

Stabilitas Bendung Pengelak Pada Bendungan Karedok Sumedang

John Paulus Pantouw¹; Dyah Pratiwi Kusumastuti^{1*}; Alviani Febrisa Rahmadhita¹

1. Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, Jakarta 11750, Indonesia

^{*}Email: dyah.pratiwi@itpln.ac.id

Received: 19 Agustus 2024 | Accepted: 20 Agustus 2024 | Published: 22 Agustus 2024

ABSTRACT

A cofferdam is a type of dam that functions as a diversion or deflection barrier to keep the construction area, which is in contact with water, dry. Although cofferdams are often referred to as temporary dams, their design must take into account factors such as seepage and the slope stability of the cofferdam body to prevent failure. The analysis of cofferdam slope stability is adjusted based on the water level conditions and the slope or body of the cofferdam. In the analysis conducted, the stability of the cofferdam was evaluated using both manual calculations and the Geo5 application, employing the Fellenius method. The results obtained from the analysis showed that the highest safety factor from the manual calculations using the Fellenius method was 2.88 under empty conditions on the downstream side, while the lowest safety factor was 1.38 under rapid drawdown conditions with an earthquake on the upstream side. Meanwhile, the highest safety factor obtained using the Geo5 application with the Fellenius method was 1.55 on the upstream side, and the lowest safety factor was 1.36 under rapid drawdown conditions on the downstream side.

Keywords: Cofferdam, Fellenius, Safety Factor, Slope Stability

ABSTRAK

Cofferdam merupakan salah satu jenis bendungan yang ditinjau dari fungsinya sebagai bendungan pengelak atau pengalih agar area konstruksi bangunan yang bersentuhan dengan air tetap kering. Meskipun cofferdam sering juga disebut sebagai bendungan sementara, namun dalam perencanaannya harus memperhitungkan faktor rembesan dan stabilitas lereng tubuh cofferdam dari keruntuhan. Untuk menganalisis stabilitas lereng cofferdam disesuaikan dengan kondisi muka air dan bagian lereng atau tubuh cofferdam. Pada analisis yang dilakukan ini, stabilitas cofferdam dilakukan perhitungan manual dan bantuan aplikasi Geo5 dengan menerapkan metode Fellenius. Hasil yang didapatkan dari analisis nilai keamanan perhitungan manual dengan metode Fellenius terbesar pada kondisi kosong di bagian hilir sebesar 2,88 dan nilai keamanan terkecil pada kondisi surut cepat dengan gempa di bagian hulu sebesar 1,38. Sedangkan nilai keamanan perhitungan bantuan aplikasi Geo5 metode Fellenius terbesar terdapat di bagian hulu sebesar 1,55 dan nilai keamanan terkecil pada kondisi surut cepat di bagian hilir sebesar 1,36.

Kata kunci: Cofferdam, Fellenius, Nilai Keamanan, Stabilitas lereng

1. PENDAHULUAN

Bendungan secara umum dapat didefinisikan sebagai bangunan yang berasal dari urugan tanah, batuan untuk menampung dan menahan air [1] sehingga dapat air yang tertampung dapat digunakan untuk pengairan irigasi, kebutuhan air baku, PLTA maupun pariwisata [2]. Jenis atau tipe bendungan dapat ditinjau dari ukurannya, tujuan pembangunan, penggunaannya, jalan air, konstruksinya, fungsinya, dan berdasarkan Komite Internasional Bendungan Besar (ICOLD) [3]. Salah satu tipe bendungan ditinjau dari fungsinya adalah *cofferdam* atau bendungan pengelak.

Cofferdam yang disebut sebagai bendung pengelak merupakan bangunan konstruksi yang bersinggungan dengan air [4], seperti pada pembangunan pelabuhan atau bangunan yang dekat pantai lainnya [5]. *Cofferdam* yang seringkali disebut sebagai bangunan sementara [6], namun merupakan bagian inti dari konstruksi bangunan air [7], karena berfungsi untuk mengalihkan air dan memastikan area pekerjaan konstruksi bendungan dalam kondisi kering [8].

Pentingnya peranan *cofferdam* sehingga dalam perencanaannya terdapat beberapa faktor yang wajib diperhatikan yaitu stabilitas terhadap keamanan lereng, stabilitas terhadap gaya *uplift*, keamanan terhadap bahaya rembesan [9] [10][11]. Stabilitas lereng *cofferdam* tidak hanya ditinjau struktur dan bentuknya, tetapi juga karakteristik material, karakteristik kerja tubuh *cofferdam*, dan proses konstruksinya [10]. Selain itu dalam menganalisis stabilitas lereng *cofferdam* terdapat beberapa kondisi yang perlu ditinjau yaitu ketika muka air normal, banjir, surut cepat dan pengaruh kegempaan [12] [13].

Berdasarkan uraian di atas, maka pada analisis ini ditinjau stabilitas lereng *cofferdam* dengan menggunakan metode *Fellenius* dan menggunakan bantuan aplikasi komputer Geo5. Stabilitas lereng ditinjau pada kondisi tanpa muka air (kosong), banjir dan surut cepat. Hasil analisis yang berupa nilai keamanan dengan menggunakan metode *Fellenius* akan dibandingkan dengan nilai keamanan dengan aplikasi komputer Geo5.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan stabilitas lereng *cofferdam* pada Bendungan Karedok, terdiri dari:

a. Analisis Hidrologi dan Rencana Dimensi

Analisis hidrologi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai debit banjir kala ulang 10 tahun dan 25 tahun. Data yang dibutuhkan pada analisis hidrologi diambil dari data curah hujan harian maksimum selama 13 tahun yang berasal dari 2 stasiun hujan yang berada di dalam DAS Cimanuk. Data curah hujan harian pada setiap stasiun akan diolah untuk mendapatkan curah hujan rerata maksimum, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan intensitas hujan metode Mononobe dan debit banjir kala ulang metode Nakayasu dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{t} \left[\frac{t}{T} \right]^{2/3} \quad (1)$$

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2)$$

Setelah dilakukan analisis Hidrologi untuk mendapatkan nilai debit banjir kala ulang, dilanjutkan dengan menentukan dimensi rencana *cofferdam*. Namun sebelum dilakukan analisis dimensi rencana, harus dilakukan analisis kecepatan aliran dan debit tampungan.

Berdasarkan debit tampungan akan didapatkan dimensi *cofferdam* dengan menggunakan persamaan:

$$V = \frac{1}{n} x R^{2/3} x S^{1/2} \tag{3}$$

$$Q = A x V \tag{4}$$

b. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode *Fellenius*

Setelah didapatkan dimensi penampang *cofferdam*, maka dilanjutkan dengan analisis stabilitas lereng tubuh *cofferdam* dengan perhitungan manual menggunakan metode irisan *Fellenius*. Nilai yang didapatkan dari analisis stabilitas tubuh *cofferdam* adalah nilai keamanan di bagian hulu dan hilir *cofferdam* dengan 3 kondisi yang berbeda yaitu kondisi kosong, banjir, dan surut cepat.

c. Analisis Stabilitas Lereng dengan Geo5

Pada langkah ini, hal yang sama dilakukan seperti butir c di atas yaitu menganalisis stabilitas lereng tubuh *cofferdam* pada 3 kondisi, namun yang membedakan adalah metode analisis yang digunakan. Pada butir d ini, analisis dilakukan dengan bantuan aplikasi computer Geo5 dengan menerapkan metode yang sama yaitu metode *Fellenius*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

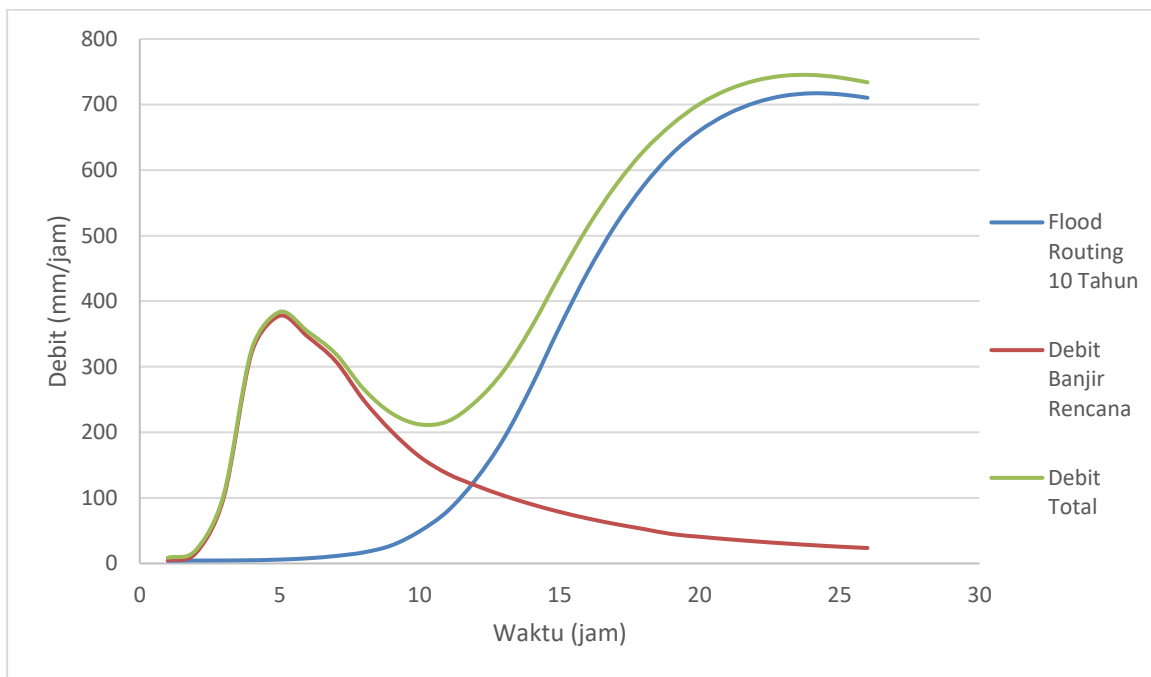
3.1. Analisis Hidrologi dan Dimensi Rencana

Analisis hidrologi ini dilakukan dengan pengolahan secara statistik data curah hujan maksimum dari tahun 2005-2017, yang dimulai dari analisis distribusi curah hujan, analisis kegagalan untuk menentukan kala ulang yang digunakan berdasarkan risiko kegagalan yang ditetapkan sebesar 20%, analisis intensitas hujan dengan menggunakan metode Mononobe, perhitungan Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) metode Nakayasu untuk mendapatkan debit banjir kala ulang yang direncanakan, dan perhitungan dimensi rencana.

Hasil yang diperoleh untuk kala ulang yang digunakan adalah 10 tahun dan 20 tahun, sedangkan hasil perhitungan curah hujan dan intensitas hujan untuk kala ulang tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah didapatkan hujan efektif atau intensitas hujan, dilanjutkan dengan analisis HSS Nakayasu untuk mendapatkan debit rancangan, penelusuran debit banjir kala ulang 10 tahun dan 20 tahun sehingga didapatkan debit total.

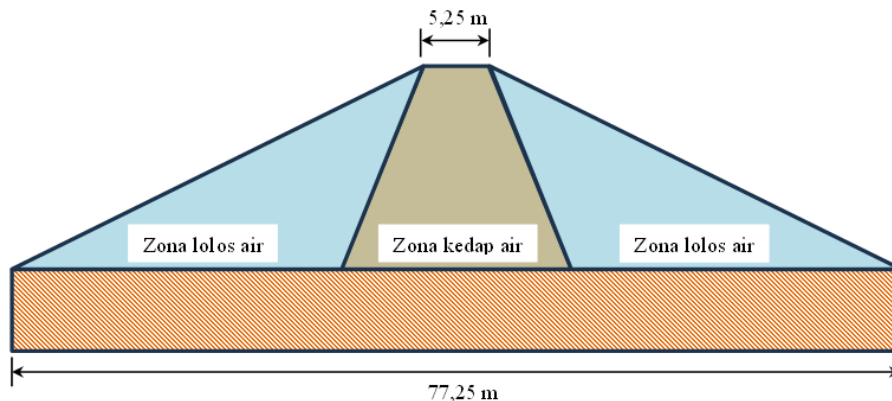
Tabel 1. Hasil analisis curah hujan dan intensitas hujan

Lama Hujan, t (jam)	Curah Hujan, R ₂₄ (mm)	
	10 tahun	20 tahun
	71,730	99,346
Intensitas Hujan, I (mm/jam)		
1	39,475	54,672
2	24,868	34,441
3	18,977	26,284
4	15,666	21,697
5	13,500	18,698
6	11,955	16,558



Gambar 1. Analisis *flood routing*, debit banjir rencana dan debit total untuk kala ulang 10 tahun

Berdasarkan hasil perhitungan debit total kala ulang 10 tahun ($Q_{tot\ 10th}$) yaitu 745,137 mm/jam, dilanjutkan dengan perhitungan dimensi rencana penampang *cofferdam*. Kemiringan lereng *cofferdam* dibagian hilir maupun hulu digunakan perbandingan yang sama, yaitu 1:3. Dengan menggunakan substitusi persamaan (3) ke (4), didapatkan nilai lebar atas tubuh *cofferdam* 5,25 m, tinggi 12 m, dan lebar bawah tubuh *cofferdam* 77,25 m.



Gambar 2. Gambar dimensi rencana penampang *cofferdam*

3.2. Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellenius

Untuk menganalisis stabilitas lereng pada tubuh *cofferdam* diasumsikan terjadi keruntuhan dengan bidang gelincir lingkaran. Bidang gelincir yang sama diterapkan pada kedua sisi lereng tubuh *cofferdam* yaitu di bagian hulu dan hilir. Selanjutnya bagian lereng yang diasumsikan mengalami keruntuhan dengan dibatasi bidang gelincir akan dibagi menjadi beberapa pias/iris, kemudian ditentukan titik pusat dari lingkaran Mohr-Coulomb. Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 2.

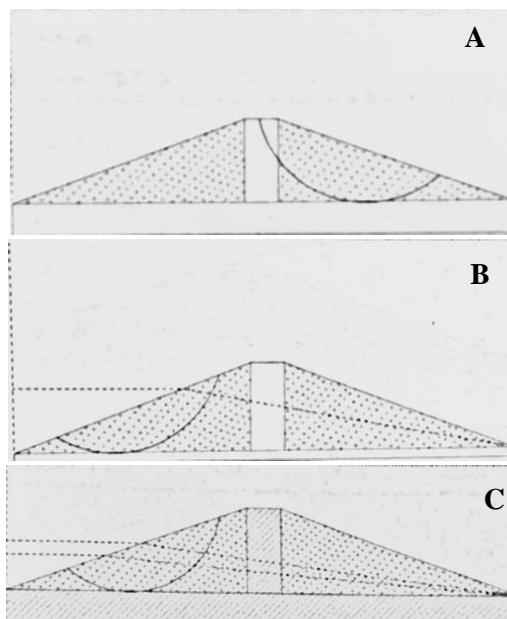
Tabel 2. Nilai keamanan stabilitas lereng tubuh *cofferdam* Metode *Fellenius*

Kondisi	Bagian	Nilai Keamanan
Kosong	Hilir	2,88
	Hulu	2,55
Banjir	Hilir	2,08
	Hulu	2,27
Surut Cepat	Hilir	2,79
	Hulu	2,64
Surut Cepat + Gempa	Hilir	1,41
	Hulu	1,38

Berdasarkan hasil analisis stbilitas lereng dengan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* didapatkan nilai keamanan yang memenuhi persyaratan dari SNI 8064:2016 pada seluruh kondisi, yaitu 1,3 untuk kondisi kosong dan surut cepat serta 1,2 untuk kondisi banjir. Meskipun nilai keamanan yang didapatkan pada kondisi surut cepat dengan gempa lebih kecil dari kondisi tanpa gempa, namun nilai keamanan yang didapatkan masih memenuhi persyaratan sebesar 1,1.

3.3. Analisis Stabilitas Lereng Aplikasi Komputer *Geo5*

Tahapan awal yang dilakukan dalam menganalisis stabilitas lereng menggunakan bantuan aplikasi komputer adalah membuat pemodelan penampang tubuh *cofferdam*, memasukkan data parameter tanah yaitu zona lolos air, zona kedap air dan fondasi. Untuk kondisi muka air yang ditinjau, maka pemodelan akan dilengkapi atau disesuaikan dengan letak muka air banjir dan surut cepat pada pemodelan yang sama. Selanjutnya tentukan metode analisis yang digunakan, yaitu metode *Fellenius* dan menjalankan menu analisis untuk mendapatkan nilai keamanan kritis. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 3. Pemodelan pada aplikasi *Geo5* pada kondisi kosong (A) banjir (B), surut cepat (C)

Tabel 3. Nilai keamanan stabilitas lereng tubuh *cofferdam* menggunakan aplikasi Geo5

Kondisi	Bagian	Nilai Keamanan
Kosong	Hilir	1,52
	Hulu	1,55
Banjir	Hilir	1,51
	Hulu	1,51
Surut Cepat	Hilir	1,36
	Hulu	1,37

Berdasarkan hasil analisis stbilitas lereng dengan perhitungan menggunakan bantuan aplikasi komputer metode *Fellenius* didapatkan nilai keamanan yang memenuhi persyaratan dari SNI 8064:2016 pada seluruh kondisi, yaitu lebih dari 1,3. Nilai keamanan yang didapatkan relatif lebih rendah dari pada nilai keamanan hasil analisis manual menggunakan metode *Fellenius*. Namun nilai keamanannya tetap terpenuhi. Perbedaan nilai keamanan yang didapatkan karena analisis nilai keamanan dengan perhitungan manual harus dilakukan banyak iterasi pada letak bidang gelincir dan radius lingkaran yang berbeda-beda.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai keamanan yang semakin menurun baik, melalui perhitungan manual maupun dengan bantuan aplikasi Geo5. Nilai keamanan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* terbesar pada kondisi kosong di bagian hilir sebesar 2,88 dan nilai keamanan terkecil pada kondisi surut cepat dengan gempa di bagian hulu sebesar 1,38. Sedangkan nilai keamanan perhitungan bantuan aplikasi Geo5 metode *Fellenius* terbesar terdapat di bagian hulu sebesar 1,55 dan nilai keamanan terkecil pada kondisi surut cepat di bagian hilir sebesar 1,36. Untuk melengkapi hasil analisis, maka pada perhitungan selanjutnya dilakukan penerapan gempa pada semua kondisi muka air dan menggunakan metode atau teori yang lain untuk dapat dibandingkan seperti *Bishop* dan *Janbu*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sosrodarsono and K. Takeda, *Bendungan Type Urugan, Ke 4*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1977.
- [2] D. Affandi, "Kriteria Material Konstruksi Untuk Bendungan Urugan (Studi Kasus Bendungan Sindangheula)," *J. Tek. Hidraul.*, vol. 5, no. 2, pp. 165–180, 2014, [Online]. Available: <http://jurnalth.pusair-pu.go.id/index.php/JTH/article/view/308>
- [3] I. Soedibyoy, *Teknik Bendungan, Ke 2*. Jakarta: PT Sentra Sarana Abadi, 2003.
- [4] M. Sulovska, J. Stacho, and M. Kopecky, "The stability analysis of a cofferdam using the numerical modelling," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 960, no. 2, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/960/2/022068.
- [5] F. Yuan and W. Chen, "Stability analysis of temporary cofferdam of a ship lock construction project in coastal area," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 768, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/768/1/012118.

- [6] H. Ayiheng, J. Cheng, J. Pan, and L. Zhang, "Study on slope stability and reinforcement measures of an earth-rock cofferdam on deep overburden foundation," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 218, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/218/1/012004.
- [7] Q. Yi, B. Li, and J. Duan, "Simulation Analysis of Composite Steel Cofferdam Based on ANSYS Finite Element Method," vol. 9, no. 3, pp. 99–103, 2021.
- [8] H. Gerkus-Harris and T. Bosecker, "Design, Construction, and Monitoring of a Hybrid Cofferdam," in *Geo-Congress 2020 GSP 316*, 2020, pp. 519–529.
- [9] A. Imron, D. Sarah, S. Hardiyati, and K. W. Sadono, "Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, dan Beban Gempa," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 83–90, 2017.
- [10] L. Luo, K. Xiong, and Y. Ou, "Slope stability analysis of high rockfill cofferdam considered with its construction and working processing," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 212–213, pp. 922–927, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.212-213.922.
- [11] D. P. Kusumastuti and H. Alghoida, "Angka Keamanan Piping di Bawah Tubuh Bendungan dengan Metode Harza," *Forum Mek.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.33322/forummekanika.v10i1.1266.
- [12] S. Wardhanu and D. P. Kusumastuti, "Perbandingan Metode Fellenius dan Bishop pada Stabilitas Lereng Bendungan Leuwikeris dengan Bantuan Aplikasi Komputer," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, p. 111, 2022, doi: 10.26760/rekaracana.v8i2.111.
- [13] Renaningsih, A. Susanto, and B. Aditama, "Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Pada Bendungan Gondang," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2019*, 2019, pp. 140–146.
- [14] J. Han and M. Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques Second Edition*. Oxford: Morgan Kaufman Publisher, 2006.
- [15] S. Sucipto, "Analisa Hasil Rekomendasi Pembimbing Menggunakan Multi-Attribute Dengan Metode Weighted Product," *Fountain Informatics J.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–31, 2017, doi: 10.21111/fij.v2i1.912.