7	14	1	14,00	33,99	475,86	W19		6,57	6,57	21,582	2,4	56,11	32,49	1823,16
W5			7	24,5	1	24,50	31,26	765,87	W20		6,57	2	13,14	2,4	34,16	31,61	1079,92
W6		28,2	9,9	281,3	1	281,3	16,40	4614,20	W21		2,57	2	5,14	2,4	13,36	27,93	373,26
W7	15	2	7	3534	5	59,25	58,95	3492,67	W22		12,26	1	12,26	2,4	31,88	19,52	622,22
W8		17,2	3,6	59,2	1	59,25	58,95	3492,67	W23		2	1	2	2,4	4,80	12,39	64,43
W9		2,25	3,6	4,14	2,4	10,76	50,66	545,30	W24		1	1	0,5	2,4	1,20	11,60	15,08
W10		4,18	3,6	15,3	2,4	39,99	48,13	1924,92	W25		9,89	1	9,89	2,4	25,71	6,70	172,28
W11		8	3,6	7,36	2,4	19,14	44,80	857,29	W26		1	1	0,5	2,4	1,20	1,17	1,52
W12		4	3,6	8,24	2,4	19,14	44,80	857,29	W27		1	1	1	2,4	2,40	0,50	1,30
W13		17,2	3,3	56,9	2,4	148,0	57,60	8525,09	W28		1	1	1	2,4	2,40	0,50	1,30
W14	8,2	5	3,3	25	2,4	85,03	44,58	3790,54	W29		0,5	1	0,25	2,4	0,65	1,17	0,76
W15	6	11,5	3,3	32,7	2,4	85,03	44,58	3790,54									
		6	2	4	2,4	10,40	64,04	666,02									
		1	2	1	2,4	2,60	62,71	163,05									
		12,2	1,5	18,3	2,4	47,66	45,99	2191,79									
		2	3														
		3,08	1,4	4,55	2,4	11,85	41,35	490,07									
		8	84														
Jumlah																	
											124,		242,18		629,6		41030,6
											13		63		8		3

Perhitungan Uplift

Gaya *uplift* atau yang disebut gaya angkat adalah gaya yang disebabkan oleh tekanan air dan rembesan yang terjadi. Perhitungan gaya uplift dilakukan sebagai berikut:

Berat jenis air (γ_{air}) = 1 t/m³

H = El. Di hulu pelimpah – El. di kolam olak

$$= (+117) - (+109)$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$C_w = \frac{\sum LW}{HW}$$

$$= \frac{591}{11}$$

$$= 53,72$$

Tabel 8 : Perhitungan Uplift Pada Kondisi Banjir

Titik	Garis	Panjang Rembesan			Lw (m)	$\Delta H=Lw/Cw$ (m)	H (m)	P (m)	Titik	Garis	Panjang Rembesan			Lw (m)	$\Delta H=Lw/Cw$ (m)	H (m)	P (m)
		Lv	Lh	1/3 Lh							Lv	Lh	1/3 Lh				
A	A-B	5,3	0	0,00	0	0	5,3	5,30	N	N-O	0	1,83	0,61	22,92	0,31	16,58	16,27
B	B-C	0	2	0,67	5,30	0,07	10,60	10,53	O	O-P	2	0	0,00	23,53	0,32	16,58	16,26
C	C-D	1	0	0,00	5,97	0,08	10,60	10,52	P	P-Q	0	9,14	3,05	25,53	0,35	18,58	18,23
D	D-E	0	10	3,33	6,97	0,09	8,60	8,51	Q	Q-R	0,5	0	0,00	28,58	0,39	18,58	18,19
E	E-F	1,5	0	0,00	10,30	0,14	8,60	8,46	R	R-S	0	12,26	4,09	29,08	0,39	18,08	17,69
F	F-G	0	9,14	3,05	11,80	0,16	10,60	10,44	S	S-T	0,5	0	0,00	33,16	0,45	15,58	15,13
G	G-H	1,48	0	0,00	14,85	0,20	10,60	10,40	T	T-U	0	2	0,67	33,66	0,46	16,08	15,62
H	H-I	0	3,08	1,03	16,33	0,22	12,08	11,86	U	U-V	0,5	0	0,00	34,33	0,46	16,08	15,62
I	I-J	1,5	0	0,00	17,35	0,23	12,08	11,85	V	V-W	0	8,89	2,96	34,83	0,47	15,58	15,11
J	J-K	0	1,6	0,53	18,85	0,26	13,58	13,32	W	W-X	0,5	0	0,00	37,79	0,51	15,58	15,07
K	K-L	1,5	0	0,00	19,39	0,26	13,58	13,32	X	X-Y	0	1	0,33	38,29	0,52	16,08	15,56
L	L-M	0	1,6	0,53	20,89	0,28	15,08	14,80	Y	Y-Z	3	0	0,00	38,63	0,52	16,08	15,56
M	M-N	1,5	0	0,00	21,42	0,29	15,08	14,79	Z					41,63	0,56	13,08	12,52
TOTAL											21	63	591	351			

Perhitungan Momen Guling

Perhitungan momen guling dilakukan dengan mengalikan luas bidang trapesium pada sketsa dengan gamma air, yang kemudian didapatkan besar gaya. Besar gaya ini dikalikan dengan panjang lengan terhadap titik tinjau Y, yang nantinya dihasilkan nilai momen guling.

$$\begin{aligned}
 L. U1 &= \frac{(a+b).t}{2} \\
 &= \frac{(10,5+10,5).2}{2} \\
 &= 21 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Besar Gaya} &= L. U1 \times \text{air} \\
 &= 21 \times 1 \\
 &= 21 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen} &= \text{Besar gaya} \times \text{panjang lengan} \\
 &= 21 \times 64,04 \\
 &= 1344,84 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Tabel 9 Perhitungan Momen Guling Pada Kondisi Banjir

Notasi	a (m)	b (m)	t (m)	L. bidang (m ²)	γ (t/m ³)	Besar Gaya (ton)	Terhadap titik Y	
							Panjang Lengan (m)	Momen (t.m)
U1	10,50	10,50	2,00	21,00	1,00	21,00	64,04	1344,84
U2	10,50	8,47	1,00	9,49	1,00	9,49	62,54	593,19
U3	8,47	10,44	10,00	94,55	1,00	94,55	57,04	5393,13
U4	10,44	11,86	9,14	101,91	1,00	101,91	47,47	4837,72
U5	11,86	13,23	3,08	38,64	1,00	38,64	41,36	1598,09
U6	13,23	14,75	1,60	22,38	1,00	22,38	39,02	873,42
U7	14,75	16,21	1,60	24,77	1,00	24,77	37,42	926,82
U8	16,21	18,15	1,83	31,44	1,00	31,44	35,71	1122,54
U9	18,15	18,15	9,14	165,89	1,00	165,89	30,22	5013,23
U10	18,15	15,62	12,26	207,01	1,00	207,01	19,52	4040,84
U11	15,62	15,60	2,00	31,22	1,00	31,22	12,39	386,82
U12	15,60	15,50	1,00	15,55	1,00	15,55	10,89	169,34
U13	15,50	15,00	8,89	135,57	1,00	135,57	5,95	805,98
U14	15,00	15,00	0,50	7,50	1,00	7,50	1,25	9,38
U15	15,00	12,50	1,00	13,75	1,00	13,75	1,50	20,63
Σmomen							27135,95	

Analisis Stabilitas Pada Kondisi Banjir**Tabel 10:** Rekapitulasi Momen Pada Kondisi Banjir

Gaya	Momen (t.m)	
	Momen Tahan(t.m)	Momen Guling (t.m)
Berat Sendiri	41030,63	
Tekanan Air	469,89	
Tekanan Tanah Aktif	539,93	
Tekanan Tanah Pasif	84,69	
Uplift		27135,95
Total	42125,14	27135,95
SF	1,552373457	> 1,5 OK

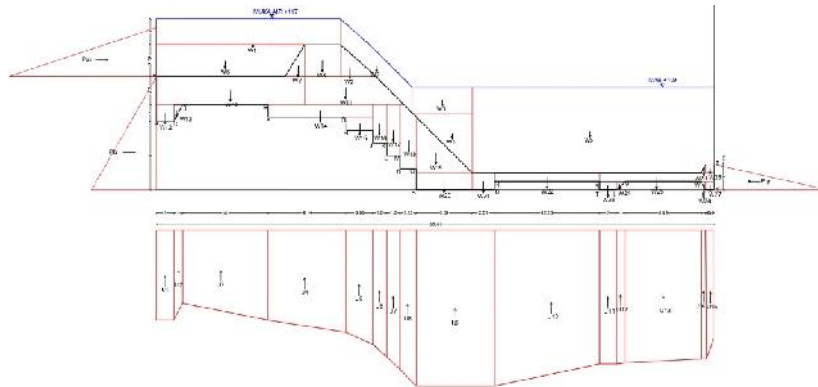
Syarat: $SF > 1,5$

$$SF = \frac{\Sigma \text{Momen Tahan}}{\Sigma \text{Momen Guling}}$$

$$= \frac{42125,14 \text{ tm}}{27135,95 \text{ tm}}$$

$$= 1,55237 > 1,5 \dots \text{AMAN}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan bendung telah mampu menahan momen guling yang disebabkan oleh tekanan air, tanah, dan tekanan *uplift* dalam kondisi banjir.

**Gambar 3** Gaya-gaya dalam Perhitungan Stabilitas Bendung Kondisi Banjir

KESIMPULAN

Dari hasil analisa stabilitas Bendungan Pancal, pada kondisi normal hasil SF sebesar 1.6082822, dimana nilai $SF > 1,5$ sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan bendung telah mampu menahan momen guling yang disebabkan oleh tekanan air, tanah, dan tekanan uplift dalam kondisi normal. Sedangkan pada kondisi banjir hasil SF sebesar 1,55237, dimana nilai $SF > 1,5$ sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan bendung telah mampu menahan momen guling yang disebabkan oleh tekanan air, tanah, dan tekanan *uplift* dalam kondisi banjir.

DAFTAR REFERENSI

- Afriani Firnanda, M. F. (2016, Oktober). ANALISIS STABILITAS BENDUNG (Studi Kasus: Bendung Tamiang). *Jom FTEKNIK*, 2.
- KONSTRUKSIMANIA. (t.thn.). *RAPAT KONSTRUKSI & KOORDINASI PROYEK*. <http://konstruksimania.blogspot.com/2013/04/rapat-konstruksi-koordinasi-proyek.html>.
- Mangroe, V. R., Wuisan, E. M., Kawet, L., & Tangkudung, H. (2013). Perencanaan Bendung untuk Daerah Irigasi Sulu. *Jurnal Sipil Statik*, 533-541.
- Muhammad Agus Bahtiar, N. S. (2016). KORELASI NILAI KOHESI DAN SUDUT GESER DALAM DENGAN NILAI TAHANAN KONUS SONDIR MENGGUNAKAN METODE STATISTIKA. *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 690-698.
- Mulyono, J. (2017). Konsepsi Keamanan Bendungan dalam Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan. *Jurnal Infrastruktur*, 59-62.
- Nisa Andan Restuti, P. T. (2016, Mei). ANALISIS STABILITAS LERENG BENDUNGAN WONOREJO BERDASARKAN PETA GEMPA 2004 DAN PETA GEMPA 2010. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7, 73-82.
- Nur Sholawatini, E. N. (2019). ANALISA STRUKTUR PELIMPAH BENDUNGAN LUBUK AMBACANG KECAMATAN HULU KUANTAN KABUPATEN KUANTAN SINGINGI PROVINSI RIAU. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10, 126 – 133.
- Pratama, A. (2021). *Laporan Kerja Praktik Proyek Pembangunan Gedung BCA KCU Bukit Darmo Surabaya*.
- Putra, A. P., & Rezza, A. A. (2021). LAPORAN KERJA PRAKTEK PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG BCA KCU BUKIT DARMO SURABAYA. *KERJA PRAKTEK - RC18 -4802*, 1-86.
- Saputra, D. O., & Juliar, E. (t.thn.). METODE PELAKSANAAN KONTRUKSI PEKERJAAN STILLING BASIN WALL RIGHT PADA BANGUNAN PELIMPAH / SPILLWAY. *Teknik Sipil*, 1-14.
- Virgo Trisep Haris, F. L. (2018). NILAI KOHESI DAN SUDUT GESER TANAH PADA AKSES GERBANG SELATAN UNIVERSITAS LANCANG KUNING. *SIKLUS : Jurnal Teknik Sipil*, 123-130.