

ALTERNATIF DESAIN COFFERDAM PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN BOGOR PROVINSI JAWA BARAT

**Guruh Agpih Sugara¹, Ekodjati Tunggulgeni², Sayed
Ahmad Fauzan³, Ricky Harianja⁴, Suprayogi⁵,
Reivica Auliarachman⁶, Arga Dwi Jalu⁷**

167Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan,
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

2345Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas
Pertahanan Republik Indonesia

guruhagpih@gmail.com¹, ekodjati2463@gmail.com², sayed.fauzan@idu.ac.id³,
rickyharianja.ce@gmail.com⁴, suprayogi0463@gmail.com⁵,
pj28airforce@gmail.com⁶, argadwijalu@gmail.com⁷

SUBMITTED 12 MEI 2025 REVISED 8 JULI 2025 ACCEPTED 22 JULI 2025

ABSTRACT

Cijurey Dam Package 1 is a strategic project located in Bogor Regency, West Java, aimed at flood control, providing raw water at a rate of 0.71 m³/second, irrigating an area of 2,047 hectares, and generating electricity through a hydropower plant with a capacity of 2×0.5 MW. One of the critical aspects of the dam's construction is the design of the cofferdam, which serves to protect the work area from river flow during construction. This temporary structure must be designed with consideration for hydraulic factors, stability against floods and earthquakes, and overall efficiency. This study reevaluates the cofferdam design using slope stability analysis supported by Geostudio software. The results indicate that the redesigned structure is more efficient without compromising safety.

Keywords: *cijurey dam, cofferdam design, slope stability analysis.*

ABSTRAK

Bendungan Cijurey Paket 1 merupakan proyek strategis di Kabupaten Bogor, Jawa Barat, yang bertujuan untuk pengendalian banjir, penyediaan air baku sebesar 0,71 m³/detik, irigasi lahan seluas 2.047 hektar, serta pembangkitan listrik melalui PLTA berkapasitas 2×0,5 MW. Salah satu aspek penting dalam pembangunan bendungan ini adalah perancangan *cofferdam*, yang berfungsi melindungi area kerja dari aliran sungai selama konstruksi berlangsung. Struktur sementara ini harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek hidrolik, stabilitas terhadap banjir dan gempa, serta efisiensi. Penelitian ini melakukan evaluasi ulang desain *cofferdam* menggunakan analisis stabilitas lereng berbantuan perangkat lunak Geostudio. Hasilnya menunjukkan bahwa desain ulang lebih efisien tanpa mengurangi aspek keamanannya.

Kata Kunci: *analisis stabilitas lereng, bendungan cijurey, desain cofferdam.*

1. PENDAHULUAN

Bendungan merupakan struktur rekayasa yang dirancang secara kokoh untuk menahan dan menyimpan air, sehingga memungkinkan pengelolaan sumber daya air sesuai kebutuhan (Rofikha et al., 2019). Pembangunan bendungan memiliki beragam tujuan, seperti penyediaan air baku, irigasi pertanian, pengendalian banjir, dan bahkan pembangkit tenaga listrik melalui PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) (PUPR, 2011). Salah satu isu penting yang mendorong pembangunan bendungan adalah banjir di wilayah hilir Sungai Citarum yang menjadi perhatian khusus di Provinsi Jawa Barat. Selain itu, pertumbuhan penduduk yang pesat

berdampak pada meningkatnya kebutuhan pangan. Untuk menjamin ketersediaan air irigasi, terutama saat musim kemarau, diperlukan infrastruktur penyimpanan air yang memadai. Di sisi lain, kawasan industri di Jonggol, Kabupaten Bogor, juga menuntut pasokan air baku yang semakin besar guna mendukung proses industri yang berkembang.

Dalam proses pembangunan bendungan, pengelolaan aliran sungai menjadi aspek krusial agar pekerjaan konstruksi tidak terganggu oleh air sungai (Kementerian PUPR, 2017). Adapun tujuan dari studi perencanaan alternatif desain *cofferdam* proyek pembangunan Bendungan Cijurey, Kabupaten Bogor, adalah mendapatkan desain kaji ulang rekayasa *cofferdam* yang memenuhi stabilitas keamanan hidrolis dan kelongsoran dan mendapatkan desain kaji ulang rekayasa *cofferdam* yang lebih efisien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010 Pasal 1, bendungan adalah struktur yang terbuat dari urukan tanah, batu, beton, atau pasangan batu untuk menahan dan menyimpan air, serta dapat digunakan untuk menampung limbah tambang atau lumpur.

Bendungan urugan dibangun dengan menumpuk material seperti batu dan pasir untuk menahan atau menaikkan muka air waduk. *Cofferdam* adalah struktur sementara yang dibangun untuk melindungi area konstruksi dari air dengan menjaga agar lokasi tetap kering. Fungsi utama *cofferdam* adalah mengurangi tekanan air yang dapat mempengaruhi kestabilan konstruksi. *Cofferdam* dapat terbuat dari berbagai material seperti baja, beton, atau urugan, yang disesuaikan dengan kondisi hidrologi dan geoteknik (Kementerian PUPR, 2013). Struktur ini penting untuk memastikan kelancaran dan keamanan proyek konstruksi di sungai.

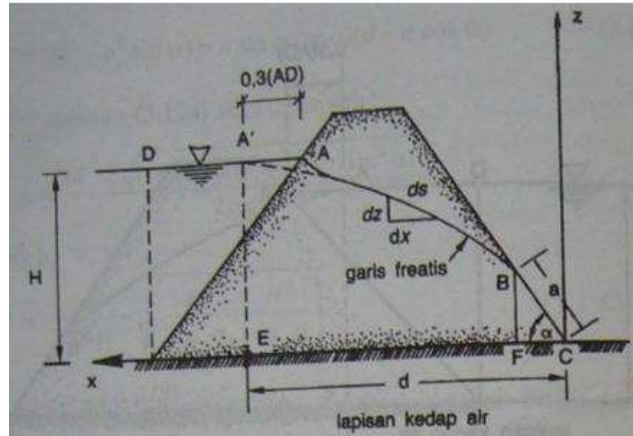
2.2 Nilai *Safety Factor* (SF) Terhadap Kestabilan Lereng

Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan berdasarkan SNI 8046 Tahun 2016, yang berisi pedoman untuk memastikan kestabilan lereng agar aman dari longsor. Pemilihan nilai faktor keamanan mempertimbangkan jenis batuan, kemiringan lereng, serta risiko lingkungan yang dapat mempengaruhi kestabilan.

2.3 Analisis Rembesan Air

a. Debit Rembesan dengan Metode Casagrande

Model numerik (PC SEEP, SEEP/W) Casagrande (1937) mengusulkan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang didasarkan pada pengujian model. Pada Gambar 1 di bawah ini merupakan model perhitungan rembesan yang digunakan oleh Casagrande.



Gambar 1 Hitungan rembesan cara Casagrande

Sumber: Hardiyatmo, 2002

Berikut ini adalah rumus menghitung debit rembesan bendungan menurut Casagrande.

$$q = k \cdot a \cdot \sin^2 \alpha$$

$$q = \sqrt{(d^2 + H^2 - \sqrt{d^2 - H^2} \times \cot^2 \alpha}$$

Keterangan:

q = debit rembesan (m^3/det)

k = koefisien permeabilitas (m/det)

α = sudut hilir tanggul ($^\circ$)

d = jarak horizontal antara E dan C (m)

a = panjang zona basah (m)

H = tinggi muka air (m)

2.4 Faktor Keamanan Rembesan

Berdasarkan SNI 8065:2016 faktor keamanan rembesan biasanya dinyatakan sebagai perbandingan antara gradien kritis (I_c) dan komponen vertikal dari gradien aliran yang keluar. Nilai gradien ini dapat diperoleh melalui perhitungan teoritis atau pengukuran langsung menggunakan instrumen piezometer di lapangan. Perhitungan gradien dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$I_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \geq 4$$

$$I_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

Keterangan:

FK = faktor keamanan (tanpa dimensi)

Ic = gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrumen piezometer (tanpa dimensi)

Ie = gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrumen piezometer (tanpa dimensi)

γ' = berat volume efektif (terendam) (t/m^3)

γ_w = berat volume air (t/m^3)

Gs = gravity spesifik (tanpa dimensi)

e = angka pori (tanpa dimensi)

2.5 Penentuan Koefisien Gempa

Dalam menentukan percepatan puncak di permukaan tanah dan menggunakan hasil peta adalah dengan mengalikan free-field Peak Ground Acceleration (FPGA) dengan besar percepatan puncak di batuan dasar (SB) atau besar Surface Peak Ground Acceleration (SPGA) tertentu. Kelas situs tanah di Bendungan Cijurey ditentukan Universitas Pertahanan Republik Indonesia 88 berdasarkan nilai rerata N-value Standard Penetration Test (NSPT) yang mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Klasifikasi jenis tanah yang digunakan untuk menentukan FPGA dapat dilihat pada SNI 1726:2019.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

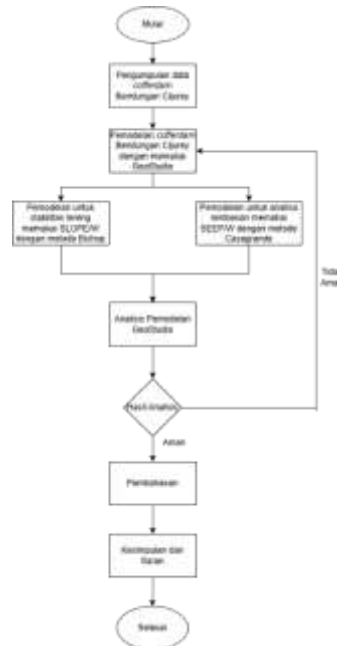
Lokasi penelitian berada di Desa Sukadamai, Kecamatan sukamakmur, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Rencana poros Bendungan Cijurey terletak di daerah Udit Sungai Cihoe, pada koordinat 107°04'54,30" Bujur Timur (BT) dan 06°33'21,50" Lintang Selatan (LS). Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Proyek Bendungan Cijurey
 Sumber: BBWS Citarum, 2021

3.2 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dapat ditinjau melalui diagram alur penelitian berikut ini.

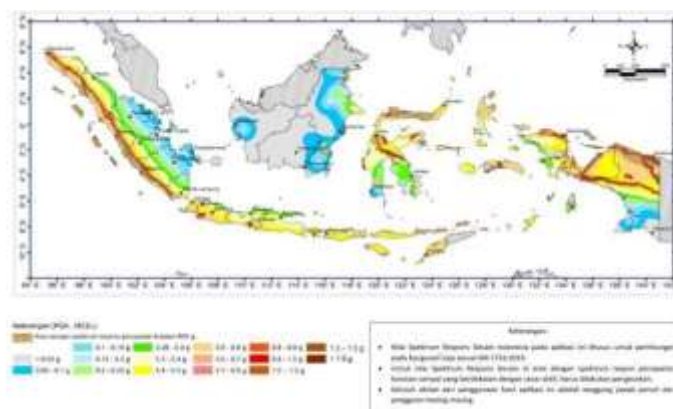


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian
 Sumber: Data Penelitian, 2025

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Koefisien Gempa

Proses perhitungan beban gempa ini dilakukan berdasarkan nilai koefisien yang terdapat pada peta gempa, disesuaikan dengan jenis gempa OBE (Gambar 4).



Gambar 4. Peta Gempa Indonesia
 Sumber: Kementerian PUPR, 2025

Dilakukan perhitungan menggunakan rumus berdasarkan SNI 1726:2019 seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{PGA} &= 0,4g \\
 \text{Kelas situs} &= \text{SC} \\
 \text{F}_{\text{PGA}} &= 1,2 \\
 \text{PSA (a}_{\text{max}}) &= \text{PGA} \times \text{F}_{\text{PGA}} \\
 \text{PSA (a}_{\text{max}}) &= 0,48 \\
 \text{Percepatan horizontal (k}_h) &= 0,5 \times 0,48 = 0,24
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut koefisien gempa Operating Base Earthquake (OBE) yang digunakan sebagai dasar perencanaan adalah sebesar 0,24.

4.2 Analisis Stabilitas Struktur Cofferdam dengan SLOPE/W

Berikut di bawah ini adalah tabel rekapitulasi analisis stabilitas lereng desain awal dan desain kaji ulang cofferdam hulu dan cofferdam hilir.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil analisis stabilitas lereng desain awal cofferdam hulu

SITUASI	PEMODELAN	U/D	TANPA GEMPA			PEMODELAN	U/D	GEMPA OBE		
			SF	SYARAT	STATUS			SF	SYARAT	STATUS
AIR WADUK KOSONG	Existing	U	2,879	1,3	Aman	Existing	U	2,296	1,2	Aman
		D	2,880	1,3	Aman		D	2,293	1,2	Aman
	A1	U	2,856	1,3	Aman	C1	U	2,095	1,2	Aman
		D	2,858	1,3	Aman		D	2,097	1,2	Aman
	A2	U	2,833	1,3	Aman	C2	U	2,081	1,2	Aman
		D	2,834	1,3	Aman		D	2,082	1,2	Aman
	A3	U	2,809	1,3	Aman	C3	U	2,066	1,2	Aman
		D	2,810	1,3	Aman		D	2,067	1,2	Aman
	Existing	U	2,725	1,5	Aman	Existing	U	1,513	1,2	Aman
		D	2,846	1,5	Aman		D	1,879	1,2	Aman
AIR WADUK BANJIR	B1	U	2,716	1,5	Aman	D1	U	1,260	1,2	Aman
		D	2,830	1,5	Aman		D	1,622	1,2	Aman
	B2	U	2,705	1,5	Aman	D2	U	1,251	1,2	Aman
		D	2,818	1,5	Aman		D	1,612	1,2	Aman
	B3	U	2,684	1,5	Aman	D3	U	1,247	1,2	Aman
		D	2,807	1,5	Aman		D	1,597	1,2	Aman

Sumber: Data penelitian, 2025

Tabel 2. Keterangan pemodelan stabilitas lereng desain awal *cofferdam* hulu

COFFERDAM HULU		
SITUASI	PEMODELAN	KETERANGAN
AIR WADUK KOSONG TANPA GEMPA	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	A1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	A2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	A3	Pengurangan 3 m lebar dasar
AIR WADUK BANJIR TANPA GEMPA	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	B1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	B2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	B3	Pengurangan 3 m lebar dasar
AIR WADUK KOSONG DENGAN GEMPA OBE	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	C1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	C2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	C3	Pengurangan 3 m lebar dasar
AIR WADUK BANJIR DENGAN GEMPA OBE	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	D1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	D2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	D3	Pengurangan 3 m lebar dasar

Sumber: Data penelitian, 2025

Tabel 3. Rekapitulasi hasil analisis stabilitas lereng desain awal *cofferdam* hilir

SITUASI	PEMODELAN	U/D	TANPA GEMPA			PEMODELAN	U/D	GEMPA OBE		
			SF	SYARAT	STATUS			SF	SYARAT	STATUS
AIR WADUK KOSONG	<i>Existing</i>	U	2,498	1,3	Aman	<i>Existing</i>	U	1,991	1,2	Aman
		D	3,505	1,3	Aman		D	2,637	1,2	Aman
	E1	U	2,446	1,3	Aman	G1	U	1,798	1,2	Aman
		D	3,139	1,3	Aman		D	2,211	1,2	Aman
	E2	U	2,939	1,3	Aman	G2	U	1,767	1,2	Aman
		D	3,054	1,3	Aman		D	2,163	1,2	Aman
	E3	U	2,335	1,3	Aman	G3	U	1,730	1,2	Aman
		D	2,978	1,3	Aman		D	2,120	1,2	Aman
	<i>Existing</i>	U	2,504	1,5	Aman	<i>Existing</i>	U	1,672	1,2	Aman
		D	3,524	1,5	Aman		D	2,153	1,2	Aman
		U	2,448	1,5	Aman		U	1,392	1,2	Aman

AIR WADUK BANJIR	F1	D	3,159	1,5	Aman	H1	D	1,683	1,2	Aman
	F2	U	2,393	1,5	Aman	H2	U	1,369	1,2	Aman
		D	3,110	1,5	Aman		D	1,665	1,2	Aman
	F3	U	2,337	1,5	Aman	H3	U	1,344	1,2	Aman
		D	3,082	1,5	Aman		D	1,654	1,2	Aman

Sumber: Data penelitian, 2025

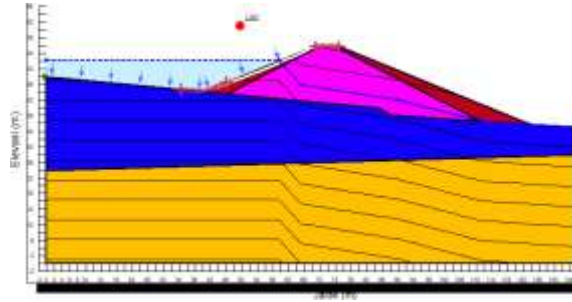
Tabel 4. Keterangan pemodelan stabilitas lereng desain awal *cofferdam* hulu

COFFERDAM HILIR		
SITUASI	PEMODELAN	KETERANGAN
AIR WADUK KOSONG TANPA GEMPA	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	E1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	E2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	E3	Pengurangan 3 m lebar dasar
AIR WADUK BANJIR TANPA GEMPA	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	F1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	F2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	F3	Pengurangan 3 m lebar dasar
AIR WADUK KOSONG DENGAN GEMPA OBE	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	G1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	G2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	G3	Pengurangan 3 m lebar dasar
AIR WADUK BANJIR DENGAN GEMPA OBE	<i>Existing</i>	Lebar dasar kondisi <i>existing</i>
	H1	Pengurangan 1 m lebar dasar
	H2	Pengurangan 2 m lebar dasar
	H3	Pengurangan 3 m lebar dasar

Sumber: Data penelitian, 2025

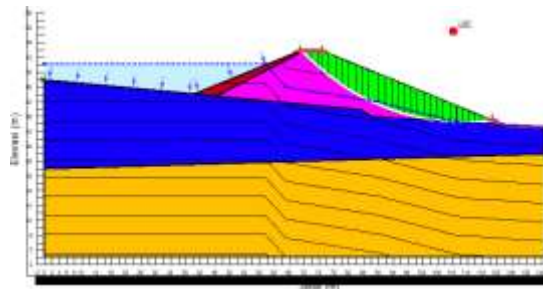
Dari hasil yang diperoleh pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 didapatkan bahwa pada situasi air waduk kosong dan air waduk banjir dalam kondisi aman pada lereng hulu dan lereng hilirnya, baik ketika tidak ada gempa maupun ada gempa Operating Basis Earthquake (OBE). Berdasarkan hasil analisis terhadap stabilitas struktur, *cofferdam* hulu maupun hilir. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pengurangan lebar bawah *cofferdam* sebesar tiga meter

merupakan alternatif desain yang paling optimal tanpa mengurangi aspek keamanan. Perubahan dimensi ini menghasilkan desain yang lebih efisien dari segi volume material dan biaya, namun tetap memenuhi kriteria keamanan teknis berdasarkan hasil analisis yang dilakukan. Berikut adalah desain kaji ulang *cofferdam* hulu dan *cofferdam* hilir yang paling efisien.



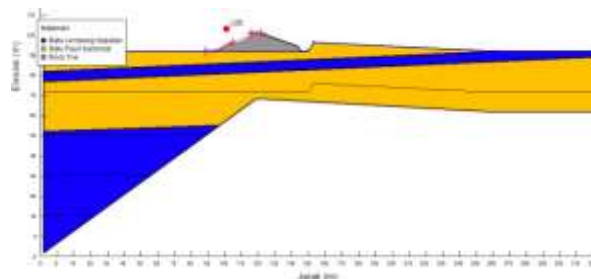
Gambar 5. Stabilitas lereng hulu *cofferdam* hulu kaji ulang D3 Bendungan Cijurey kondisi air waduk banjir Q_{50Th} dengan koefisien gempa OBE FK 1,247 > 1,20 (aman)

Sumber: Data Penelitian, 2025



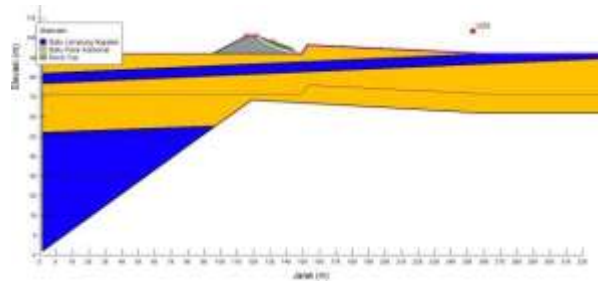
Gambar 6. Stabilitas lereng hilir *cofferdam* hulu kaji ulang D3 Bendungan Cijurey kondisi air waduk banjir Q_{50Th} dengan koefisien gempa OBE FK 1,597 > 1,20 (aman)

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 7. Stabilitas lereng hulu *cofferdam* hilir kaji ulang H3 Bendungan Cijurey kondisi air waduk banjir Q_{50Th} dengan koefisien gempa OBE FK 1,344 > 1,20 (aman)

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 8. Stabilitas lereng hilir *cofferdam* hilir kaji ulang H3 Bendungan Cijurey kondisi air waduk banjir Q_{50Th} dengan koefisien gempa OBE FK 1,654 > 1,20 (aman)

Sumber: Data Penelitian, 2025

4.3 Analisis Keamanan Hidrolis

Cofferdam merupakan struktur sementara yang dirancang untuk mengalihkan aliran sungai atau menutup area kerja tertentu selama proses konstruksi bendungan utama berlangsung. Fungsi utama dari *cofferdam* adalah menciptakan lingkungan kerja yang kering dan aman dari gangguan aliran sungai. Dalam perancangannya, tinggi bendungan pengelak harus direncanakan secara integratif dengan dimensi bukaan terowongan atau conduit pengelak, agar tercapai kondisi optimal baik dari segi keamanan konstruksi maupun efisiensi ekonomi.

Berikut ini adalah perencanaan Tinggi *cofferdam* Hulu Q_{50Th} berdasarkan data sekunder yang diperoleh (BBWS Citarum, 2021):

Flood water level, Q_{50Th}	=	254,16	m dpl
Elevasi dasar Sungai di lokasi <i>Cofferdam</i>	=	235,35	m dpl
Tinggi jagaan (Hf)	=	2,00	m
H maks dari dasar Sungai (H_{max})	=	2,16	m
Desain elevasi puncak <i>cofferdam</i>	=	256,16	m dpl
		256,00	m dpl

Berikut ini adalah perencanaan Tinggi *cofferdam* hilir Q_{50Th} berdasarkan data sekunder yang diperoleh (BBWS Citarum, 2021):

Debit desain <i>outflow</i> (<i>Flood Routing 1</i> Konduit)	=	230,78	m^3/det
Flood water level, Q_{50Th}	=	214,62	m dpl
Tinggi jagaan	=	14,38	m
Desain elevasi puncak <i>cofferdam</i>	=	229,00	m dpl

4.4 Analisis Keamanan Rembesan Manual

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode Casagrande pada kondisi muka air banjir *cofferdam* dengan panjang *cofferdam* sebesar 133,5 m dihitung sebagai berikut.

$$H_{\text{hulu}} = 7,860 \text{ m}$$

$$H_{\text{hulu}}^2 = 61,780 \text{ m}$$

$$\alpha = 19^\circ$$

$$\tan \alpha = 0,344$$

$$\cot^2 \alpha = 8,434$$

$$\sin \alpha = 0,326$$

$$\sin^2 \alpha = 0,106$$

$$k = 1,29\text{E-}07 \text{ m/det}$$

$$d = 70,35 \text{ m}$$

$$d^2 = 4949,123 \text{ m}$$

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2) - \sqrt{d^2 - H^2 \times \cot^2 \alpha}}$$

$$a = \sqrt{(4949,123 + 61,78) - \sqrt{(4949,123 - (61,78 \times 8,434))}}$$

$$a = 4,244 \text{ m}$$

$$Q_{\text{total}} = k \times a \times \sin^2 \alpha \times \text{panjang bendungan}$$

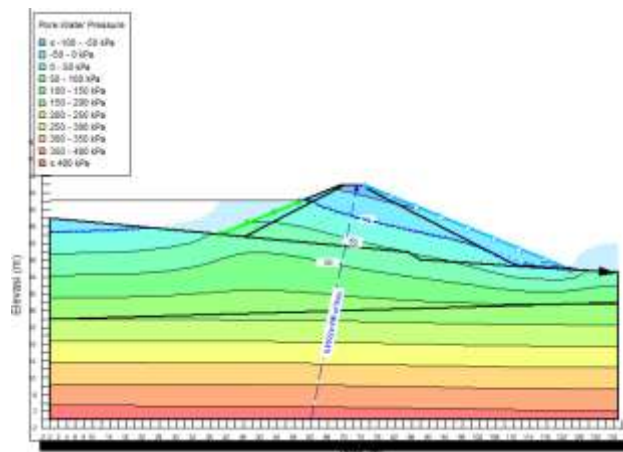
$$= 1,29\text{E} - 07 \times 4,244 \times 0,106 \times 133,5$$

$$= 7,75 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$$

$$= 7,75 \times 10^{-3} \text{ l/det} < 3,32 \times 10^{-1} \text{ l/det (Aman)}$$

Maka diperoleh hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir sebesar $7,75 \times 10^{-3}$ liter/detik ($< 3,312 \times 10^{-1}$ liter/detik) dinyatakan aman karena kurang dari Q_{ijin} rembesan berdasarkan (Look, 2007).

4.4 Analisis Keamanan Rembesan dengan SEEP/W



Gambar 9. Hasil analisis rembesan dengan SEEP/W kondisi muka air banjir
 Sumber: Data Penelitian, 2025

Berdasarkan hasil pemodelan SEEP/W pada Gambar 9. diketahui nilai debit rembesan sebesar $6,802 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det} = 6,802 \times 10^{-3} \text{ l/det}$ ($< 3,312 \times 10^{-1} \text{ liter/detik}$) dalam kondisi aman berdasarkan (Look, 2007). Gradien hidrolik digunakan untuk mengevaluasi keamanan terhadap bahaya piping yang terjadi pada *cofferdam*. Diperoleh beberapa data dari data sekunder BBWS Citarum tahun 2021 (Gs dan e). Perhitungan rembesan berdasarkan gradien hidrolik pada *cofferdam* hulu menurut SNI 8065:2016 didapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) rembesan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} G_s &= 2,65 \\ e &= 0,529 \\ I_{\text{exit}} &= \frac{7,86}{70,35} \\ &= 0,112 \\ I_c &= \frac{2,65-1}{1+0,529} \\ &= 1,079 \\ FK &= 1,079/0,112 \\ &= 9,659 > 4 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan melakukan analisis stabilitas dan analisis rembesan, pada *Cofferdam* Bendungan Cijurey didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisa stabilitas stuktur, analisa hidrolis, dan analisa rembesan pada *cofferdam* hulu dan *cofferdam* hilir, kaji ulang dimensi yang paling efisien adalah kaji ulang dimensi dengan pengurangan tiga meter lebar bawah *cofferdam*. Desain baru *cofferdam* hulu yang paling efisien yaitu dengan lebar atas (6 m) dan tinggi (24 m) yang sama dengan desain awal, lebar maksimal bawah *cofferdam* hulu berkurang menjadi 123 m, dan kemiringan 1:2,438. Sedangkan, desain baru *cofferdam* hilir yang paling efisien yaitu dengan lebar atas (6m) dan tinggi (14,4 m) yang sama dengan desain awal, lebar maksimal bawah *cofferdam* hilir berkurang menjadi 57 m, dan kemiringan lereng upsteream 1:2,333 serta lereng downstream 1:3,333.
2. Stabilitas lereng *Cofferdam* Hulu Bendungan Cijurey pemodelan kaji ulang dimensi pengurangan tiga meter lebar bawah *cofferdam* menggunakan GeoStudio pada kondisi muka air waduk kosong memiliki nilai Faktor

- Keamanan (FK) lereng hulu tanpa adanya beban gempa sebesar $2,809 > 1,3$ (Aman), dengan beban gempa Operating Basis Earthquake (OBE) nilai Faktor Keamanan sebesar (FK) $2,066 > 1,2$ (Aman). Sedangkan untuk nilai Faktor Keamanan (FK) stabilitas lereng hilir tanpa adanya gempa memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $2,810 > 1,3$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $2,067 > 1,2$ (Aman).
3. Stabilitas lereng *Cofferdam* Hilir Bendungan Cijurey pemodelan kaji ulang dimensi pengurangan tiga meter lebar bawah *cofferdam* menggunakan GeoStudio pada kondisi muka air waduk kosong memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) lereng hulu tanpa adanya beban gempa sebesar $2,335 > 1,3$ (Aman), dengan beban gempa Operating Basis Earthquake (OBE) nilai Faktor Keamanan sebesar (FK) $1,730 > 1,2$ (Aman). Sedangkan untuk nilai Faktor Keamanan (FK) stabilitas lereng hilir tanpa adanya gempa memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $2,978 > 1,3$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $2,120 > 1,2$ (Aman).
 4. Stabilitas lereng *Cofferdam* Hulu Bendungan Cijurey pemodelan kaji ulang dimensi pengurangan tiga meter lebar bawah *cofferdam* menggunakan GeoStudio pada kondisi muka air waduk banjir Q50Th memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) lereng hulu tanpa adanya beban gempa sebesar $2,684 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa Operating Basis Earthquake (OBE) nilai Faktor Keamanan sebesar (FK) $1,247 > 1,2$ (Aman). Sedangkan untuk nilai Faktor Keamanan (FK) stabilitas lereng hilir tanpa adanya gempa memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $2,807 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $1,597 > 1,2$ (Aman).
 5. Stabilitas lereng *Cofferdam* Hilir Bendungan Cijurey pemodelan kaji ulang dimensi pengurangan tiga meter lebar bawah *cofferdam* menggunakan GeoStudio pada kondisi muka air waduk banjir Q50Th memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) lereng hulu tanpa adanya beban gempa sebesar $2,337 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa Operating Basis Earthquake (OBE) nilai Faktor Keamanan sebesar (FK) $1,344 > 1,2$ (Aman). Sedangkan untuk nilai Faktor Keamanan (FK) stabilitas lereng hilir tanpa adanya gempa memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $3,082 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar $1,654 > 1,2$ (Aman).
 6. Berdasarkan hasil analisa rembesan *cofferdam* hulu menggunakan perhitungan manual metode Casagrande sebesar $7,75 \times 10^{-3}$ l/detik, sedangkan dengan SEEP/W sebesar $6,802 \times 10^{-3}$ l/det. Kedua nilai debit rembesan tersebut dinyatakan aman karena tidak melebihi Qijin ($< 3,312 \times 10^{-1}$ liter/detik). Lalu, nilai Faktor Keamanan (FK) rembesan diperoleh sebesar $9,658 > 4$ (Aman) sesuai dengan (Kementerian PUPR, 2017).
- 5.2. Berdasarkan hasil analisa Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada kaji ulang desain (Pengurangan tiga meter lebar bawah) *cofferdam* hulu dan *cofferdam* hilir, terdapat pengurangan volume material random tanah, rip-rap, dan rock toe yang menghasilkan penghematan biaya yang signifikan. Kaji ulang desain

cofferdam hulu dan *cofferdam* hilir menghasilkan optimasi volume material, yang berdampak pada efisiensi biaya pembangunan sebesar 2,29%.

5.3. Saran

Berdasarkan Kesimpulan yang telah dipaparkan di atas maka dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Meskipun analisis rembesan pada *cofferdam* menunjukkan hasil yang aman, perlu dilakukan pemantauan secara berkala terhadap kondisi muka air dan potensi perubahan kondisi hidrologi di masa mendatang untuk memastikan keamanan jangka panjang.
2. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengeksplorasi metode konstruksi alternatif atau material lain yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk pembangunan *cofferdam*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfred R. Golze. (1977). *Handbook of DAM Engineering*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Urugan (SNI 8062-2015)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 8064:2016 Tentang Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 8065: Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan. Badan Standarisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Tata cara perhitungan debit banjir rencana. Badan Standarisasi Nasional, 1–4*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik. In Standar Nasional Indonesia (Vol. 8460)*.
- Bambang Triatmodjo. (1993). *HIDRAULIKA 1*.
- Budiman Arief. (1999). *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Vol. II (Analisis Hidrologi)*. In *Departemen Pekerjaan Umum (Vol. 2)*.
- Chow, V. Te. (1959). *Open–Channel Hydraulics*.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. In *Applied Hydrology*.
- Direktorat Jenderal Pengairan Departemen Pekerjaan Umum. (1999). *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume III Tentang Desain Pondasi dan Tubuh Bendungan*.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2003). *Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan*.
- FEMA. (2011). *Filters for Embankment Dams Best Practices for Design and Construction*.
- Hadiyatmono, H. cristady. (2006). *Mekanika Tanah I: untuk tanah endapan dan residu*.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I Jilid III*. Gadjah Mada University Press, 1.
- Hiben, M. (2021). *Supervision Enterprise. December*.
- Kementerian PUPR. (2005). *Pedoman Pengendalian Rembesan pada Bendungan Urugan*.
- Kementerian PUPR. (2013). *KP02-BangunanUtama*.

- Kementerian PUPR. (2016). *Perencanaan Bangunan Utama (Bendung) Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar*. 1–155.
- Kementerian PUPR. (2017). Modul Analisa Stabilitas Bendungan: Perhitungan Stabilitas Lereng. Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. *Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat*.
- Kementerian PUPR. (2017). *Modul perhitungan hidrologi pelatihan perencanaan bendungan tingkat dasar 2017*. Pusat Pelatihan dan Pendidikan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Kementerian PUPR. (2017). Modul 8 Desain Bangunan Pelengkap Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Pusat Sumber, Pelatihan Air Dan Daya Konstruksi, 25–55.
- Kementerian PUPR. (2023). *Peraturan Menteri PUPR Nomor 8 Tahun 2023*. 683.
- Kementerian PUPR. (2011). Perencanaan dan Pelaksanakan Bendungan Beton Padat Gilas.
- Look, B. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables.
- Punmia, B. C. (2006). SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS. In *Advanced Construction Technology*.
- Robin Fell. (2005). *GEOTECHNICAL ENGINEERING OF DAMS*.
- Rofikha, A. A., Marsudi, S., & Cahya, E. N. (2019). Analisis Struktur Terowongan Pengelak Pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatra Utara. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10(1), 28–38.
<https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.01.3>
- Soedibyo, I. (2003). Teknik Bendungan. In *PT. Pradnya Paramita*.
- Soemarto. (1986). *HIDROLOGI TEKNIK*. USAHA NASIONAL.
- Soewarno. (1995). *HIDROLOGI JILID 1 (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data)* (Vol. 1). NOVA.
- Soewarno. (1995). *HIDROLOGI JILID 2 (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data)* (Vol 2). NOVA.
- Sosrodarsono, S. (1994). *Bendungan Type Urugan*. Padnya Paramita.
- Subarkah. (1980). *HIDROLOGI UNTUK PERENCANAAN BANGUNAN AIR*.
- Suripin. (2004). *Drainase Perkotaan*.
- Suyono dan Takeda. (2003). *HIDROLOGI UNTUK PENGAIRAN*.
- Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. *Beta Offset Yogyakarta*, 0–358.
- United States Departement of The Interior. (1999). *DESIGN OF SMALL DAMS*.
- USACE. (2004). *General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams*. In Em 1110-2-2300.
- U.S. Department of the Interioir Bureau of Reclamation. (2011). *Design Standards No. 13 Embankment Dams* (Vol. 24).
- Yoga Wicaksana, C., Suprijanto, H., & Cahya, E. N. (2018). Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Lubuk Ambacang Kecamatan Hulu Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 2(1).