

PERENCANAAN STABILITAS BENDUNG TETAP KADUGENEP KABUPATEN SERANG BANTEN

Irfan Rizki M¹, M. Ichwanul Yusup², Euis Amalia³

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Banten Jaya

Email: irfanrizkimutasim18@gmail.com

Email: ichwanulyusup@yahoo.com

Email: euisamilia@yahoo.com

ABSTRAK

Bendung tetap Kadugenep terletak di sungai Cihaseum. Sub DAS Cihaseum yang memiliki luas kurang lebih 37.65 km² dan panjang sungai kurang lebih 17.21 km, elevasi di hulu sungai memiliki ketinggian + 167.800 sedangkan elevasi di hilir sungai berada di sekitar bendung tetap Kadugenep tinggi + 113.900 m. Keadaan bendungan saat ini terdapat banyak mengalami kerusakan, yang menyebabkan aliran air tidak maksimal ke jaringan irigasi, oleh karena itu perlu kajian teknis perencanaan. Penelitian ini bertujuan mengetahui stabilitas bendung tetap rancangan dengan menggunakan debit banjir rencana 100 tahun dengan menggunakan metode *Gumbel*, dan debit rencana menggunakan metode *Hasper*, kolam olak menggunakan tipe *Vlughter* yang dimodifikasi dengan tipe mercu *ogee*. Hasil perhitungan stabilitas saat air normal tanpa gempa kontrol terhadap guling $2,86 > 1,5$, terhadap geser $6,086 > 1,5$, kontrol tegangan $-0,68 < 2,22$ m, tegangan tanah $5,89 < 50$ t/m², daya dukung tanah $117,500 \text{ t/m}^2 > 50 \text{ t/m}^2$, Stabilitas saat air normal dengan gempa terhadap guling $2,132 > 1,5$, terhadap geser $2,264 > 1,5$, kontrol tegangan $-1,9008 < 2,22$ m, tegangan tanah $5,439 < 50 \text{ t/m}^2$, stabilitas saat air banjir tanpa gempa terhadap guling $3,376 > 1,5$, terhadap geser $20,039 > 1,5$, kontrol tegangan $-1,560 < 2,22$ m, tegangan tanah $3,232 < 50 \text{ t/m}^2$, stabilitas saat air banjir dengan gempa terhadap guling $3,222 > 1,5$, terhadap geser $15,390 > 1,5$, kontrol tegangan $-2,938 < 2,22$ m, tegangan tanah $25,287 < 50 \text{ t/m}^2$, dengan demikian stabilitas bendung tetap aman.

Kata Kunci : Bendung Tetap, Debit Air, Stabilitas

1. PENDAHULUAN

Bendung merupakan salah satu sarana dan prasarana irigasi alternatif dalam produksi dan, pengaturan kebutuhan air dari suatu sungai. Daerah irigasi Kadugenep merupakan daerah pengairan yang terletak di kabupaten Serang Provinsi Banten. Lokasi bendungan terdapat di Desa Koroncong, Kecamatan Baros. Sumber air daerah irigasi Kadugenep berasal dari sungai Cihaseum yang mempunyai luas *catchment area* seluas 197 hektar dengan pendistribusian air menggunakan bangunan utama (*Head Works*) berupa bendung tetap yang bersifat permanen. Namun kondisi bendung tetap pada saat ini terdapat banyak mengalami kerusakan yang dapat mempengaruhi kinerja bendung, untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa debit periode ulang 100 tahun (Q100) dengan data curah hujan 12 tahun terakhir dan mengetahui stabilitas konstruksi bendung tetap Kadugenep dengan penulis merencanakan bendung tetap Kadugenep menggunakan debit periode ulang 100 tahun (Q100) saat ini.

Penelitian perencanaan sejenis telah ada dilakukan, yang menjadi bahan referensi dan meletakkan keterbaruan yang terjadi pada perencanaan bendung tetap Kadugenep diantaranya, Arthono.A dan Istiani, 2020 yang berjudul Perencanaan Ulang Bendung (Studi Kasus Rencana Ulang Bendung Karet Cibereung Kota Cilegon Provinsi Banten) bertujuan merancang ulang Bendung Karet Ciberung dengan perhitungan hidrolik bangunan karet dan perhitungan perencanaan irigasi sehingga hasil penelitiannya di dapatkan stabilitas terhadap guling $7,32 > 1$, stabilitas geser $4,76 > 2$ dan stabilitas tembok pangkal dalam kondisi aman atau stabil serta dalam biaya konstruksi bendung di rencanakan sebesar Rp 11.354.539.000 (Sebelas milyar tiga ratus lima puluh empat juta lima ratus tiga puluh sembilan ribu rupiah). Wigati.R dan Soedarsono, 2016 tentang Kaji ulang Bendung Tetap Cipaas (Studi Kasus Desa Bunihara Kecamatan

Anyer) bertujuan untuk mengetahui stabilitas Bendung Tetap Cipaas rencana apakah masih aman terhadap gaya-gaya yang bekerja. Adapun hasil penelitiannya menunjukkan bahwa curah hujan periode 50 tahun dengan metode Gumbel sebesar 204,5057 mm didapat debit banjir periode lima puluh tahun dengan metode Der Weduwen sebesar 139,75441 m³/det, dimensi bendung aman terhadap eksentrisitas, daya dukung, gaya guling geser dan gaya yang bekerja baik saat kondisi muka air normal dan kondisi muka air banjir. Berbeda dengan penelitian sebelumnya perencanaan bendung tetap Kadugenep penulis merencanakan debit banjir 100 tahun dan metode yang digunakan metode *Gumbel*, dan debit rencana menggunakan metode *Hasper*, kolam olak menggunakan type *Vlughter* yang dimodifikasi dengan tipe mercu *ogee*.

Syarat-Syarat Konstruksi Bendung

Persyaratan perencanaan pembangunan bendung harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Rosdiyani.T dkk 2018):

- Bendung harus stabil dan tahan terhadap tekanan air pada waktu banjir.
- Pembuatan bendung harus memperhitungkan kekuatan daya dukung tanah di bawahnya.
- Bendung harus tahan terhadap rembesan (*seepage*) yang disebabkan oleh aliran air sungai dan aliran air yang meresap ke dalam tanah.
- Ketinggian ambang batas bendung harus sesuai dengan tinggi muka air minimum yang diperlukan untuk seluruh daerah irigasi.
- Bentuk peluap harus diperhatikan, agar air dapat membawa pasir, kerikil dan batu-batu dari sebelah hulu dan tidak merusak struktur tubuh bendung.

Parameter Hidrologi

- Curah Hujan

Salah satu poin terpenting dalam desain bendung tetap adalah analisis curah hujan rencana. Analisis frekuensi hujan dihitung untuk menghasilkan hujan rencana, perhitungan curah hujan rencana. Untuk memperoleh curah hujan rencana dilakukan perhitungan analisis curah hujan rencana dengan menggunakan tiga metode, metode distribusi tersebut adalah metode distribusi Gumbel (Mangore, F.R, Wuisan, E.M, Kawet, L, Tangkudung, H, 2013)

- Metode distribusi Parameter Normal dan,
- Metode distribusi Log Pearson Type III.

Banjir Rencana

Tiga metode yang direkomendasikan untuk penentuan curah hujan empiris – limpasan air hujan (Loebis, Joesron, 1984) :

- Metode Der Weduwen untuk daerah tangkapan air tidak melebihi 100 km².
- Metode Melchior untuk daerah tangkapan air yang lebih besar dari 100 km².
- Metode Haspers untuk daerah aliran sungai yang luasnya lebih dari 5.000 hektar.

Syarat-syarat Stabilitas

Dalam perencanaan bendung tetap memperhatikan persyaratan mengenai stabilitas bendung agar konstruksi bendung aman dan stabil. Kondisi stabilitasnya adalah sebagai berikut :

- Pada konstruksi dengan batu kali, maka tidak boleh terjadi tegangan Tarik. ini berarti bahwa resultante gaya-gaya yang bekerja pada tiap-tiap potongan harus masuk kern.
- Momen tahanan (M_t) harus lebih besar dari pada momen guling (M_g). faktor keamanan dapat diambil antara 1,50 dan 2,0.
- Konstruksi tidak boleh menggeser, faktor keamanan dapat diambil antara 1,50 dan 2,0.
- Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan izin
- Tidak ada bagian struktur yang boleh terangkat oleh gaya ke atas (seimbang antara tekanan atas dan bawah).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif yaitu suatu penelitian yang bertujuan untuk memberikan gambaran secara sistematis, berdasarkan fakta, serta akurat pada fakta dan karakteristik suatu populasi atau daerah tertentu. Dalam pengumpulan data metode yang digunakan yaitu dengan cara studi lapangan (*field research*) untuk memperoleh data primer dan data sekunder (Badan Standarisasi Nasional, 2016) (Yusuf, I., Noor, G., Sulistian, J., & Rosdiyani, T. 2018) (Soenarno, 1972), .

3. DATA DAN ANALISA

Analisis Hujan

a) Rekapitulasi Distribusi Hujan

Tabel 1 Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Bendung Tetap Kadugenep

No.	Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)		
		Metode	Metode	Metode
		Gumbel	Log Normal	Log Pearson Type III
1	2	76.79	77.76	81.23
2	5	95.10	92.54	93.28
3	10	107.22	101.38	98.15
4	25	122.54	109.22	102.21
5	50	133.90	118.91	104.26
6	100	145.18	126.01	105.75
7	200	156.42	132.70	106.84
8	1000	182.46	147.49	109.74

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Debit Banjir Rencana (*Design Flood*)

a. Metode Der Wedu wen

$$\alpha\beta q = 6,4 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$F = 37.65 \text{ km}^2 \text{ Mn} = 0.85 ; R_{100/240} = 0,605 \text{ mm} ; Q_{100} = 6.4 \times 37.65 \times 0,605 = 123,172 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Jadi Debit Banjir Rencana (*Design Flood*) adalah **123.172 m³/detik $\cong$ 123.50 m³/detik**

b. Metode Haspers

$$\alpha = 0.591$$

$$T_x = 5.323 \text{ Jam} \rightarrow 2 < T_x < 19 \text{ (L = 17.21 km, i = 0.0034)}$$

$$\beta = 0.86$$

$$R_t = 122.22 \text{ mm}$$

$$q = 6.378 \text{ m}^3/\text{detik}/\text{Km}^2$$

$$Q_{100} = 0.591 \times 37.65 \times 0.86 \times 6.378 = 122.643 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Jadi Debit Banjir Rencana (*Design Flood*) adalah **122.643 m³/detik $\cong$ 123.000 m³/detik.**

Desain Hidrolis Bendung

a. Tinggi Mercuri Bendung

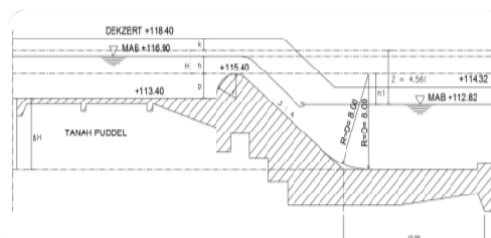
$$H = 3.50 \text{ m} ; P = 0.5H = 0.5 \times 3.5 = 1.75 \text{ m}$$

$$\text{Ditetapkan } P = 2,0 \text{ m} < 4 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$

b. Perhitungan Lebar Bendung, Pintu Pembilas, Lebar Pilar

$$\text{Lebar Bendung (Bn)} ; B = 6.80 \text{ mm} = 1.00 ; I = 0.003479889 ; k = 36 ; h_n \text{ diambil } = \frac{1}{2} h_b$$

- $= \frac{1}{2} (3.5) = 1.75 \text{ m}$ Bn = b + 2 (m,h) = 10.3 m $\cong$ 11 m
 Lebar Pintu Pembilas (b)B = 1/10 bn = 1/10 x 11 = 1.1 m
 Dibuat 1 pintu = 1.1/2 = 0.5 m diambil 1.0 m
 Ditetapkan 1 pintu pembilas $\rightarrow \sum b \ 1 \times 1 = 1.00 \text{ m}$
 Lebar Pilar (t)
 Lebar pilar t diambil 0.50 m $\rightarrow t = 0.50 \text{ m}$
 $\sum t = 0.5 \times 1 = 0.50 \text{ m}$
- c. Perhitungan Lebar Efektif BendungBeff
 $= 11 - 1 - (0.2 \times 0.50)$
 $= 10.30 \text{ m}$, Lebar efektif bendung Tetap Kadugenep $\rightarrow 10.30 \text{ m}$
- d. Perhitungan Elevasi Muka Air Maksimum Di atas Mercu
h = 2.579 m
 $H/r = 3.80$
 $r = 0.6788$ dibulatkan 0.66 m
 $m = 1.469$
 $k = 0.148 \times 2.156 \times 17.1665 \times 0.04767k$
 $= 0.262 \text{ m}$
 $H = h + k = 2.579 + 0.262H = 2.841 \text{ m}$
 $d = \frac{2}{3} H = \frac{2}{3} \times 2.841 = 1.894 \text{ m}$
 $Q = 1.469 \times 10.3 \times 1.894 \times 4.311$
 $Q = 123.500 \text{ m}^3/\text{dtk}$
 $123.500 \text{ m}^3/\text{dtk} > 123.500 \text{ m}^3/\text{dtk} \rightarrow \text{OK}$
 Jadi elevasi muka air banjir maksimum diatas mercu (setelah ada bendung) yaitu $\rightarrow$
 $115.400 - 2.580 = + 117.980$
- e. Aliran balik (*Back Water Curve*)
 $L = 1.0796 / 0.003479 = 6.205 \text{ m}$
 Untuk Kaji Ulang Desain Bendung Kadugenep ini di tetapkan peninggian tanggulsepanjang **15.00 meter**.
- f. Menentukan Bentuk Hidrolis Bendung Dan Peredam Energi/Ruang Olakan.
 $B = 11.00 \text{ m}$; $P = 8.00 \text{ m}$ $H = 2.841 \text{ m}$ $D = 8.00 \text{ m}$ $R = 8.00 \text{ m}$ $L = 12.00 \text{ m}$ $2a = 0.70 \text{ m}$ $a = 0.30 \text{ m}$ $r = 2.00 \text{ m}$ $Z = 4.561 \text{ mm}$ = 3 : 4



Gambar 1 Penampang Memanjang Hidrolis Bendung

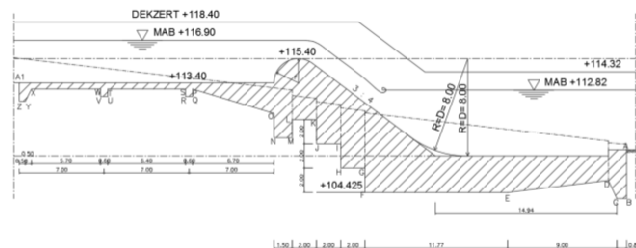
- g. Perhitungan Panjang Lantai Muka

Tabel 3 Perhitungan Elevasi Mercu Bendung

No	Bagian	Lv	Lh	Alpa h = L:C
1	A-B	4.000		1.333
2	B-C		0.800	0.267
3	C-D	1.630		0.543
4	D-E		8.360	2.787
5	E-F		11.770	3.923
6	F-G	2.000		0.667

Tabel 3: Lampiran

No	Bagian	Lv	Lh	Alpa h = L:C
7	G-H		2.000	0.667
8	H-I	2.000		0.667
9	I-J		2.000	0.667
10	J-K	2.000		0.667
11	K-L		2.000	0.667
12	L-M	1.500		0.500
13	M-N		1.500	0.500
14	N-O	2.000		0.667
15	O-P		6.992	2.331
16	P-Q	0.600		0.200
17	Q-R		0.600	0.200
18	R-S	0.600		0.200
19	S-T		6.400	2.133
20	T-U	0.600		0.200
21	U-V		0.600	0.200
22	V-W	0.600		0.200
23	W-X		5.700	1.900
24	X-Y	1.118		0.373
25	Y-Z		0.500	0.167
26	Z-A1	1.500		0.500
ΣLV		18,62		
ΣLH			20.148	
ΣLH				49.222

**Gambar 2** Penampang Memanjang Bendung Tetap Kadugene (‘‘Garis Hydraulic Gradient’’)*Perhitungan Stabilitas*

Stabilitas Saat Air Normal Tanpa Gempa

Tabel 4 Perhitungan Gaya-gaya Vertikal dan Momen Tahan ($\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$ dan Pasangan Batu $1,80 \text{ t/m}^3$)

Indeks Gaya	Gaya (ton)				Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Tahan tm
W1	5.00	3.50	1,80	31.50	11.57	364.46
W2	1.50	1.50	1,80	4.05	12.57	50.91
W3	1.50	1.00	1,80	2.70	9.16	24.73
W4	4.87	2.00	1,80	17.53	8.82	154.63

Tabel 4: Lampiran

Indeks Gaya	Gaya (ton)				Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Tahan tm
W5	1.50	1.00	1,80	2.70	7.16	19.33
W6	5.37	2.00	1,80	19.33	6.82	131.84
W7	4.37	5.82	1,80	45.78	3.88	177.63
W8	3.00	5.82	1,80	31.43	2.91	91.46
				155.02		1014.99

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Tabel 5 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Guling (tm)
Pw	2.00	9.50	19.00
Ps	0.52	9.50	4.94
Pq	11.44	7.00	56,80
	13.96		104.01

Sumber: Hasil Analisa, 2023

$$\sum MT = 1014.99 \text{ tm} ; \sum MG = M_U + \sum MG = 104.01 + 250.60 = 354.61 \text{ tm}$$

$$M_s = \sum MT - \sum MG = 1014.99 - 354.61 = 660.38 \text{ tm}$$

$$\sum V = \text{gaya} - P_{U \text{ Eff}} = 155.02 - 41.75 = 113.27 \text{ ton} \quad \sum H = 13.96 \text{ ton}$$

Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} = \frac{1014.99}{354.61} = 2.8622 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}$$

Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{F * \sum V}{\sum H} \quad F = \text{tg } \Theta = \text{tg } 35^\circ = 0.75 \quad SF = 0.75 \times 113.27 = 6.086 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}$$

Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

$$e = \frac{(\sum M_s - \frac{L}{2})}{\sum V} < \frac{L}{6} \\ = \left| \left(\frac{660.38}{113.27} - \frac{10,47}{2} \right) \right| < \frac{13.32}{6} \\ = |5.829 - 6.66| < 2.22 \\ = 0,138 \text{ m} = -0.68 \text{ m} < 2.22 \text{ m} \rightarrow \text{Aman}$$

Kontrol Tegangan Tanah

$$\sigma_{\text{tanah}} = \frac{113,27}{13,32 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times (0,68)}{13,32} \right)$$

$$\begin{aligned} &= 8.504 \times (1 + 0.306) \\ \sigma_1 &= 8.504 \times (1 + 0.306) \\ &= 11.1089 \text{ t/m}^2 \\ 11.1089 \text{ t/m}^2 &< 750 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= 8.504 \times (1 - 0.306) \\ &= 5.899 \text{ t/m}^2 \\ 5.899 \text{ t/m}^2 &< 750 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

Kontrol Terhadap Daya Dukung TanahTanah Lempung C = 0.30 t/m²Berat isi tanah $\gamma = 1.54 \text{ t/m}^3$
 $\phi = 29^\circ \cong 30^\circ \rightarrow$ Faktor daya dukung tanah menurut Terzaghi N_c
 $= 37.20$
 $N_q = 22.50$; $N_\gamma = 19.70$; $B = 13.32 \text{ m}$ $D = 9.00 \text{ m}$ $D/B = 0.675$ $0.675 < 1 \rightarrow$ OK (Fondasi dangkal tipe menerus)**Kapasitas daya dukung Terzaghi**

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= C N_c + \gamma D N_q + 0.5 B \gamma N_\gamma \rightarrow Q_{OP} = \gamma D \\ &= 0.5 (37.20) + (1.54 \times 9.00) (22.50) + 0.50 (13.32 \times 19.70 \times 1.54) \\ &= 18.60 + 311.85 + 202.051 \\ &= 532.501 \text{ t/m}^2 \rightarrow FK = 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{532.501}{3} \\ &= 177.500 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$177.500 \text{ t/m}^2 > 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow$$

Aman Bila bentang bendung = 7 m

Maka pondasi = 9 m

Beban maksimum yang dapat ditahan pondasi bendung adalah :

$$Q_{all} \times A = 177.500 \times 13.32 \times 9.00$$

$$= 21278.743 \text{ ton}$$

Stabilitas saat air normal dengan sedimen tanpa gempa $\rightarrow$ Aman (OK)

Stabilitas Saat Air Normal Dengan Gempa

Tabel 6 Gaya Horisontal dan Momen Yang Menggulingkan Akibat Gempa

Indeks Gaya	Berat (Ton)	Koef Gempa	Gaya (Ton)	Lengan	Momen Guling (tm)
KW1	31.50	0,15	4.725	8.50	40.163
KW2	4.05	0,15	0.608	5.25	3.189
KW3	2.70	0,15	0.405	9.37	3.795
KW4	17.53	0,15	2.630	6.43	16.910
KW5	2.70	0,15	0.405	7.87	3.187
KW6	19.33	0,15	2.900	4.68	13.571
KW7	45.78	0,15	6.867	4.45	30.558
KW8	31.43	0,15	4.714	1.50	7.071
			23.253		118.444

Tabel 7 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Guling (tm)
Pw	2.00	9.50	19.00
KPw	0.30	9.50	2.85
Ps	0.52	9.50	4.935
Pq	11.44	7.00	80.073
	14.259		106.859

Sumber: Hasil Analisa, 2023

$$\begin{aligned}
 \sum MT &= 1014.99 \text{ tm} \\
 \sum MG &= M_U + \sum MG \text{ (Tabel 4.18)} \\
 &= 118.44 + 106.85 + 250.60 \\
 &= 475.901 \text{ tm} \\
 M_s &= \sum MT - \sum MG \\
 &= 1014.99 - 475.901 \\
 &= 539.085 \text{ tm} \\
 \sum V &= \text{gaya} - P_{U \text{ Eff}} \\
 &= 88,38 - 29,45 \\
 &= 58,93 \text{ ton} \\
 \sum H &= \text{gaya} + \text{gaya} \\
 &= 23.253 + 14.259 \\
 &= 37.512 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Stabilitas Terhadap Guling

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\sum MT}{\sum MG} \\
 &= \frac{1014.99}{475.901} \\
 &= 2.132 > 1,5 \quad \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

Stabilitas Terhadap Geser

$$\begin{aligned}
 SF &= F * \sum V / \sum H \\
 F &= \tan \Theta = \tan 35^\circ \quad SF = (0.75 \times 113.27) / 37.512 = 2.264 > 1,5 \quad \rightarrow \text{Aman} \\
 \text{Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas } e &= (\sum M_s / \sum V - L/2) < L/6 \\
 &= |(539.085 / 113,27 - 13.32 / 2)| < 13.32 / 6 \\
 &= |4.759 - 6.66| < 2.22 \\
 &= -1.9008 \text{ m} < 2.22 \text{ m} \quad \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

Kontrol Tegangan Tanah

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tanah}} &= \frac{113,27}{13,32 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times (0,80)}{13,32} \right) \\
 &= 8.504 (1 \pm 0.360) \\
 \sigma_1 &= 8.504 \times (1 + 0.360) \\
 &= 11.568 \text{ t/m}^2 < (0.50 \text{ t/m}^2) \quad \rightarrow \text{Aman} \\
 \sigma_2 &= 8.504 (1 - 0.360) \\
 &= 5.439 \text{ t/m}^2 < (0.50 \text{ t/m}^2) \quad \rightarrow \text{Stabilitas saat air normal gempa} \rightarrow \text{Aman (OK)}
 \end{aligned}$$

Stabilitas Saat Air Banjir Tanpa Gempa

Tabel 8 Perhitungan Gaya-gaya Vertikal dan Momen Tahan ($\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$ dan Pasangan Batu 1,80 t/m³)

Indeks Gaya	Gaya (ton)				Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Tahan tm
W1	5.00	3.50	1,80	31.50	11.57	364.46
W2	1.50	1.50	1,80	4.05	12.57	50.91
W3	1.50	1.00	1,80	2.70	9.16	24.73
W4	4.87	2.00	1,80	17.53	8.82	154.63
W5	1.50	1.00	1,80	2.70	7.16	19.33
W6	5.37	2.00	1,80	19.33	6.82	131.84
W7	4.37	5.82	1,80	45.78	3.88	177.63
W8	3.00	5.82	1,80	31.43	2.91	91.46
W9	1.50	3.50	1,80	9.45	11.57	109.34
W10	1.95	5.00	1,80	17.55	7.82	137.24
W11	1.96	7.28	1,80	25.68	2.91	74.74
W12				207.71		1336.30

Tabel 9 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling (Aktif)

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F(m)	Momen Guling (tm)
Pw 1	9.50	10	95.00
Pw 2	1.43	9.5	13.54
ps	0.52	9.5	4.94
pq	10.73	7.00	75.13
	22.18		188.60

Sumber: Hasil Analisa, 2023

Tabel 10 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling (Pasif)

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Guling (tm)
Pp1	3.65	0.85	3.10
Pp2	13.11	0.45	5.90
	16.75		9.00

$$\begin{aligned}\Sigma MT &= \Sigma MT + \Sigma MG \\ &= 1336.30 + 9.00 = 1345.30 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\sum MG = \sum MG + M_U = 417.502 + 188.60 = 606.11 \text{ tmMs} \quad = \sum MT - \sum MG = 1345.30 - 606.11 = 739.19 \text{ tm}$$

$$\sum V = \text{Gaya} - P_{U \text{ EFF}} = 207.71 - 62.746 = 144.96 \text{ ton}$$

$$\sum H = |\text{Gaya} - \text{Gaya}| = |22.18 - 16.75| = 5.43 \text{ ton}$$

Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} = \frac{1345.30}{739.19} = 1.82 > 1.5 \rightarrow \text{Aman}$$

Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{F * \sum V}{\sum H} = \frac{0.75 * 144.96}{5.425} = 20.039 > 1.5 \rightarrow \text{Aman}$$

Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

$$e = \frac{\sum Ms}{\sum V} - \frac{L}{2} < \frac{L}{6} = \frac{739.19}{144.96} - \frac{13.32}{2} < \frac{13.32}{6}$$

$$= -1.560 < 2.22 \rightarrow \text{Aman}$$

$$= -1.560 < 2.22 \rightarrow \text{Aman}$$

Kontrol Tegangan Tanah

$$\sigma_{\text{tanah}} = \frac{144.96}{13.32 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times (1.560)}{13.32} \right)$$

$$= 10.882 (1 \pm 0.703)$$

$$\sigma_1 = 10.882 \times (1 + 0.703) = 18.533 \text{ t/m}^2 < 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}$$

$$\sigma_2 = 10.882 (1 - 0.703) = 3.232 \text{ t/m}^2 < 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}$$

Stabilitas saat air banjir dengan sedimen tanpa gempa $\rightarrow$ Aman (OK)

Stabilitas Saat Air Banjir Dengan Gempa

Tabel 11 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Koef Gempa	Gaya (Ton)	Lengan	Momen Guling tm
KW1	31.50	0,15	4.73	8.50	40.16
KW2	4.05	0,15	0.61	5.25	3.19
KW3	2.70	0,15	0.41	9.37	3.79
KW4	17.53	0,15	2.63	6.43	16.91
KW5	2.70	0,15	0.41	7.87	3.19
KW6	19.33	0,15	2.90	4.68	13.57
KW7	45.78	0,15	6.87	4.45	30.56
KW8	31.43	0,15	4.71	1.50	7.07
KW9	9.45	0,15	1.42	11.75	16.66
KW10	17.55	0,15	2.63	9.85	25.93
KW11	25.68	0,15	3.85	6.00	23.12
			31.16		184.15

Tabel 12 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling (Aktif)

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Tahan tm
Pw 1	9.50	10	95
Pw 2	1.43	9.5	13.53
KPw 1	1.43	9.5	13.53
KPw 2	0.21	9.5	2.030
Ps	0.52	9.5	4.935
Pq	10.73	7	75.130
	23.82		204.171

Tabel 13 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling (Pasif)

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap pTitik F (m)	Momen Guling (tm)
Pp1	3.65	0.85	3.10
Pp2	13.11	0.45	5.90
	16.75		9.00

Sumber: Hasil Analisa, 2023

$$\begin{aligned}
 \Sigma MT &= \Sigma MT + \Sigma MG \\
 &= 1336.30 + 9.00 = 1345.30 \text{ tm} \\
 \Sigma MG &= \Sigma MG + \Sigma MG + M_U \\
 &= 184.15 + 417.502 + 204.171 \\
 &= 805.82 \text{ tm} \\
 M_s &= \Sigma MT - \Sigma MG \\
 &= 1345.30 - 805.82 \\
 &= 539.48 \text{ tm} \\
 \Sigma V &= \text{Gaya} - P_{U \text{ EFF}} \\
 &= 207.71 - 62.746 \\
 &= 144.96 \text{ ton} \\
 \Sigma H &= |\text{Gaya} - \text{Gaya}| \\
 &= |23.82 - 16.75| = 7.06 \text{ ton} \rightarrow 7.06 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Stabilitas Terhadap Guling

$$\begin{aligned}
 S_F &= \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} \\
 &= \frac{1345.30}{417.50} \\
 &= 3.222 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

Stabilitas Terhadap Geser

$$\begin{aligned}
 S_F &= \frac{F * \Sigma V / \Sigma H}{\text{---}} \\
 F &= \text{tg } \Theta = \text{tg } 35^\circ \cong \text{tg } 35^\circ \\
 &= \frac{15.390}{1,5} \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

$$e = \left(\frac{\Sigma M_s}{\Sigma V} - \frac{L}{2} \right) < \frac{L}{6}$$

$$= \frac{\sum V^2}{\sum V} = \frac{3.721^2 + 6.66^2}{2.938} = \frac{2.22}{2.22} \rightarrow \text{Aman}$$

b. Kontrol Tegangan Tanah

$$\sigma_{\text{tanah}} = \frac{144.96}{13.32 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times (2.93)}{13.32} \right)$$

$$= 10.882 (1 \pm 1.323)$$

$$\sigma_1 = 10.882 \times (1 + 1.323)$$

$$= 25.287 \text{ t/m}^2 < \phi 50 \text{ t/m}^2$$

→ Aman (OK)

$$\sigma_2 = 10.882 \times (1 - 1.323) = -3.521 \text{ t/m}^2 < \phi 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman (OK)}$$

Tabel 14 Perbandingan Perencanaan Semula dan Perencanaan Stabilitas Bendung Tetap

No	Perencanaan Semula (Eksisting)	Hasil Evaluasi Teknis	Perbedaan
1	Debit Banjir Rencana (Q100) 47.09 m ³ /Detik (Metode Empiris Snyder)	Debit Banjir Rencana (Q100) 123.500 m ³ /Detik (Metode Hasper)	76.41 m ³ /detik
2	Panjang Bendung Tetap Kadugenep = 65.50 m	Panjang Bendung Tetap Kadugenep = 50.07 m	15.53 m
3	Panjang Kolam Olak (<i>Stilling basing</i> /Kolam Penenang) = 31.00 m	Panjang Kolam Olak (<i>Stilling basing</i> /Kolam Penenang) = 15.00 m	16.00 m
4	Tinggi Mercu (P) = 1.50 m	Tinggi Mercu (P) = 2,00 m	0.50 m
5	Lantai Muka (<i>Up Stream</i>) = 25.50 meter	Lantai Muka (<i>Up Stream</i>) = 21.00 m	4.50 meter
6	Bendung Aman Terhadap a. Guling b. Geser c. Eksentrisitas d. Daya Dukung Tanah e. Tekanan Tanah dibawah Pondasi Pada Saat Kondisi Air normal dan Banjir	Bendung Aman Terhadap a. Guling b. Geser c. Eksentrisitas d. Daya Dukung Tanah e. Tekanan Tanah dibawah Pondasi Pada Saat Kondisi Air normal dan Banjir	

Sumber: Hasil Analisa, 2023

KESIMPULAN

- Aliran air periode ulang 100 tahun (Q100) menghasilkan debit banjir rencana (*design flood*) sebesar 123.500m³/detik menggunakan metode *Haspers* berdasarkan curah 12 tahun terakhir
- Dimensi *hidrolis* bendung tetap Kadugenep didasarkan pada hasil evaluasi teknis perencanaan cukup dan memadai dengan menggunakan debit periode ulang 100 tahun (Q100) berdasarkan data curah hujan 12 tahun terakhir.
- Hasil perhitungan stabilitas saat air normal tanpa gempa kontrol terhadap guling $2,86 > 1,5$, terhadap geser $6,086 > 1,5$, kontrol tegangan $-0,68 < 2.22 \text{ m}$, tegangan tanah $5,89 < 50 \text{ t/m}^2$, daya dukung tanah

$117,500 \text{ t/m}^2 > 50 \text{ t/m}^2$, Stabilitas saat air normal dengan gempa terhadap guling $2,132 > 1,5$, terhadap geser $2,264 > 1,5$, kontrol tegangan $-1,9008 < 2.22 \text{ m}$, tegangan tanah $5,439 < 50 \text{ t/m}^2$, stabilitas saat air banjir tanpa gempa terhadap guling $3,376 > 1,5$, terhadap geser $20,039 > 1,5$, kontrol tegangan $-1,560 < 2.22 \text{ m}$, tegangan tanah $3,232 < 50 \text{ t/m}^2$, stabilitas saat air banjir dengan gempa terhadap guling $3,222 > 1,5$, terhadap geser $15,390 > 1,5$, kontrol tegangan $-2,938 < 2.22 \text{ m}$, tegangan tanah $25,287 < 50 \text{ t/m}^2$, dengan demikian stabilitas bendung tetap aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Al'azmi, Q, Suyanto, H, Jaya A.R, (2018). *Studi Perencanaan Bendung Daerah Irigasi Uwang di Wilayah Kabupaten Barito Selatan*, Jurnal Proteksi.Vol 4(1)
Alfabeta, Bandung
- Arthono .A dan Istiani.(2020) *Perencanaan Ulang Bendung (Studi Kasus Rencana Ulang Bendung Karet Ciberung Kota Cilegon Provinsi Banten)*, Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Tangerang, Vol 9(1)
- Badan Standarisasi Nasional, (2016), *SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, (2013), *Kriteria PerencanaanIrigasi KP-01*, Kemen PU Dirjen Sumber Daya Air,Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, (2013), *Kriteria PerencanaanIrigasi KP-02*, Kemen PU Dirjen Sumber Daya Air .Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, (2013), *Kriteria PerencanaanIrigasi KP-06*, Kemen PU Dirjen Sumber Daya Air .Jakarta.
- Loebis, Joesron, (1984), *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*, Departemen Pekerjaan Umum,Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Mangore, F.R, Wuisan, E.M, Kawet, L, Tangkudung, H, (2013), *Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu*, Jurnal Sipil Statik, Vol 1(7)
- Mawardi, Erman, Moch Memed, (2010), *Desain Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknis Irigasi*,Alfabeta, Jakarta
- Rosdiyani.T dkk (2018) *Perencanaan Bendung Pennahan Sedimen Noomor 1 Di Hulu sungai Ciberangg Kecamatan Cipanas Kabupaten Lebak Serang*.KONTEEEKS 12 Batam 18-19 September
- Soemarto, C. D, (1987), *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya
- Soenarno, (1972), *Perhitungan Bendung Tetap*, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, Bandung
- Soewarno, (1995), *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*, Nova, Bandung
- Suripin, 2004, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo, Bambang, (2008), *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta
- Yusuf, I., Noor, G., Sulistian, J., & Rosdiyani, T. (2018). *Perencanaan Checkdam Nomor Dua Di Sungai Cimaur Cipanas Kabupaten Lebak Banten*. Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS), 1(1)
- Wigati, R, Soedarsono, Rizki, F (2016). *Kaji Ulang Bendung Tetap Cipaas (Studi Kasus Desa Bunihara Kecamatan Anyer) Serang-Banten*, Fondasi jurnal Teknik Sipil, Vol 5 (2)