

EVALUASI TEKNIS PERENCANAAN STABILITAS BENDUNG TETAP CIKALUMPANG PADARINCANG KABUPATEN SERANG

Sudrajat¹, Gunawan Noor², Widodo Hadi³

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Banten Jaya
Vanderzaat23@gmail.com

ABSTRAK

Bendung tetap adalah ambang yang dibangun melintang sungai untuk pembendungan sungai yang terdiri dari ambang tetap, dimana muka air banjir di bagian udiknya tidak dapat diatur elevasinya. Bahannya dapat terbuat dari pasangan batu, beton atau pasangan batu dan beton. Dibangun umumnya di sungai ruas hulu dan ruas tengah. Bendung tetap Cikalumpang terdapat di sungai Cikalumpang. Sub DAS Cikalumpang memiliki luas lebih kurang 26,11 km² dan panjang sungai lebih kurang 13,5 km, elevasi di hulu sungai memiliki ketinggian + 180,22 m yang berada disekitar Rawa Dano sedangkan elevasi di hilir sungai di sekitar bendung tetap Cikalumpang memiliki ketinggian + 148,13 m. Kondisi Bendung tersebut saat ini terdapat banyak kerusakan, yang mengakibatkan pengaliran air tidak optimal ke jaringan irigasi, sehingga perlu evaluasi teknis perencanaan dengan cara menganalisis desain serta stabilitas bendung dengan menggunakan debit Banjir Rencana 100 Tahun. Hasil Penelitian kaji ulang menunjukkan bahwa periode ulang 100 tahun curah hujan rencana adalah dengan menggunakan metode *Gumbel*, dan debit rencana menggunakan metode *Hasper*, kolam olak menggunakan tipe *Vlughter* yang dimodifikasi dengan tipe mercu *ogee*. Dimensi bendung aman terhadap eksentrisitas, daya dukung tanah, gaya guling, gaya geser dan gaya-gaya yang bekerja pada saat kondisi muka air normal dan kondisi muka air banjir.

Kata Kunci : Bendung Tetap, Design Flood, Stabilitas Bendung

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bendung merupakan salah satu sarana dan prasarana irigasi alternatif dalam usaha penyediaan dan pengaturan kebutuhan air dari suatu sungai. Terganggunya atau rusaknya salah satu bangunan-bangunan irigasi khususnya bendung akan mempengaruhi kinerja sistem yang ada, sehingga mengakibatkan efisiensi dan efektifitas irigasi menjadi menurun

Daerah Irigasi Cikalumpang merupakan daerah irigasi Kewenangan Provinsi Banten yang terdapat di Kabupaten Serang. Lokasi bendungnya terdapat di Desa Kadubeureum, Kecamatan Padarincang. Sumber air untuk memenuhi kebutuhan air pada daerah irigasi Cikalumpang adalah Sungai Cikalumpang dengan luas catchment area seluas 1.000 hektar. Pendistribusian air dari Sungai Cikalumpang diambil menggunakan bangunan utama (*Head Works*) berupa bendung tetap yang bersifat permanen. Namun pada saat ini kondisi bendung tetap tersebut terdapat banyak kerusakan.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui berapa debit periode ulang 100 tahun (Q100) dengan data curah hujan 12 tahun terakhir dan mengetahui aman dan stabil atau tidaknya konstruksi bendung tetap Cikalumpang dengan analisa perencanaan bendung tetap Cikalumpang menggunakan debit periode ulang 100 tahun (Q100) saat ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi

Beberapa pengertian yang berkaitan dengan kajian bendung tetap ini :

1. Bendung adalah suatu bangunan yang diletakan melintang pada suatu aliran sungai dengan maksud untuk menaikkan muka air aliran (sungai), agar bisa di alirkan ke tempat-tempat yang letaknya lebih tinggi dari dasar aliran sungai tersebut.
2. Bendung tetap adalah ambang yang dibangun melintang sungai untuk pembendungan sungai yang terdiri dari ambang tetap, dimana muka air banjir di bagian udiknya tidak dapat diatur elevasinya. Bahannya dapat terbuat dari pasangan batu, beton atau pasangan batu dan beton. Dibangun umumnya di sungai ruas hulu dan ruas tengah.

B. Bangunan Bendung

Fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*intake structure*), dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal, (Mawardi & Memet, 2010)

C. Syarat-Syarat Konstruksi Bendung

Syarat perencanaan konstruksi bendung harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Bendung harus stabil dan mampu menahan tekanan air pada waktu banjir.
2. Pembuatan bendung harus memperhitungkan kekuatan daya dukung tanah di bawahnya.
3. Bendung harus dapat menahan bocoran (*seepage*) yang disebabkan oleh aliran air sungai dan aliran air yang meresap ke dalam tanah.
4. Tinggi ambang bendung harus dapat memenuhi tinggi muka air minimum yang diperlukan untuk seluruh daerah irigasi.
5. Bentuk peluap harus diperhitungkan, sehingga air dapat membawa pasir, kerikil dan batu-batu dari sebelah hulu dan tidak menimbulkan kerusakan pada tubuh bendung.

D. Parameter Hidrologi

a) Curah Hujan

I. Curah Hujan Rata-rata

Ada tiga Metode yang bisa digunakan untuk merata-rata curah hujan pada suatu DAS, metode tersebut adalah sebagai berikut :

- ✓ Metode Aritmatik
- ✓ Metode Thiessen
- ✓ Metode Isohyet

II. Analisis Curah Hujan

Salah satu poin penting dalam perencanaan bendung tetap yaitu dengan melakukan analisis hujan rencana. Analisis frekuensi hujan dihitung untuk menghasilkan hujan rencana, perhitungan curah hujan rencana bisa dilakukan dengan tiga metode, metode distribusi tersebut adalah

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

b) Banjir Rencana

Ada tiga metode yang dianjurkan untuk menetapkan curah hujan empiris – limpasan air hujan, yaitu:

- ✓ Metode Der Weduwen untuk luas daerah aliran sungai sampai 100 km².
- ✓ Metode Melchior untuk luas daerah aliran sungai lebih dari 100 km².
- ✓ Metode Haspers untuk daerah aliran sungai lebih dari 5.000 ha.

E. Perencanaan Hidrolis Bendung

Untuk perencanaan hidrolis bendung bagian-bagian yang dihitung atau direncanakan adalah:

1. *Peil* atau ketinggian mercu

2. Lebar bendung
3. Muka air maksimum di sungai
4. Muka air maksimum di atas mercu
5. Aliran balik (*back water curve*)
6. Pintu
7. Kolam olak
8. Lantai muka
9. Waking

F. Syarat-syarat Stabilitas

Dalam perencanaan bendung tetap ada terdapat persyaratan mengenai stabilitas bendung supaya konstruksi bendung aman dan stabil. Syarat stabilitasnya yaitu :

- a) 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.
- b) Momen tahanan (M_t) harus lebih besar dari pada momen guling (M_g). faktor keamanan untuk ini dapat diambil antara 1,50 dan 2,0.
- c) Konstruksi tidak boleh menggeser, faktor keamanan untuk ini dapat diambil antara 1,50 dan 2,0.
- d) Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan
- e) Setiap titik pada seluruh konstruksi harus tidak boleh terangkat oleh gaya keatas. (seimbang antara tekanan keatas dan tekanan ke bawah.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif yaitu penelitian yang bertujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis, faktual, serta akurat pada fakta dan sifat populasi atau daerah tertentu.

Dalam pengumpulan data metode yang digunakan yaitu dengan cara studi lapangan (*field research*) yaitu untuk memperoleh data primer dan data sekunder.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hujan

- a) Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Gumbel

Tabel 1 Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Bendung Tetap Cikalumpang Dengan Metode Gumbel

Tr (thn)	Y _{Tr}	R _{Tr} (mm)
2	0,37	115,22
5	1,50	149,92
10	2,25	172,89
25	3,20	201,92
50	3,90	223,45
100	4,60	244,83
200	5,30	266,12
1000	6,91	315,45

b) Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Log Normal

Tabel 2 Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Bendung Tetap Cikalumpang Dengan Metode Log Normal

Tr (thn)	KTr	KTr . S log (Rmax)	Log (RTr)	RTr (mm/hr)
2	0,00	0,00	2,07	117,71
5	0,84	0,08	2,15	142,32
10	1,28	0,13	2,20	157,20
25	1,64	0,16	2,23	170,53
50	2,05	0,20	2,27	187,08
100	2,33	0,23	2,30	199,30
200	2,58	0,25	2,32	210,89
1000	3,09	0,30	2,37	236,648

c) Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Log Pearson Type III

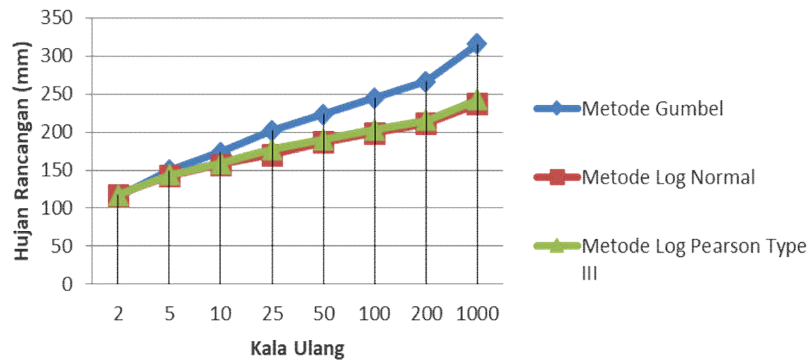
Tabel 3 Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Bendung Tetap Cikalumpang Dengan Metode Log Person Type III

Tr (thn)	KTr	logR_{Tr}	R_{Tr} (mm)
2	0,003	2,0711	117,79
5	0,843	2,1572	143,62
10	1,280	2,2020	159,24
25	1,745	2,2497	177,72
50	2,045	2,2805	190,75
100	2,314	2,3080	203,24
200	2,560	2,3333	215,42
1000	3,067	2,3852	242,77

d) Rekapitulasi Distribusi Hujan

Tabel 4 Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Bendung Tetap Cikalumpang

No.	Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)		
		Metode		
		Gumbel	Log Normal	Log Pearson Type III
1	2	115,22	117,71	117,79
2	5	149,92	142,32	143,62
3	10	172,89	157,20	159,24
4	25	201,92	170,53	177,72
5	50	223,45	187,08	190,75
6	100	244,83	199,30	203,24
7	200	266,12	210,89	215,42
8	1000	315,45	236,65	242,77



Gambar 1 Grafik Lengkung Distribusi Curah Hujan Rencana Ben-dung Tetap Cikalumpang

e) Uji Sebaran Data Curah Hujan

Tabel 5 Uji Chi Kuadrat (*Chi Square Test*)

UJI CHI SQUARE			
Parameter	Metode Gumbel	Metode Log Normal	Metode Log Pearson Type III
Chi - Square hitung	5,52	8,85	3,85
Chi - Square kritis	5,99	5,99	5,99
Derajat Bebas	2,00	2,00	2,00
Derajat Signifikansi	5,00	5,00	5,00
HIPOTESA	DITERIMA	TIDAK DITERIMA	DITERIMA

Dengan cara membandingkan ketiga metode dan dilihat metode mana yang paling menghasilkan CHHM (curah hujan harian maksimum) paling besar maka dipilih **Metode Distribusi Gumbel** dikarenakan memiliki curah hujan maksimum paling tinggi.

B. Debit Banjir Rencana (*Design Flood*)

1. Metode Der Weduwen

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

$$F = 26,12 \text{ km}^2$$

$$Mn = 0,85$$

$$\frac{R_{100}}{240} = 1,020 \text{ mm}$$

$$Q_{100} = 6,4 \times 26,12 \times 0,85 \times 1,020$$

$$= 144,097 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Jadi Debit Banjir Rencana (*Design Flood*) untuk periode 100 tahun dengan metode Der Weduwen adalah **144,097 m³/detik $\cong$ 144,00 m³/detik**

2. Metode Haspers

$$\alpha = 0,644$$

$$Tx = 4,336 \text{ Jam} \rightarrow 2 < Tx < 19$$

$$(L = 13,41 \text{ km}, i = 0.0027)$$

$$\beta = 0,89$$

$$Rt = 198,946 \text{ mm}$$

$$q = 12,744 \text{ m}^3/\text{detik}/\text{Km}^2$$

$$Q_{100} = 0,644 \times 26,12 \times 0,89 \times 12,744$$

$$= 190,429 \text{ m}^3/\text{detik}$$

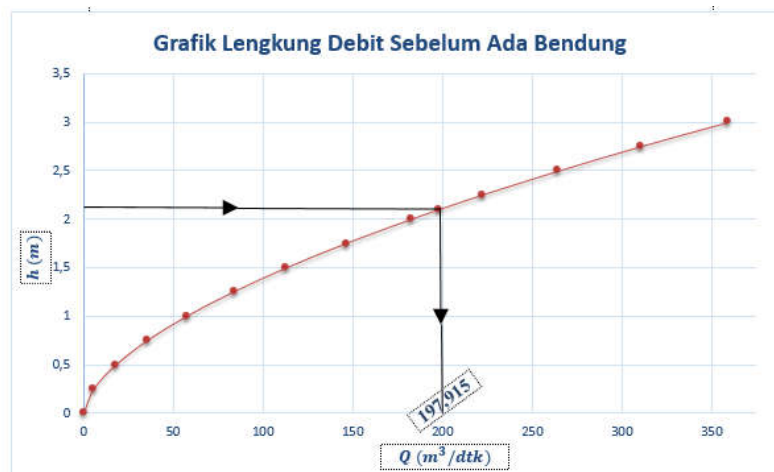
Jadi Debit Banjir Rencana (*Design Flood*) untuk periode 100 tahun dengan metode Haspers adalah **190,429 m³/detik $\cong$ 190,500 m³/detik.**

C. Perhitungan Muka Air Banjir Sebelum Ada Bendung

1. Perhitungan Debit Sungai Q dengan Strickler

Tabel 6 Hasil Perhitungan Grafik Lengkung Debit Sebelum Ada Bendung

NO	Elevasi (m)	A (m ²)	O atau P (m)	R (m)	V (m/det)	Q (m ³ /det)
1	0,25	7,5625	30,707	0,246	0,758472	5,736
2	0,50	15,25	31,41421	0,485	1,192388	18,184
3	0,75	23,0625	32,12132	0,718	1,547856	35,697
4	1,00	31	32,82843	0,944	1,858074	57,600
5	1,25	39,0625	33,53553	1,165	2,137101	83,481
6	1,50	47,25	34,24264	1,380	2,392645	113,052
7	1,75	55,5625	34,94975	1,590	2,629544	146,104
8	2,00	64	35,65685	1,795	2,851105	182,471
9	2,10	67,41	35,94	1,876	2,935994	197,915
10	2,25	72,5625	35,9397	1,995	3,059727	222,021
11	2,50	81,25	37,07107	2,192	3,257223	264,649
12	2,75	90,0625	37,77817	2,384	3,445011	310,266
13	3,00	99	38,48528	2,572	3,624229	358,799



Gambar 2 Grafik Lengkung Debit Sungai Cikalumpang Sebelum Ada Bendung

$$h = 2,10 \text{ m}$$

$$\text{luas penampang basah } A = (B + mh) h$$

$$A = (30 + (1 \times 2,10)) \times 2,10$$

$$= 67,410 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling Basah } O = B + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

$$\begin{aligned} O &= 30 + (4,2 \times 1,414) \\ &= 35,940 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{jari jari hidrolis } R = \frac{A}{O}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{67,410}{35,940} \\ &= 1,876 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan Menurut Strickler

$$V = R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{3}}$$

$$\begin{aligned} V &= 36 \times 1,520897 \times 0,0536 \\ &= 2,936 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Debit Sungai $Q = V \cdot A$

$$\begin{aligned} Q &= 3,936 \times 67,410 \\ &= 197,915 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$Q = 197,915 \text{ m}^3/\text{detik} > 190,500 \text{ m}^3/\text{detik} \rightarrow \text{OK}$$

2. Perhitungan Debit Sungai Q dengan De Chezy dan Bazin

a. Ditetapkan

$$\gamma B = 1,600$$

$$R = 1,897 \text{ m}$$

$$I = 0,003$$

$$A = 67,410 \text{ m}^2$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{1,600}{\sqrt{1,897}}}$$

$$= 40,124$$

$$\begin{aligned} V &= 40,124 \times \sqrt{1,897 \times 0,003} \\ &= 2,945 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$Q = 198,636 \text{ m}^3/\text{det}$$

b. Ditetapkan

$$\gamma B = 1,700$$

$$R = 1,897 \text{ m}$$

$$I = 0,003$$

$$A = 67,410 \text{ m}^2$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{1,700}{\sqrt{1,897}}}$$

$$= 40,124$$

$$\begin{aligned} V &= 40,124 \times \sqrt{1,897 \times 0,003} \\ &= 2,851 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$Q = 192,164 \text{ m}^3/\text{det}$$

c. Ditetapkan

$$\gamma B = 1,750$$

$$R = 1,897 \text{ m}$$

$$I = 0,003$$

$$A = 67,410 \text{ m}^2$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{1,750}{\sqrt{1,897}}}$$

$$= 38,195$$

$$\begin{aligned} V &= 38,195 \times \sqrt{1,897 \times 0,003} \\ &= 2,805 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$Q = 189,084 \text{ m}^3/\text{det}$$

D. Desain Hidrolis Bendung

1. Penentuan Elevasi Mercu Bendung

Tabel 7 Perhitungan Elevasi Mercu Bendung		
NO	KETERANGAN	ELEVASI
1	Elevasi Sawah Tertinggi	149,630
2	Tinggi Air Di Sawah	0,10
3	Kehilangan tekanan dari tersier ke sawah	0,10
4	Kehilangan tekanan dari sekunder ke tersier	0,10
5	Kehilangan tekanan dari Primer ke sekunder	0,10
6	Kehilangan tekanan karena miring saluran	0,15
7	Kehilangan tekanan di alat-alat ukur	0,40
8	Kehilangan tekanan dari sungai ke primer	0,20
9	Persediaan tekanan tekanan dari sungai ke primer	0,10
10	Persediaan untuk lain-lain bangunan	0,25
Jadi Elevasi Mercu Bendung		151,130

2. Tinggi Mercu Bendung

$$H = 2,1 \text{ m}$$

$$P = 0,5H$$

$$= 0,5 \times 2,1 = 1,05 \text{ m}$$

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

3. Perhitungan Lebar Bendung, Pintu Pembilas, Lebar Pilar

a. Lebar Bendung (Bn)

$$B = 30,00 \text{ m}$$

$$m = 1,00$$

$$I = 0,002875$$

$$k = 36$$

$$h_n \text{ diambil} = \frac{1}{2} h_b$$

$$= \frac{1}{2} (2,1) = 1,05 \text{ m}$$

$$B_n = b + 2 (m, h)$$

$$= 32,1 \text{ m} \approx 32 \text{ m}$$

b. Lebar Pintu Pembilas (b)

$$B = 1/10 b_n = 1/10 \times 25 = 3,2 \text{ m}$$

$$\text{Dibuat 2 pintu} = 3,2/2 = 1,6 \text{ m diambil } \mathbf{1,5 \text{ m}}$$

$$\text{Ditetapkan 2 pintu pembilas}$$

$$\rightarrow \sum b = 2 \times 1,5 = \mathbf{3 \text{ m}}$$

c. Lebar Pilar (t)

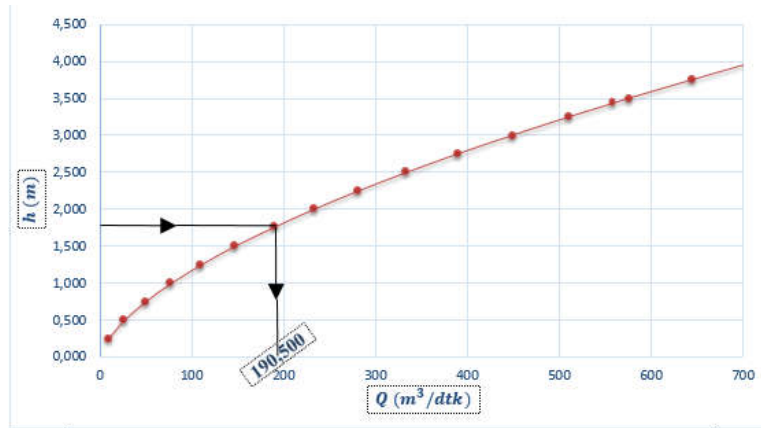
$$\text{Lebar pilar t diambil } 1,0 \text{ m}$$

$$\rightarrow \mathbf{t = 1,0 \text{ m}}$$

- $\Sigma t = 2 \times 1 = 2,0 \text{ m}$
4. Perhitungan Lebar Efektif Bendung
 $B_{eff} = 32 - 2 - (0,2 \times 3)$
 $= 29,40 \text{ m}$
 Lebar efektif bendung Tetap Cikalumpang → **29,40 m**
5. Perhitungan Elevasi Muka Air Maksimum Di atas Mercu
 $h = 1,764 \text{ m}$
 $H/r = 3,80$
 $r = 0,455$ dibulatkan $0,46 \text{ m}$
 $m = 1,464$
 $k = 0,148 \times 2,139 \times 40,35 \times 5,195 \times 0,017$
 $k = 0,123 \text{ m}$
 $H = h + k = 1,764 + 0,123$
 $H = 1,888 \text{ m}$
 $d = 2/3 H = 2/3 \times 1,888$
 $d = 1,258 \text{ m}$
 $Q = 1,464 \times 29,40 \times 1,258 \times 3,513$
 $Q = 190,500 \text{ m}^3/\text{dtk}$
 $190,500 \text{ m}^3/\text{dtk} > 190,500 \text{ m}^3/\text{dtk} \rightarrow \text{OK}$
 Jadi elevasi muka air banjir maksimum diatas mercu (setelah ada bendung) yaitu → $151,130 + 1,764 = + 152,894$

Tabel 8 Hasil Perhitungan Grafik Lengkung Debit Setelah Ada Bendung

NO	h	m	k	H	d	Q
1	0,250	1,453	0,001	0,251	0,167	9,158
2	0,500	1,453	0,006	0,506	0,338	26,239
3	0,750	1,462	0,018	0,768	0,512	49,284
4	1,000	1,462	0,035	1,035	0,690	77,052
5	1,250	1,464	0,059	1,309	0,872	109,825
6	1,500	1,462	0,087	1,587	1,058	146,526
7	1,764	1,466	0,123	1,888	1,258	190,500
8	2,000	1,463	0,159	2,159	1,439	232,544
9	2,250	1,462	0,200	2,450	1,633	280,940
10	2,500	1,464	0,245	2,745	1,830	333,605
11	2,750	1,463	0,292	3,042	2,028	389,000
12	3,000	1,464	0,343	3,343	2,229	448,503
13	3,250	1,463	0,395	3,645	2,430	510,374
14	3,430	1,464	0,435	3,865	2,576	557,532
15	3,500	1,462	0,449	3,949	2,633	575,285
16	3,750	1,464	0,506	4,256	2,837	644,136
17	4,000	1,463	0,564	4,564	3,042	714,887
18	4,250	1,464	0,624	4,874	3,249	789,4998



Gambar 3 Grafik Lengkung Debit Sungai Cikalumpang Sesudah Ada Bendung

6. Aliran Balik (*Back Water Curve*)

$$L = 3,328 / 0,28754$$

$$= 11,575 \text{ m}$$

Untuk Kaji Ulang Desain Bendung Cikalumpang ini di tetapkan peninggian tanggul sepanjang **12,00 meter**.

7. Menentukan Bentuk Hidrolis Bendung dan Peredam Energi/Ruang Olakan.

$$B = 32,00 \text{ m}$$

$$P = 2,00 \text{ m}$$

$$H = 1,888 \text{ m}$$

$$D = 6,00 \text{ m}$$

$$R = 6,00 \text{ m}$$

$$L = 9,00 \text{ m}$$

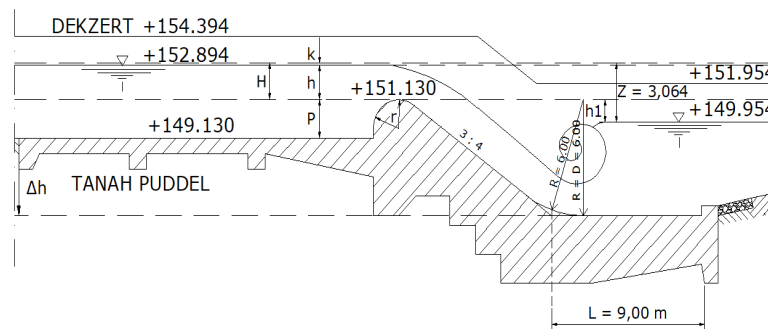
$$2a = 0,40 \text{ m}$$

$$a = 0,20 \text{ m}$$

$$r = 1,50 \text{ m}$$

$$Z = 3,604 \text{ m}$$

$$m = 3 : 4$$



Gambar 4 Penampang Memanjang Hidrolis Bendung

8. Perhitungan Tinggi Muka Air di Puncak (*crest*) Mercu

$$D = \frac{V_1^2}{2g} + d_1$$

$$D = 152,894 - 145,130 = 7,764$$

$$L = 29,40 \text{ (Beff)}$$

$$D = \frac{190,500 \cdot 29,400 \cdot d_1^2}{19,62} + d_1 = \frac{2,140}{d_1} + d_1$$

$$2,69 = \frac{2,140}{d_1} + d_1 \rightarrow \text{dicoba } d_1 = 0,544 \text{ m}$$

maka:

$$7,764 = \frac{2,140}{0,544} + 0,544 = 7,775 \rightarrow \text{OK}$$

ditentukan $d_1 = 0,544 \text{ m}$

9. Perhitungan Panjang Lantai Muka

Tabel 9 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	1,020		0,340
4	D-E		6,530	2,177
5	E-F		5,369	1,790
6	F-G	1,500		0,500
7	G-H		1,500	0,500
8	H-I	1,500		0,500
9	I-J		1,500	0,500
10	J-K	1,500		0,500
11	K-L		2,000	0,667
12	L-M	1,410		0,470
13	M-N		1,500	0,500
14	N-O	2,000		0,667
15	O-P		6,510	2,170
16	P-Q	0,800		0,267
17	Q-R		1,000	0,333
18	R-S	0,800		0,267
19	S-T		6,000	2,000
20	T-U	0,800		0,267
21	U-V		1,000	0,333
22	V-W	0,800		0,267
23	W-X		5,300	1,767
24	X-Y	0,890		0,297
25	Y-Z		1,000	0,333
26	Z-A1	1,600		0,533
ΣLV		18,62		
ΣLH			40,009	
ΣLH				19,543

- Kontrol Menurut Bligh

$$\Sigma LV = 18,620 \text{ m}$$

$$\Sigma LH = 40,009 \text{ m}$$

$$L = LV + LH > H,C$$

$$= 18,620 + 40,009 > 6 \times 1,8$$

$$= 58,629 > 10,800$$

→ Memenuhi Syarat

Harga Creep Ratio

$$L \geq H, C = 58,629 \geq 10,8 \times C$$

$$C = \frac{58,629}{6} \geq 1,8$$

$$= 9,772 \geq 1,8$$

→ Memenuhi Syarat

• Kontrol Menurut Lane

$$L = LV + \frac{1}{3} LH \geq H, C$$

$$= 18,620 + 13,336 \geq 6 \times 1,8$$

$$= 31,956 \geq 10,8$$

→ Memenuhi Syarat

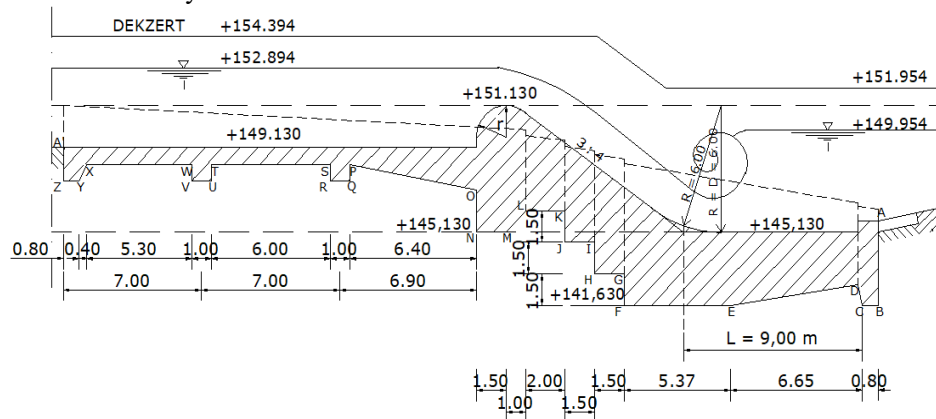
Harga Creep Ratio

$$L \geq H, C = 31,956 \geq 10,8 \times C$$

$$C = \frac{31,956}{10,8} \geq 1,8$$

$$= 5,326 \geq 1,8$$

→ Memenuhi Syarat



Gambar 5 Penampang Memanjang Bendung Tetap Cikalumpang (“Garis Hydraulic Gradient”)

10. Perhitungan Tebal Lantai Di Belakang Bendung

a. Tebal Lantai di Titik A

$$t + p \leq t, 1,80$$

$$3,5 + 2,39 \leq 3,5 \times 1,8$$

$$5,89 \leq 6,30 \rightarrow \text{Memenuhi Syarat}$$

b. Tebal Lantai di Titik B

$$t + p \leq t, 1,80$$

$$2,5 + 1,36 \leq 2,5 \times 1,8$$

$$3,86 \leq 4,50 \rightarrow \text{Memenuhi Syarat}$$

11. Perhitungan Dimensi Pengambilan

Areal Irigasi (A) = 1000 ha

NFR = 1,69 l/dtk/ha

Efisiensi Saluran Primer (EP) = 0,648

$$Q = \frac{NFR \times A}{EP}$$

$$= \frac{1000 \times 1,69}{0,648}$$

$$= 2608 \text{ l/dt} = 2,608 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

V izin ditetapkan = 0,7 m/dtk

$$l : m = 1 : 1,5 \quad m = 1,5$$

$$n = \frac{b}{h} = 4$$

$$\begin{aligned}
 b &= 4 h^2 \\
 W \text{ (Waking/tinggi jagaan)} &= 1 \text{ m} \\
 K \text{ (Koefisien Strickler)} &= 42,5 \\
 F &= \frac{Q}{V} \\
 &= \frac{2,608}{0,7} \\
 F &= 3,726 \text{ m}^2 \\
 \text{Mencari dimensi saluran dengan rumus Strickler} \\
 F &= (b + mh) h \\
 &= (4h + 1,5h) h \\
 F &= 5,50 h^2 \\
 3,726 &= 5,5 h^2 \\
 h^2 &= \frac{3,726}{5,50} \\
 &= 0,68 \\
 h &= \sqrt{0,68} \\
 &= 0,82 \text{ m} \\
 b &= 4h \\
 b &= 4 \times 0,82 \\
 &= 3,292 \\
 \rightarrow \text{ditetapkan } b &= 3,30 \text{ m} \\
 F &= (b + mh) h \\
 &= (3,30 + 1 \times 0,85) 0,85 \\
 &= 5,398 \text{ m}^2 \\
 \text{Kontrol } \rightarrow V \text{ izin} &= 0,7 \text{ m/dtk} \\
 V &= \frac{Q}{F} \\
 &= \frac{2,608}{5,398} = 0,483 \text{ m/det} \\
 &= 0,483 \text{ m/dtk} < 0,7 \text{ m/dtk} \rightarrow \text{Aman (OK)} \\
 \text{Kemiringan Saluran} \\
 P &= b + 2h \sqrt{1 + m^2} \\
 &= 3,30 + 1,70 \times 1,80 \\
 &= 6,365 \text{ m} \\
 R &= \frac{5,398}{6,365} = 0,85 \\
 R^{2/3} &= 0,848^{2/3} \\
 &= 0,896 \\
 I &= \frac{V}{K R^{2/3}} \\
 &= \frac{0,483}{42,50 \times 0,896} \\
 &= 0,0127 \\
 \text{Perhitungan Pintu Pengambilan} \\
 \text{Koefisien Pengaliran } (\mu) &= 0,8 \\
 \text{Kehilangan energi } (Z) &= 0,3 \text{ m} \\
 Q &= \mu, b, a, \sqrt{2, g, Z} \\
 2,608 &= 0,8 \times 3,30 \times a \times 2,426 \\
 2,608 &= 6,405 a \\
 a &= \frac{2,608}{6,405} = 0,407 \text{ m} \\
 \text{Elevasi Ambang Pengambilan} \\
 &= 151,03 - 0,3 - 0,407 \\
 &= + 150,323
 \end{aligned}$$

12. Perhitungan Lebar Penguras

Direncanakan 1 Pintu

$$\begin{aligned}\text{Lebar pintu} &= 1,50 \text{ m} \\ &= 2 \times 1,50 = 3 \text{ m}\end{aligned}$$

Pintu Penguras Dibuka Setinggi Plat Onderspuier

Tinggi Bendung (P) = 2,00 m

$$\mu = 0,62$$

$$y = 1,5$$

$$h = P - \frac{1}{2} y = 1,25$$

$$F = b \times y = 2,00 \times 1,5 = 3,00 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}Q &= \mu F \sqrt{2gh} \\ &= 0,62 \times 3,00 \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,25}\end{aligned}$$

$$Q = 9,211 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$V = Q/F$$

$$= \frac{9,211}{3,00} = 3,070 \text{ m/dtk}$$

Kontrol Kecepatan

$$V_c = 1,5 \times C \sqrt{d}$$

$$C = 1,8$$

$$d = 0,1 \text{ m}$$

$$V_c = 1,5 \times 1,8 \sqrt{0,1}$$

$$= 0,854$$

$$= 0,845 \leq 3,070$$

→ Aman (OK)

Pintu Dibuka Penuh

$$z = \frac{1}{3} p$$

$$= \frac{1}{3} \times 2,00 = 0,667$$

$$h = \frac{2}{3} \times 2,00 = 1,333$$

$$\mu = 0,62$$

$$\begin{aligned}Q &= \mu b h \sqrt{2gh} \\ &= 0,62 \times 3,30 \times 1,333 \times 3,617 \\ &= 9,866 \text{ m}^3/\text{det}\end{aligned}$$

$$F = 1 \times 3,30$$

$$= 3,30 \text{ m}^2$$

$$V = Q/F$$

$$= \frac{9,866}{3,30}$$

$$= 3,670 \text{ m/dtk}$$

Kontrol Kecepatan

$$V_c = 1,5 \times C \sqrt{d}$$

$$C = 1,8$$

$$d = 0,1$$

$$V_c = 1,5 \times 1,8 \sqrt{0,1}$$

$$= 0,854$$

$$= 0,854 \leq 3,670 \rightarrow \text{Aman (OK)}$$

E. Perhitungan Stabilitas

Data perencanaan :

Bendung dibuat dari pasangan batu

$$B_j \text{ pas batu} = 1,8 \text{ ton/m}^3$$

Q banjir 100 thn = 190,500 m³/detik

Data Tanah :

Kohesi (C) = 0,23 kg/cm²

Bj butir padat (Gs) = 2,61 ton/m³

Kadar air (W) = 41,31 %

Kadar pori (I) = 0,33

Tegangan tanah ijin (σ) = 50 ton/ m²

Sudut geser dalam (Θ) = 17,10⁰

Stabilitas diperhitungkan juga terhadap endapan lumpur

$$\begin{aligned}\text{Berat isi tanah } \gamma_t &= \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+I} \\ &= \frac{2,61 \times 1 \times (1+41,31\%)}{1+0,33} \\ &= 2,77 \text{ ton/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= \frac{\gamma_w (G_s+1)}{1+I} \\ &= \frac{1 \times (2,61)}{1+0,33} \\ &= 2,71 \text{ ton/m}^3\end{aligned}$$

Penentuan Koefisien Tekanan Tanah

Koefisien Tekanan Tanah Aktif

$$\begin{aligned}K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\Theta}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{17,1}{2} \right) \\ K_a &= 0,545\end{aligned}$$

Koefisien Tekanan Tanah Pasif

$$\begin{aligned}K_p &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\Theta}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{17,1}{2} \right) \\ K_p &= 1,83\end{aligned}$$

Gaya Horisontal Endapan Sedimen Tekanan Tanah Lumpur (*Silt*)

$$\begin{aligned}P_s &= \frac{1}{2} \gamma_{\text{sub}} \cdot H^2 \cdot K_s \rightarrow K_s = \frac{(1-\sin 30^\circ)}{(1+\sin 30^\circ)} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,78 \times (2)^2 \times 0,333 \times \frac{(1-0,50)}{(1+0,50)} \\ &= 0,52 \text{ ton}\end{aligned}$$

Tekanan Air

Tekanan Air Hidrostatik

$$\begin{aligned}P_w &= \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1 \times (2)^2 \\ &= 2 \text{ ton}\end{aligned}$$

Koefisien Gempa

Daerah Gempa 3

Koefisien zona gempa $z = 1.56$

Koefisien jenis tanah = batu,

$n = 2.76 \quad m = 0.71$

Periode ulang = $T = 100$ tahun

Percepatan dasar gempa/percepatan kejut dasar $a_c = 160$ gal (1 gal.= 1m/dtk²)

Percepatan gempa rencana

$$\begin{aligned}a_d &= n (a_c \cdot z)^m \\ &= 2.76 (160 \times 1.56)^{0.71} = 138.98 \text{ gal.}\end{aligned}$$

Koefisien gempa

$$E = \frac{a_d}{g} = \frac{138,98}{980} = 0.1418 \cong 0.15$$

Jadi koefisien gempa $E = 0.15$

1. Stabilitas Saat Air Normal Tanpa Gempa

Tekanan Tanah Muka Air Normal

Tekanan Tanah Aktif

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \gamma_{\text{sat}} H^2 K_a \\ &= \frac{1}{2} \times 2,71 \times (4,)^2 \times 0,545 \\ &= 11,83 \text{ ton} \end{aligned}$$

Gaya Uplift

dari Tabel 4.15 Lane dan Bligh didapat :

$$\sum l = 58,629 \text{ m}$$

$$L_N = 28,5 \text{ m}$$

$$L_F = 40,91 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= \text{El Crest} - \text{El d/s} \\ &= 151,130 - 145,130 \\ &= 6,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_N &= 151,130 - 145,130 \\ &= 6,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_N &= H_N - \frac{L_N}{\sum l} \times \Delta h \\ &= 6,00 - 0,486 \times 6,00 \\ &= 3,08 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_F &= 151,130 - 141,630 \\ &= 9,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_F &= H_F - \frac{L_F}{\sum l} \times \Delta h \\ &= 9,50 - 0,698 \times 6,00 \\ &= 5,31 \text{ ton} \end{aligned}$$

Mencari Lengan Gaya Uplift

$$x = \frac{(0,50 \times 2,23 \times 10,47 \times 6,98) + (3,08 \times 10,47 \times 5,235)}{(3,08 \times 10,47) + (0,50 \times 2,23 \times 10,47)}$$

$$= \frac{250,484}{43,957}$$

$$= 5,70 \text{ m}$$

$$P_U = \frac{U_N + U_F}{2} \times L$$

$$= \frac{3,08 + 5,31}{2} \times 10,47 = \frac{8,40}{2} \times 10,47$$

$$= 43,957 \text{ ton}$$

Gaya *Uplift* diambil 67% (Soenarno, Bendung Tetap, 1972, Sub Direktorat Perencanaan Teknis, Direktorat Irigasi, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum)

maka :

$$P_{U \text{ Eff}} = 67\% \times 43,957$$

$$= 29,45 \text{ Ton}$$

Momen akibat *Uplift* (M_U) terhadap titik F

$$M_U = 29,45 \times (10,47 - 5,70)$$

$$= 140,53 \text{ tm}$$

Tabel 10 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	5,01	2,50	1,80	22,54	9,22	207,87
W2	1,00	1,50	1,80	2,70	9,72	26,25
W3	1,00	0,50	1,80	0,90	8,64	7,78
W4	1,41	1,00	1,80	2,55	7,31	18,60
W5	3,21	2,00	1,80	11,57	6,97	80,67
W6	1,06	0,75	1,80	1,43	5,47	7,81
W7	3,66	1,50	1,80	9,87	5,22	51,55
W8	1,06	0,75	1,80	1,43	3,97	5,67
W9	4,10	1,50	1,80	11,06	3,72	41,19
W10	2,10	1,49	1,80	5,61	1,89	10,62
W11	3,50	2,97	1,80	18,74	1,49	27,86
	88,38					485,87

Tabel 11 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Guling (tm)
Pw	2,00	8,00	16,00
Ps	0,52	8,00	4,16
Pq	11,83	4,80	56,80
	14,35		76,96

Stabilitas :

$$\sum MT = 485,87 \text{ tm}$$

$$\sum MG = M_U + \sum MG \text{ (Tabel 4.18)}$$

$$= 140,53 + 76,96$$

$$= 217,49 \text{ tm}$$

$$M_s = \sum MT - \sum MG$$

$$= 485,87 - 217,49$$

$$= 268,39 \text{ tm}$$

$$\sum V = \text{gaya} - P_{U \text{ Eff}}$$

$$= 88,38 - 29,45$$

$$= 58,93 \text{ ton}$$

$$\sum H = 14,35 \text{ ton}$$

a. Stabilitas Terhadap Guling

$$S_F = \frac{\sum MT}{\sum MG}$$

$$= \frac{485,87}{217,49}$$

$$= 2,234$$

$$> 1,5 \rightarrow \text{Aman}$$

b. Stabilitas Terhadap Geser

$$S_F = \frac{F + \sum V}{\sum H}$$

$$F = \text{tg } \Theta = \text{tg } 35^\circ = 0,75$$

$$S_F = \frac{0,75 \times 58,93}{14,35}$$

$$= 3,079 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}$$

c. Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

$$\begin{aligned} e &= \left(\frac{\sum M_x}{\sum V} - \frac{L}{2} \right) < \frac{L}{6} \\ &= \left| \left(\frac{268,39}{58,93} - \frac{10,47}{2} \right) \right| < \frac{10,47}{6} \\ &= |4,554 - 5,325| < 1,745 \\ &= 0,138 \text{ m} \\ &= -0,68 \text{ m} < 1,745 \text{ m} \rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

d. Kontrol Tegangan Tanah

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tanah}} &= \frac{58,93}{10,47 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times (0,68)}{10,47} \right) \\ &= 65,629 \times (1 \pm 0,370) \\ \sigma_1 &= 5,629 \times (1 + 0,370) \\ &= 7,822 \text{ t/m}^2 \\ 7,822 \text{ t/m}^2 &< 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \\ \sigma_2 &= 5,629 (1 - 0,370) \\ &= 3,435 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$3,435 \text{ t/m}^2 < 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}$$

e. Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

Tanah Lempung $C = 0,23 \text{ t/m}^2$

Berat isi tanah $\gamma = 1,54 \text{ t/m}^3$

$\phi = 29^\circ \cong 30^\circ \rightarrow$ Faktor daya dukung tanah menurut Terzaghi

$$N_C = 37,20$$

$$N_q = 22,50$$

$$N_\gamma = 19,70$$

$$B = 10,47 \text{ m}$$

$$D = 8,00 \text{ m}$$

$$D/B = 0,764$$

$0,764 < 1 \rightarrow \text{OK}$ (Fondasi dangkal tipe menerus)

Kapasitas daya dukung Terzaghi

$$\begin{aligned} Q_{\text{ult}} &= C N_C + \gamma D N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma \rightarrow Q_{\text{op}} = \gamma D \\ &= 0,5 (37,2) + (1,54 \times 8,00)(22,50) + 0,50 (10,47 \times 19,70 \times 1,54) \\ &= 18,60 + 277,20 + 158,82 \\ &= 454,619 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{FK} = 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{all}} &= \frac{454,619}{3} \\ &= 151,540 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$213,98 \text{ t/m}^2 > 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}$$

Bila bentang bendung = 32 m

Maka pondasi = 35 m

Beban maksimum yang dapat ditahan pondasi bendung adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{all}} \times A &= 151,540 \times 32 \times 35 \\ &= 55531,763 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

2. Stabilitas Saat Air Normal Dengan Gempa

Tabel 12 Gaya Horisontal dan Momen Yang Menggulingkan Akibat Gempa

Indeks Gaya	Berat (Ton)	Koef Gempa	Gaya (Ton)	Lengan	Momen Guling (tm)
KW1	22,54	0,15	3,380	7,01	23,693
KW2	2,70	0,15	0,405	4,00	1,620
KW3	0,90	0,15	0,135	4,17	0,562
KW4	2,55	0,15	0,382	10,68	4,079
KW5	11,57	0,15	1,735	6,11	10,594
KW6	1,43	0,15	0,214	7,01	1,500
KW7	9,87	0,15	1,480	4,83	7,145
KW8	1,43	0,15	0,214	5,95	1,274
KW9	11,06	0,15	1,659	3,55	5,887
KW10	5,61	0,15	0,842	4,21	3,541
KW11	18,74	0,15	2,810	1,75	4,918
13,257				64,813	

Tabel 13 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Guling (tm)
Pw	2,00	8,00	16,00
KPw	0,30	8,00	2,40
Ps	0,52	8,00	4,16
Pq	11,83	4,80	56,81
14,654		79,360	

Stabilitas :

$$\begin{aligned}
 \sum MT &= 485,87 \text{ tm} \\
 \sum MG &= M_U + \sum MG \text{ (Tabel 4.18)} \\
 &= 64,813 + 79,360 + 140,53 \\
 &= 284,701 \text{ tm} \\
 M_s &= \sum MT - \sum MG \\
 &= 485,87 - 284,701 \\
 &= 201,173 \text{ tm} \\
 \sum V &= \text{gaya} - P_{U \text{ Eff}} \\
 &= 88,38 - 29,45 \\
 &= 58,93 \text{ ton} \\
 \sum H &= \text{gaya} + \text{gaya} \\
 &= 13,257 + 14,654 \\
 &= 27,91 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

a. Stabilitas Terhadap Guling

$$\begin{aligned}
 S_F &= \frac{\sum MT}{\sum MG} \\
 &= \frac{485,870}{284,701} \\
 &= 1,707 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

b. Stabilitas Terhadap Geser

$$S_F = \frac{F \cdot \sum V}{\sum H}$$

$$F = \tan \Theta = \tan 35^\circ$$

$$S_F = \frac{0,750 \times 58,930}{27,911}$$

$$= 1,584 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}$$

c. Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

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

$$= \left| \left(\frac{201,173}{58,93} - \frac{10,47}{2} \right) \right| < \frac{10,47}{6}$$

$$= |3,414 - 5,235| < 1,745$$

$$= -0,80 \text{ m} < 1,745 \text{ m} \rightarrow \text{Aman}$$

d. Kontrol Tegangan Tanah

$$\sigma_{\text{tanah}} = \frac{58,93}{10,47 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times 0,80}{10,47} \right)$$

$$= 5,629 (1 \pm 0,46)$$

$$\sigma_1 = 5,629 \times (1 + 0,46)$$

$$= 8,209 \text{ t/m}^2 < (\bar{\sigma}) 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}$$

$$\sigma_2 = 5,629 (1 - 0,46)$$

$$= 3,048 \text{ t/m}^2 < (\bar{\sigma}) 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}$$

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

3. Stabilitas Saat Air Banjir Tanpa Gempa

Tekanan Tanah Aktif

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_{\text{sat}} H^2 K_a$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,78 \times (4,14)^2 \times 0,347$$

$$= 5,28 \text{ ton}$$

Gaya Uplift

dari Tabel 7 Lane dan Bligh didapat :

$$\sum l = 58,629 \text{ m}$$

$$L_N = 28,50 \text{ m}$$

$$L_F = 40,91 \text{ m}$$

$$H_N = \text{El Crest} - \text{El d/s}$$

$$= 152,894 - 145,130$$

$$= 7,764 \text{ m}$$

$$\Delta h = 152,894 - 149,954$$

$$= 2,940 \text{ m}$$

$$U_N = H_N - \frac{L_N}{\sum l} \times \Delta h$$

$$= 7,764 - 0,486 \times 2,940$$

$$= 6,33 \text{ ton}$$

$$H_F = 152,894 - 141,630$$

$$= 11,264 \text{ m}$$

$$\Delta F = 152,894 - 145,130$$

$$= 7,764 \text{ m}$$

$$U_F = H_F - \frac{L_F}{\sum l} \times \Delta F$$

$$= 11,264 - 0,698 \times 7,764$$

$$= 5,85 \text{ ton}$$

Mencari Lengan Gaya Uplift

$$x = \frac{(0,5 \times (-0,48) \times 10,47 \times 0,98) + (0,33 \times 10,47 \times 5,24)}{(0,33 \times 10,47) + (0,5 \times 0,48 \times 10,47)}$$

$$= \frac{329,374}{63,770}$$

$$= 5,17 \text{ m}$$

$$P_U = \frac{U_N + U_F}{2} \times L$$

$$= \frac{6,33 + 5,85}{2} \times L = \frac{12,18}{2} \times 10,47$$

$$= 63,77 \text{ ton}$$

Gaya *Uplift* diambil 67% (Soenarno, Bendung Tetap, 1972, Sub Direktorat Perencanaan Teknis, Direktorat Irigasi, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum)
maka :

$$P_{U \text{ Eff}} = 67\% \times 63,77$$

$$= 42,726 \text{ Ton}$$

Momen akibat *Uplift* (M_U) terhadap titik F

$$M_U = 42,726 \times (10,47 - 5,17)$$

$$= 226,659 \text{ tm}$$

Tabel 14 Perhitungan Gaya-gaya Vertikal dan Momen Tahan ($\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$ dan Pasangan Batu 1,80 t/m^3)

Indeks Gaya	Gaya (ton)				Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Tahan tm
W1	5,01	2,50	1,80	22,54	9,22	207,87
W2	1,00	1,50	1,80	2,70	9,72	26,25
W3	1,00	0,50	1,80	0,90	8,64	7,78
W4	1,41	1,00	1,80	2,55	7,31	18,60
W5	3,21	2,00	1,80	11,57	6,97	80,67
W6	1,06	0,75	1,80	1,43	5,47	7,81
W7	3,66	1,50	1,80	9,87	5,22	51,55
W8	1,06	0,75	1,80	1,43	3,97	5,67
W9	4,10	1,50	1,80	11,06	3,72	41,19
W10	2,10	1,49	1,80	5,61	1,89	10,62
W11	3,50	2,97	1,80	18,74	1,49	27,86
W12	1,76	2,50	1,80	7,92	9,23	73,10
W13	1,81	6,14	1,80	20,03	5,86	117,35
W14	2,47	3,64	1,80	16,18	1,44	23,26
132,51						699,58

Tabel 15 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling (Aktif)

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Guling (tm)
Pw 1	8,00	8,60	68,80
Pw 2	1,20	8,00	9,60
ps	0,52	8,00	4,16
pq	11,83	4,80	56,80
21,55			139,36

Tabel 16 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	5,93	0,45	2,67
	9,57		5,77

Stabilitas :

$$\begin{aligned}\Sigma MT &= \Sigma MT + \Sigma MG \\ &= 699,58 + 5,77 = 705,35 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MG &= \Sigma MG + M_U \\ &= 139,36 + 226,660 = 366,02 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_s &= \Sigma MT - \Sigma MG \\ &= 705,35 - 366,02 = 339,33 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma V &= \text{Gaya} - P_{U\text{ EFF}} \\ &= 132,51 - 42,726 = 89,79 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma H &= | \text{Gaya} - \text{Gaya} | \\ &= | 21,55 - 9,57 | = 11,98 \text{ ton} \rightarrow 11,98 \text{ ton}\end{aligned}$$

a. Stabilitas Terhadap Guling

$$\begin{aligned}S_F &= \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} \\ &= \frac{0,75 \times 89,79}{11,98} \\ &= 1,66 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}\end{aligned}$$

b. Stabilitas Terhadap Geser

$$\begin{aligned}S_F &= \frac{F \cdot \Sigma V}{\Sigma H} \\ F &= \text{tg } \Theta = \text{tg } 35^\circ \cong \text{tg } 35^\circ \\ S_F &= \frac{0,75 \times 89,79}{11,98} \\ &= 5,621 > 1,5 \rightarrow \text{Aman}\end{aligned}$$

c. Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

$$\begin{aligned}e &= \left(\frac{\Sigma M_s}{\Sigma V} - \frac{L}{2} \right) < \frac{L}{6} \\ &= \left| \left(\frac{339,33}{89,79} - \frac{10,47}{2} \right) \right| < \frac{10,47}{6} \\ &= | 3,779 - 5,235 | < 1,745 \\ &= -1,456 < 1,745 \rightarrow \text{Aman}\end{aligned}$$

d. Kontrol Tegangan Tanah

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tanah}} &= \frac{89,79}{10,47 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times 1,456}{10,47} \right) \\ &= 8,576 (1 \pm 0,834) \\ \sigma_1 &= 8,576 \times (1 + 0,834) \\ &= 15,731 \text{ t/m}^2 < (50) 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman} \\ \sigma_2 &= 8,576 (1 - 0,834) \\ &= 1,420 \text{ t/m}^2 < (50) 50 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{Aman}\end{aligned}$$

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

4. Stabilitas Saat Air Banjir Dengan Gempa

Tabel 17 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Koef Gempa	Gaya (Ton)	Lengan	Momen Guling tm
KW1	22,54	0,15	3,38	7,01	23,69
KW2	2,70	0,15	0,41	4,00	1,62
KW3	0,90	0,15	0,14	4,17	0,56
KW4	2,55	0,15	0,38	10,68	4,08
KW5	11,57	0,15	1,74	6,11	10,59
KW6	1,43	0,15	0,21	7,01	1,50
KW7	9,87	0,15	1,48	4,83	7,15
KW8	1,43	0,15	0,21	5,95	1,27
KW9	11,06	0,15	1,66	3,55	5,89
KW10	5,61	0,15	0,84	4,21	3,54
KW11	18,74	0,15	2,81	1,75	4,92
KW12	7,92	0,15	1,19	10,23	12,15
KW13	20,03	0,15	3,00	8,68	26,07
KW14	16,18	0,15	2,43	5,71	13,85
				19,88	116,88

Tabel 18 Perhitungan Gaya Horizontal dan Momen Guling (Aktif)

Indeks Gaya	Gaya (ton)	Lengan Terhadap Titik F (m)	Momen Tahan tm
Pw 1	8,00	8,60	68,80
Pw 2	1,20	8,00	9,60
KPw 1	1,20	8,00	9,60
KPw 2	0,18	8,00	1,44
Ps	0,52	8,00	4,16
Pq	11,83	4,80	56,80
		22,93	150,40

Tabel 19 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	5,93	0,45	2,67
		9,57	5,77

Stabilitas :

$$\begin{aligned}\Sigma MT &= \Sigma MT + \Sigma MG \\ &= 699,58 + 5,77 = 705,35 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MG &= \Sigma MG + \Sigma MG + M_U \\ &= 139,36 + 150,40 + 226,660 \\ &= 493,94 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$M_s = \Sigma MT - \Sigma MG$$

$$\begin{aligned}
 &= 705,35 - 493,94 \\
 &= 211,41 \text{ tm} \\
 \Sigma V &= \text{Gaya} - P_{U \text{ EFF}} \\
 &= 132,51 - 42,726 \\
 &= 89,79 \text{ ton} \\
 \Sigma H &= |\text{Gaya} - \text{Gaya}| \\
 &= |22,93 - 9,57| = 13,36 \text{ ton} \quad \rightarrow 13,36 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

a. Stabilitas Terhadap Guling

$$\begin{aligned}
 S_F &= \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} \\
 &= \frac{705,35}{226,66} \\
 &= 3,111 > 1,5 \quad \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

b. Stabilitas Terhadap Geser

$$\begin{aligned}
 S_F &= \frac{F \cdot \Sigma V}{\Sigma H} \\
 F &= \text{tg } \Theta = \text{tg } 35^\circ \cong \text{tg } 35^\circ \\
 S_F &= \frac{0,75 \times 89,79}{13,36} \\
 &= 5,040 > 1,5 \quad \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Tegangan Tarik/ Eksentrisitas

$$\begin{aligned}
 e &= \left(\frac{\Sigma M_s}{\Sigma V} - \frac{L}{2} \right) < \frac{L}{6} \\
 &= \left| \left(\frac{211,41}{89,79} - \frac{10,47}{2} \right) \right| < \frac{10,47}{6} \\
 &= |2,355 - 5,235| < 1,745 \\
 &= -2,88 < 1,745 \quad \rightarrow \text{Aman}
 \end{aligned}$$

d. Kontrol Tegangan Tanah

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tanah}} &= \frac{89,79}{10,47 \times 1} \left(1 \pm \frac{6 \times (2,90)}{10,47} \right) \\
 &= 8,576 \left(1 \pm 1,662 \right) \\
 \sigma_1 &= 8,576 \times (1 + 1,662) \\
 &= 22,827 \text{ t/m}^2 < \frac{50}{1} \text{ t/m}^2 \\
 &\quad \rightarrow \text{Aman (OK)} \\
 \sigma_2 &= 8,576 \times (1 - 1,662) \\
 &= -5,676 \text{ t/m}^2 < \frac{50}{1} \text{ t/m}^2 \quad \rightarrow \text{Aman (OK)} \\
 &\text{Stabilitas saat air banjir dengan gempa} \rightarrow \text{Aman (OK)}
 \end{aligned}$$

F. Perbandingan Hasil Perhitungan

Tabel 19 Perbandingan Perencanaan Semula dan Evaluasi Teknis Perencanaan Stabilitas Bendung Tetap Cikalumpang Padarincang Kabupaten Serang

No	Perencanaan Semula (Eksisting)	Hasil Evaluasi Teknis	Perbedaan
1	Debit Banjir Rencana (Q100) 138,25 m ³ /Detik (Metode Nakayashu)	Debit Banjir Rencana (Q100) 190,500 m ³ /Detik (Metode Hasper)	52,25 m ³ /detik
2	Panjang Bendung Tetap Cikalumpang = 50,50 m	Panjang Bendung Tetap Cikalumpang = 41,22 m	9,28 m
3	Panjang Kolam Olak (<i>Stilling basing</i> /Kolam Penenang) = 30,29 m	Panjang Kolam Olak (<i>Stilling basing</i> /Kolam Penenang) = 9,00 m	21,29 m
4	Tinggi Mercu (P) = 1,00 m	Tinggi Mercu (P) = 2,00 m	1,00 m
5	Lantai Muka (<i>Up Stream</i>) =	Lantai Muka (<i>Up Stream</i>) = 20,90 m	8,40 meter

No	Perencanaan Semula (Eksisting)	Hasil Evaluasi Teknis	Perbedaan
	12,50 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	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Debit periode ulang 100 tahun (Q100) dihasilkan dbit banjie rencana (*design flood*) sebesar $190,500 \text{ m}^3/\text{detik}$ berdasarkan curah 12 tahun terakhir dengan menggunakan metode *Haspers*.
2. Dimensi hidrolis bendung tetap Cikalumpang berdasarka hasil evaluasi teknis perencanaan cukup dan memadai dengan menggunakan debit periode ulang 100 tahun (Q100) berdasarkan data curah hujan 12 tahun terakhir.
3. Konstruksi bendung tetap Cikalumpang aman dan stabil menurut hasil evaluasi teknis perencanaan terhadap debit air dengan kondisi air normal ataupun dengan kondisi air banjir periode ulang 100 tahun (Q100) saat ini. Stabilitas bendung tetap aman, karena bendung aman terhadap gaya guling, gaya geser, eksentrisitas dan daya dukung tanah

B. Saran

- 1) Dalam perhitungan banjir rencana data curah hujan yang digunakan harus valid dan dalam melakukan dilakukan dengan cermat.
- 2) Dalam menentukan dimensi hidrolis bendung harus berpedoman pada standar yang telah ditetapkan yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Kriteria Perencanaan (KP).
- 3) Pada perhitugan gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung hendaknya dilakukan secara cermat dan teliti, karena pengaruh gaya-gaya tersebut sangat besar dalam pengontrolan stabilitas bendung.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2016, SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, Jakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013, Kriteria Perencanaan Irigasi KP-01, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013, Kriteria Perencanaan Irigasi KP-02, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013, Kriteria Perencanaan Irigasi KP-06, Jakarta.
- Loebis, Joesron, 1984, Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Mawardi, Erman, Moch Memed, 2002, Desain Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknis, Alfabeta, Bandung
- Soedarsono, 2006, Irigasi dan Bangunan Air, STT Banten Jaya, Serang,
- 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
- Wigati, R, Soedarsono, Rizki, F, 2016, Kaji Ulang Bendung Tetap Cipaas (Studi Kasus Desa Bunihara Kecamatan Anyer) Serang-Banten, Volume 5 No. 2
- Al'azmi, Q, Suyanto, H, Jaya A.R, 2018, Studi Perencanaan Bendung Daerah Irigasi Uwang di Wilayah Kabupaten Barito Selatan, Volume 4 No. 1
- Mangore, F.R, Wuisan, E.M, Kawet, L, Tangkudung, H, 2013, Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu, Volume 1 No. 7