



ALTERNATIF DESAIN *SPILLWAY* PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN CIBEET KABUPATEN BOGOR PROVINSI JAWA BARAT

Ega Dwi Prasetyo¹, Shinta Ardhya Maharani², Ekodjati
Tunggulgeni³, Sayed Ahmad Fauzan⁴, Ricky Harianja⁵,
Suprayogi⁶, Adden Trianto⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Teknik Sipil Universitas Pertahanan Republik Indonesia

egaageprasetyo@gmail.com¹, shintardhym@gmail.com², ekodjati2463@gmail.com³,
sayed.fauzan@idu.ac.id⁴, rickyharianja.ce@gmail.com⁵, suprayogi0463@gmail.com⁶,
addn.trianto@gmail.com⁷

SUBMITTED 8 MEI 2025 REVISED 3 JULI 2025 ACCEPTED 22 JULI 2025

ABSTRACT

Indonesia, as an agrarian country, heavily relies on the availability of water for irrigation, raw water supply, and electricity generation to support industrial growth. One of the government's efforts to ensure water availability is the construction of dams, including the Cibeet Dam, which serves to reduce flooding, provide raw water, support irrigation, and generate electricity. A crucial component of a dam is the spillway, which must be capable of accommodating excess water, especially during extreme flood events. This study aims to re-evaluate the spillway design of the Cibeet Dam using a hydraulic and structural stability analysis approach. The data used includes the Cibeet Dam planning documents, topographic data, hydrological data, geotechnical data, soil investigation data, climatological data, and reservoir capacity data. The analysis covers stability against overturning, sliding, seepage, and soil bearing capacity under three water level conditions (empty, normal, flood), and assesses construction cost efficiency. The results show that reducing the spillway crest width by 0.5 m only increases the head (Hd) by 2 cm. The spillway with an ogee crest and USBR II stilling basin is considered stable, with safety factors >1.5 under normal conditions and >1.2 during seismic events. The soil bearing capacity is also deemed sufficient to support the structure under all water level conditions.

Keywords: Spillway, Hydraulic Analysis, Spillway Stability

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara agraris sangat bergantung pada ketersediaan air untuk irigasi, air baku, dan pembangkit listrik guna mendukung pertumbuhan industri. Salah satu upaya pemerintah dalam menjamin ketersediaan air adalah pembangunan bendungan, termasuk Bendungan Cibeet yang berfungsi mengurangi banjir, menyediakan air baku, irigasi, serta pembangkit listrik. Salah satu komponen penting dari bendungan adalah bangunan pelimpah yang harus mampu menampung debit air berlebih, khususnya saat terjadi banjir ekstrem. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian ulang desain spillway Bendungan Cibeet melalui pendekatan analisis hidrolika dan stabilitas struktur. Data yang digunakan meliputi data perencanaan Bendungan Cibeet, topografi, hidrologi, geoteknik, soil investigation, klimatologi, dan kapasitas waduk. Analisis dilakukan terhadap stabilitas guling, geser, rembesan, serta daya dukung tanah dalam tiga kondisi muka air (kosong, normal, banjir), dan dievaluasi dari sisi efisiensi biaya konstruksi. Hasil kajian menunjukkan bahwa pengurangan lebar ambang sebesar 0,5 m hanya menaikkan tinggi energi (Hd) sebesar 2 cm. Spillway dengan tipe mercu ogee dan kolam olak tipe USBR II dinyatakan stabil, dengan faktor keamanan >1,5 tanpa gempa dan >1,2 dengan gempa. Daya dukung tanah juga mencukupi untuk menopang struktur dalam seluruh kondisi muka air.

Kata Kunci: Spillway, Analisis hidrolika, Stabilitas spillway

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya air yang sangat besar, yakni sekitar 3.221 miliar meter kubik per tahun, namun pemanfaatannya baru mencapai sekitar 691 miliar meter kubik dan belum tersebar secara merata, khususnya antara kawasan barat dan timur (Syarizka, 2016). Kondisi ini mendorong pemerintah untuk mengembangkan berbagai infrastruktur pengelolaan air, termasuk pembangunan bendungan. Bendungan memiliki berbagai fungsi penting, antara lain sebagai penyedia air irigasi dan air bersih, pengendali banjir, serta pembangkit tenaga listrik. Dalam rangka memperkuat ketahanan air dan mendukung kedaulatan pangan nasional, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menargetkan pembangunan 65 bendungan dalam lima tahun ke depan. Salah satu proyek strategis dalam program tersebut adalah pembangunan Bendungan Cibeet yang terletak di Kecamatan Cariu, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Bendungan ini direncanakan untuk mengurangi risiko banjir di Sungai Citarum, menyuplai air untuk irigasi, serta berpotensi menghasilkan energi listrik (PUPR, 2022).

Salah satu bagian penting dari bangunan bendungan adalah spillway atau pelimpah, yaitu saluran yang berfungsi untuk mengalirkan kelebihan air saat volume tampungan sudah melewati batas, terutama saat banjir besar terjadi (Saleh, 2019). Spillway perlu dirancang dengan kapasitas dan kekuatan yang cukup agar tidak menimbulkan risiko kerusakan pada bendungan. Pemeriksaan terhadap desain spillway yang ada di Bendungan Cibeet menjadi hal yang penting untuk memastikan apakah desainnya sudah sesuai dengan kondisi aliran air saat ini dan perkiraan banjir ke depan. Karena itu, penelitian ini memusatkan perhatian pada peninjauan ulang desain spillway Bendungan Cibeet melalui analisis hidrolika dan kekuatan strukturnya, untuk memastikan keamanan sekaligus meningkatkan efisiensi pembangunan.

Penelitian ini mengangkat tiga pokok permasalahan utama: (1) bagaimana meninjau kembali desain spillway Bendungan Cibeet dengan menggunakan pendekatan analisis hidrolika; (2) bagaimana memastikan bahwa spillway tetap aman dalam kondisi muka air kosong, muka air normal, dan saat banjir; serta (3) bagaimana desain baru yang diajukan dapat efektif tanpa mengurangi tingkat keamanannya. Agar penelitian tetap fokus, ada beberapa batasan yang ditetapkan. Analisis hanya mencakup aspek hidrolika dan stabilitas spillway, tanpa melibatkan perubahan pada struktur utama bendungan. Penelitian ini juga hanya mempertimbangkan tiga kondisi muka air, yaitu saat kosong, normal, dan banjir, serta tidak membahas dampak sosial maupun lingkungan.

Berdasarkan latar belakang, permasalahan, dan batasan yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menilai kembali desain spillway Bendungan Cibeet dengan pendekatan analisis hidrolika dan stabilitas struktur; (2) menghitung seberapa stabil struktur terhadap risiko seperti guling, rembesan, dan kekuatan tanah pada berbagai kondisi muka air; serta (3) mencari desain alternatif yang efektif namun tetap aman dan berfungsi dengan baik sesuai standar. Diharapkan hasil penelitian ini bisa menjadi acuan bagi para pengambil keputusan untuk memperbaiki kualitas desain spillway bendungan, sekaligus membantu efisiensi pembangunan infrastruktur air di tingkat nasional.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tipe *Spillway*

Bangunan pelimpah atau spillway merupakan bangunan hidraulik yang menyalurkan aliran normal dan atau aliran banjir, serta melindungi kesatuan bangunan pada bendungan. Tipe-tipe spillway dibagi menjadi 6 (Bendungan, 2014), yaitu Pelimpah Luncur (*Chute*), Pelimpah Samping (*Side Channel Spillway*), Pelimpah Corong (*Shaft*), Pelimpah Sipon (*Siphon*), Pelimpah Labirin,, Pelimpah Bak Terjun Dengan Inlet (*Box Inlet Drop Spillway*)

2.2 Mercu Spillway

Untuk menjaga agar kondisi aliran yang melimpah diatas mercu stabil, bentuk mercu bendung harus direncanakan secara hati-hati dari segi hidrolis. Dua tipe mercu bendung tetap di sungai yang biasa digunakan di Indonesia adalah tipe mercu bulat dan tipe mercu ogee.

a. Mercu Bulat

Jari-jari mercu bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali H_{1maks} dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali H_{1maks} (Kementerian PUPR, 2016).

b. Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam serasi. Oleh karena itu, mercu ini tidak akan memberikan tekanan sub-atmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Digunakan persamaan Lengkung Harrold.

$$X^{1,85} = 2H_d^{0,85}Y \quad (1)$$

2.3 Flood Routing

Penelusuran banjir lewat bendungan hasil yang diperoleh dapat lebih eksak (akurat) karena penampungannya adalah fungsi langsung dari aliran keluar (outflow). Salah satu cara metode yang biasanya digunakan adalah metode Muskingum (Sosrodarsono dan Takeda, 1980). Metode ini dapat dilihat pada rumus sebagai berikut:

$$I - D = dS/dt \quad (2)$$

2.4 Stabilitas Struktur Terhadap Gaya Tekan ke Atas

2.4.1 Kontrol Uplift

Stabilitas terhadap gaya tekan ke atas sangat bergantung pada drainase yang baik, berat struktur, dan gaya lainnya seperti gaya geser. Perhitungan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U = \frac{(h1 + h2)}{2} \times \gamma_w \times A \quad (3)$$

2.4.2 Kontrol Guling

Untuk bangunan air atau dinding yang mengalami tekanan harus diperhitungkan faktor kemanan terhadap tergulingnya bangunan menggunakan rumus sebagai berikut:

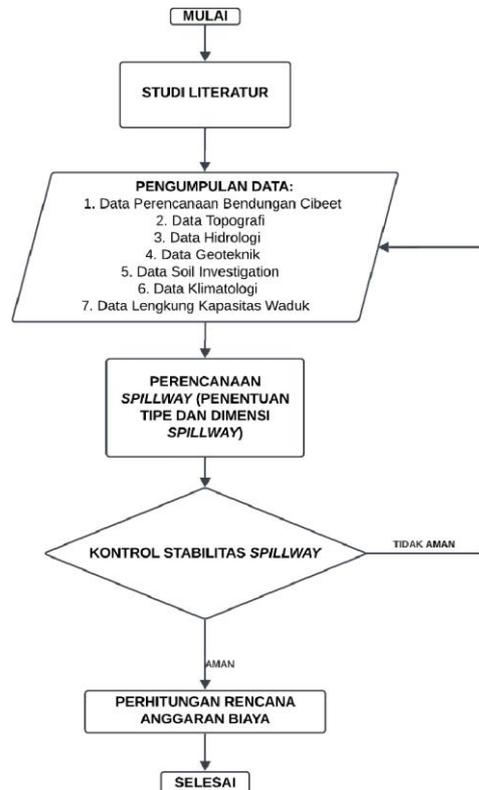
$$SF = Mt / Mg \quad (4)$$

2.4.3 Kontrol Geser

Stabilitas geser diperlukan untuk bangunan air agar tahan/tidak bergerak jika mengalami tekanan horisontal seperti tekanan aktif, tekanan air, gempa, dan beban luar lainnya. Faktor keamanan terhadap geser dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$FK_{gs} = \text{Ketahanan geser } (t) / \text{Gaya geser } (t) \quad (5)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1. Flowchart Penelitian

Simulasi yang direncanakan meliputi pengurangan panjang kolam olak dan penyempitan lebar spillway sebanyak 50 cm. Pengurangan ini tetap mempertimbangkan syarat-syarat hidrolika agar spillway tetap mampu menampung debit banjir sesuai ketentuan. Dengan cara ini, hasil kaji ulang desain diharapkan mampu menekan biaya pembangunan tanpa mengurangi tingkat keamanan bendungan.

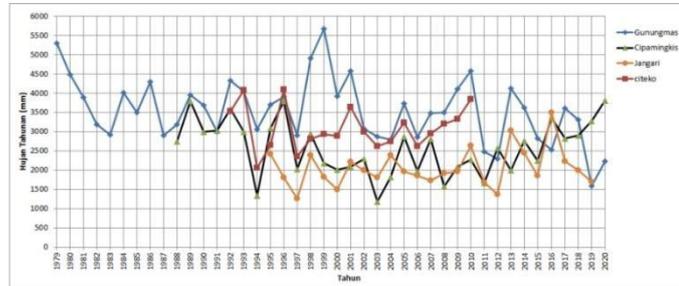
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hidrologi

4.1.1 Data Curah Hujan Rata-rata

Data hujan untuk analisis hidrologi diperoleh dari beberapa stasiun di sekitar lokasi Bendungan Cibeet, yaitu: Cipamingkis (1988–2020, 33 tahun, rata-rata 2.573 mm/tahun), Janggari (1995–2019, 25 tahun, 2.058 mm/tahun), dan

Gunung Mas (1979–2020, 42 tahun, 3.543 mm/tahun). Selain itu, tersedia juga data hujan jam-jaman dari stasiun Citeko (1992–2010, 19 tahun, rata-rata 3.080 mm/tahun).



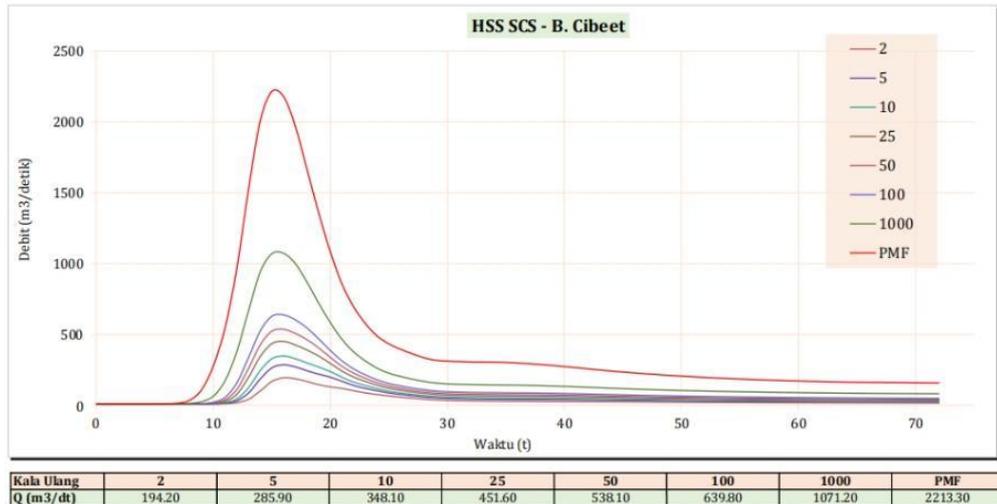
Gambar 4.1. Curah Hujan Tahunan



Gambar 4.2. Lokasi Stasiun Curah Hujan

4.1.2 Data Debit Banjir Rancangan

Berikut ini disajikan grafik Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) metode Soil Conservation Service (SCS) untuk daerah aliran Sungai Cibeeb, yang menggambarkan hubungan antara debit aliran terhadap waktu pada berbagai kala ulang hujan, termasuk kondisi ekstrim Probable Maximum Flood (PMF). Grafik ini digunakan untuk menganalisis besarnya debit rencana yang menjadi acuan dalam perencanaan kapasitas spillway Bendungan Cibeeb.

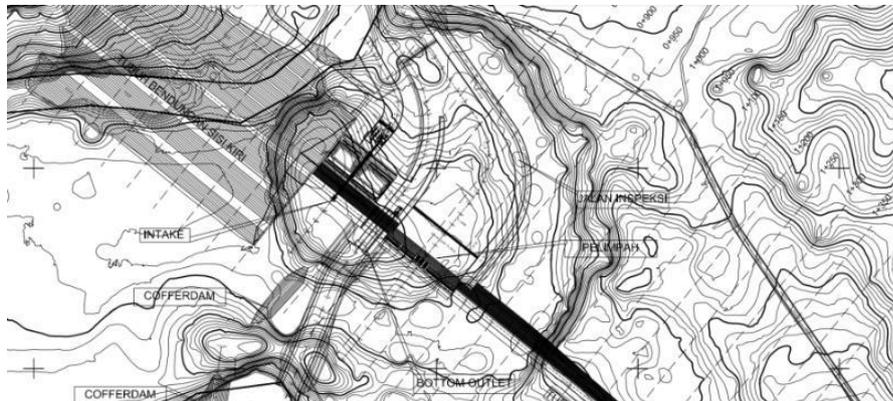


Gambar 4.3. Grafik Banjir Rancangan

4.2 Data Topografi

4.2.1 Peta Tampak Rencana Spillway

Spillway direncanakan dibangun di antara bendungan RCC dan terletak pada Tengah bendungan yang dapat dilihat pada gambar dibawah:

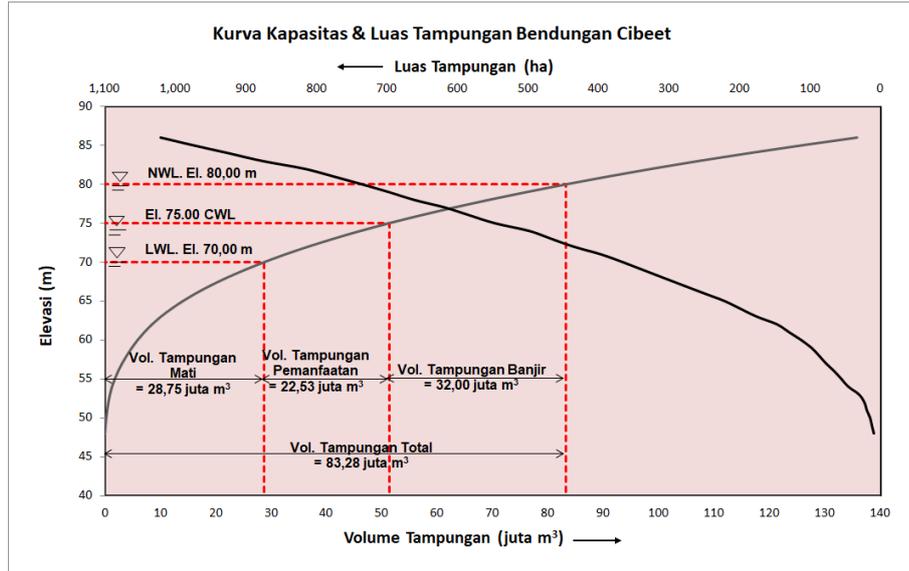


Gambar 4.4. Peta Tampak Rencana Spillway

4.3 Analisa Hidrolika

4.3.1 Data Elevasi Ambang Pelimpah

Ambang Pelimpah bendungan Cibeeet dari hasil penelusuran banjir direncanakan pada elevasi + 80.00 m. Volume waduk pada elevasi + 80.00 m ini adalah 83,28 juta m³ yang merupakan volume total waduk pada elevasi NWL. Kurva kapasitas dan luas tampungan waduk dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini



Gambar 4.5. Kurva Kapasitas dan Luas Tampungan Bendungan Cibeet

Penetapan lebar pelimpah baru tanpa mengubah dimensi dan perhitungan pelimpah berpintu. Lebar ambang pelimpah ditentukan melalui optimasi lebar ambang yang semula direncanakan 100m menjadi 99.50m dengan mempertimbangkan elevasi puncak bending maksimum pada elevasi 86.00.

4.2.2 Penelusuran Banjir

Didapatkan nilai $C_{hitung} = 2,1982$ dimana nilai tersebut memiliki nilai $C_{asumsi} = 2,1982$ dengan $H_d = 2,66$ m dan $a = 0,6$. Selanjutnya dilakukan perhitungan $Q = CLH^{3/2}$ pada setiap kenaikan 20 cm.

Langkah perhitungan dapat dilihat pada contoh dibawah ini:

- a. Menghitung (h/H_d)

$$h = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

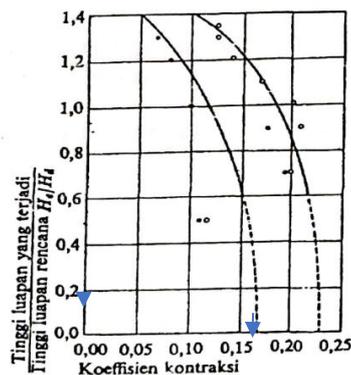
$$H_d = 2,66$$

$$h/H_d = 0,2/2,66$$

$$h/h_d = 0,1$$

- b. Menentukan nilai K_a

Ditentukan berdasarkan grafik hubungan K_a dan h/H_d



Gambar 4.6. Grafik Hubungan K_a dan h/H_d

Didapatkan nilai Ka sebesar 0,17

c. Menghitung lebar efektif (Beff)

$$\begin{aligned} \text{Beff} &= B - 2 \times (nK_p + K_a) \times H \\ \text{Beff} &= 99,50 - 2 \times (0 + 0,17) \times 0,2 \\ \text{Beff} &= 98,43 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Menghitung nilai C

$$C = 1,6 \times \frac{1 + 2 \times a \times (h/H_d)}{1 + a \times (h/H_d)}$$

$$a = 0,6$$

$$C = 1,66$$

e. Menghitung debit (Q)

$$\begin{aligned} Q &= C \times \text{Beff} \times H^{2/3} \\ Q &= 1,66 \times 99,43 \times 0,2^{2/3} \\ Q &= 14,79 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan berturut-turut sampai pada h= 5 m per 0,2 m

Sebelum menghitung Q *outflow*, dilakukan perhitungan hubungan H-S-Q berdasarkan data sekunder Kapasitas Tampungan Waduk. Langkah-langkah perhitungan berdasarkan (buku hidrologi teknik 1995) dapat dilihat pada contoh dibawah ini:

a. Menghitung ΔS

$$\begin{aligned} \Delta S &= S_i - S_{i-1} \\ \Delta S &= 84,160,236.40 - 82,674,830.00 \\ \Delta S &= 1485406.40 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Menghitung $\Delta S/dt$

$$\begin{aligned} \Delta S/dt &= 1485406.40/3600 \\ \Delta S/dt &= 412,61 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

c. Menghitung Q/2

$$\begin{aligned} Q/2 &= Q \text{ pada tabel sebelumnya}/2 \\ Q/2 &= 14,79/2 \\ Q/2 &= 7,40 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

d. Menghitung Ψ

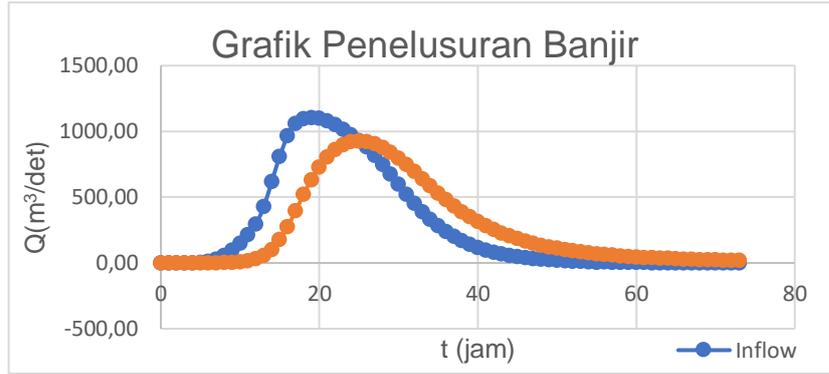
$$\begin{aligned} \Psi &= \Delta S/dt - Q/2 \\ \Psi &= 412,61 - 7,40 \\ \Psi &= 405,22 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

e. Menghitung Φ

$$\begin{aligned} \Phi &= \Delta S/dt + Q/2 \\ \Phi &= 412,61 + 7,40 \\ \Phi &= 420,01 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan sampai pada h= 5m dengan kenaikan h setiap 0,2 m.

Dari Hitungan didapatkan grafik penelusuran banjir yang dapat dilihat ada gamabr sebagai berikut:



Gambar 4.7. Grafik Penelusuran Banjir

Didapatkan nilai h_d tertinggi = 2,66, maka perhitungan *freeboard* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{freeboard} &= \text{Elv. top bendungan} - \text{Elv. Muka air banjir} \\ \text{freeboard} &= 86 - 82,66 \\ \text{freeboard} &= 3,34 \text{ m} > 1,25 \text{ m} \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *freeboard* sebesar 3,34 meter, nilai ini lebih besar dari batas minimum yang disyaratkan yaitu 1,25 meter, sehingga dapat disimpulkan bahwa *freeboard* bendungan dalam kondisi aman.

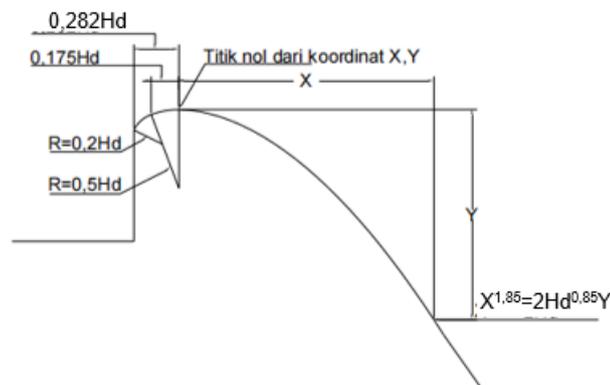
4.3 Analisis Stabilitas Hidrolis

4.3.1 Bentuk Ambang Pelimpah

Dari persamaan Harrold dengan $H_d = 2.66$ m maka didapatkan persamaan baru yaitu sebagai berikut:

$$Y = 0,218 X^{1,85} \quad (6)$$

$$Y' = 0,403 X^{0,85}$$



Gambar 4.8. Persamaan Perencanaan Mercu Spillway

Dari persamaan lengkung Harrold dan dengan kemiringan rencana 1: 0.85 maka didapatkan nilai perhitungan sebagai berikut:

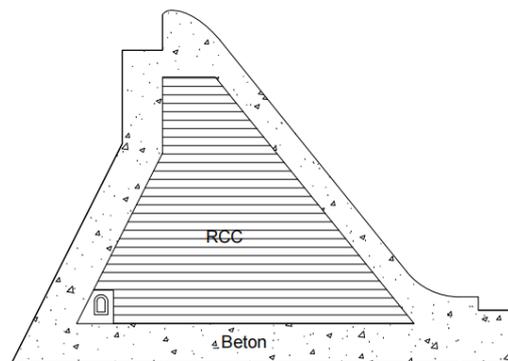
- a. Hasil perhitungan berikutnya ditabelkan seperti pada tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Pehitungan Koordinat Mercu Spillway

X	Y
0,500	-0,060
1,000	-0,218
1,500	-0,461
2,000	-0,785
2,500	-1,186
3,000	-1,662
3,500	-2,210
3,529	-2,244

Sumber: Penulis, (2025)

- b. Menghitung jari-jari dan jarak top mercu *spillway* arah -X
- | | |
|---|--|
| $R1 = 0,5 Hd$
$R1 = 0,5 \times 2,66$
$R1 = 1,330 \text{ m}$
$Jarak_{R1} = 0,175 Hd$
$Jarak_{R1} = 0,175 \times 22,66$
$Jarak_{R1} = 0.465 \text{ m}$ | $R2 = 0,2 Hd$
$R2 = 0,2 \times 2,66$
$R2 = 0,532 \text{ m}$
$Jarak_{R2} = 0,282 Hd$
$Jarak_{R2} = 0,282 \times 2,66$
$Jarak_{R2} = 0,750 \text{ m}$ |
|---|--|
- c. Saluran dengan kemiringan 1:0,85 digambar sampai pada elevasi 58,50m berdasarkan perencanaan yang ada pada data sekunder. Koordinat perpotongan antara lengkung dan kemiringan 1: 0,85 adalah X = 3,529 dan Y = -2,244. Setelah nya dilakukan penggambaran bentuk *spillway* sebagai berikut:



Gambar 4.9. Perencanaan Spillway

4.4 Analisa Stabilitas Spillway

4.4.1 Analisa Stabilitas Sruktur Spillway

Pada muka air kosong $h_{air} = 0 \text{ m}$, Muka air normal $h_{air} = 22,5 \text{ m}$, pada Muka air banjir $h_{air} = 25,16 \text{ m}$ Untuk menghitung stabilitas struktur digunakan beban-beban seperti,

- a. Berat struktur beton (W_{Beton}) = 614.42 ton

- b. Berat struktur RCC (W_{RCC}) = 601,17 ton
- c. Tekanan Tanah Pasif (P_a) = -12,1041 ton
- d. Tekanan Tanah Aktif (P_p) = 52,8 ton
- e. Berat beban air vertikal (P_w)
 - Normal = 253,125 ton
 - Banjir = 137,23 ton
- f. Berat beban air horizontal (P_h)
 - Normal = 110,63 ton
 - Banjir = 253,125 ton
- g. Momen *Uplift* (P_u)
 - Normal = -7666,294 ton.m
 - Banjir = -8188,757 ton.m

Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Guling Geser

No	Tinjauan	FK Geser			FK Guling		
		Syarat	FK	Ke t	Syarat	FK	Ke t
1	Muka Air Kosong	1,5	47,892	O K	1,5	285,058	O K
2	Muka Air Normal	1,5	5,951	O K	1,5	7,285	O K
3	Muka Air Banjir	1,5	5,969	O K	1,5	7,400	O K
4	Muka Air Kosong dengan Gempa	1,2	5,863	O K	1,2	9,813	O K
5	Muka Air Normal dengan Gempa	1,2	2,986	O K	1,2	3,938	O K
6	Muka Air Banjir dengan Gempa	1,2	2,995	O K	1,2	4,000	O K

Sumber : Penulis, (2025)

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa struktur spillway memenuhi syarat stabilitas geser dan guling dalam seluruh kondisi muka air, baik tanpa maupun dengan gempa, sehingga dinyatakan aman

4.4.2 Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah menggunakan persamaan Terzaghi dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 4.3 Parameter Perhitungan Daya Dukung Tanah

Keterangan	Nilai	Satuan
Sudut geser dalam	30	derajat
Kohesi	200	kPa
Berat jenis tanah	22	kN/m ³
Lebar pondasi	99.5	m
Panjang pondasi	37.5	m
Faktor keamanan	3	

Sumber : BBWS, (2021)

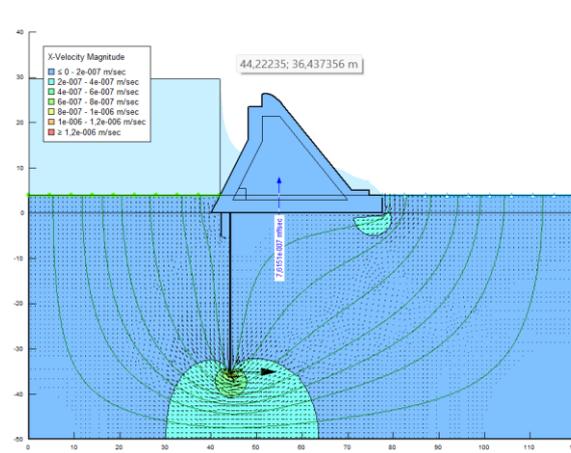
Dari data diatas diketahui sudut geser dalam sebesar 30° maka didapatkan nilai N dari tabel hubungan sudut geser dengan N sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_c &= 37,2 \\ N_q &= 22,5 \\ N_\gamma &= 19,7 \end{aligned}$$

Daya dukung tanah aktual (q_{aktual}) pada kondisi muka air kosong, normal, dan banjir masing-masing adalah $32,416 \text{ kN/m}^2$, $35,366 \text{ kN/m}^2$, dan $36,075 \text{ kN/m}^2$. Nilai-nilai ini semuanya lebih kecil dari daya dukung izin (q_{izin}) sebesar $1049,222 \text{ kN/m}^2$, sehingga seluruh kondisi dinyatakan aman terhadap daya dukung tanah.

4.4.2 Analisa Rembesan Muka Air Banjir

Analisis rembesan pada muka air normal dilakukan dengan bantuan GeoStudio SEEP/W untuk mengetahui arah dan panjang aliran



Gambar 4.10. Rembesan Pada Muka Air Banjir

Diperoleh nilai $K = 1 \times 10^{-5}$ dan $Q = 7,6151 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$ sehingga masih aman karena masih kurang dari $0,14 \text{ m}^3/\text{dt}$ (Look,2007). Selain itu, persyaratan panjang rembesan masih memenuhi dimana bernilai 2,74 yang melebihi $Cw = 2,62$.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Desain spillway Bendungan Cibeet ditinjau kembali dengan mempersempit lebar ambang sebesar 0,5 m, yang menyebabkan kenaikan tinggi energi air (H_d) sebesar 2 cm menjadi 2,66 m, namun tetap memenuhi kriteria hidrolika untuk tipe Mercu Ogee.
2. Spillway tetap aman terhadap guling, geser, dan rembesan pada kondisi muka air kosong, normal, maupun banjir, dengan nilai $SF > 1,5$ (tanpa gempa) dan $> 1,2$ (dengan gempa).
3. Desain baru tidak menurunkan tingkat keamanan dan memberikan efisiensi sehingga layak diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2016a). SNI 8065: Metode analisis dan cara pengendalian rembesan air untuk bendungan tipe urugan. Badan Standarisasi Nasional.

- Badan Standarisasi Nasional. (2016b). Tata cara perhitungan debit banjir rencana (pp. 1–4). Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik SNI 8460:2017 (No. 8460, pp. 1–5). Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). Tata cara penetapan banjir desain dan kapasitas pelimpah untuk bendungan (SNI 3432:2020). Badan Standarisasi Nasional.
- Bambang, T. (2008). Hidrologi terapan.
- Bendungan, B. (2014). Perencanaan bendungan. Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, 1, 13–14.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2013). KP02 - Bangunan utama.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). Perencanaan bangunan utama (bendung). Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar, 1–155.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017a). Modul operasi waduk pelatihan alokasi air. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017a). Modul operasi waduk pelatihan alokasi air. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017b). Modul perhitungan hidrologi pelatihan perencanaan bendungan tingkat dasar, 148 hlm.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Modul penyusunan rencana anggaran biaya perencanaan proyek.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Modul 11 geoteknik pelatihan perencanaan bendungan tingkat dasar. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Look, B. G. (2007). Handbook of geotechnical investigation and design tables. Taylor & Francis.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (2003). Hidrologi untuk pengairan.
- Syarizka, D., & Jati, Y. W. (2016). Bangun 49 bendungan, pemerintah butuh SDM mumpuni. Bisnis.com.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). Atasi banjir di Kabupaten Bekasi dan Karawang, Kementerian PU bangun Bendungan Cibeet dan Cijuray di Kabupaten Bogor.