

Analisis Penanganan Longsoran Pada Bangunan Pelimpah Bendungan Ciawi

Analysis of Landslide Handling in the Ciawi Dam Spillway Building

Nur Alvi Anisa^{1,*}, Ignatius Sriyana², Suseno Darsono²

¹ Direktorat Jenderal Sumber Daya Air; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Jl. Pattimura, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia 12110; e-mail:

nuralvianisa@gmail.com

² Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik; Universitas Diponegoro; Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275; e-mail: sriyana808@gmail.com, mtsundip@gmail.com

* Korespondensi: e-mail: nuralvianisa@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33558/bentang.v11i1.5609>

ABSTRAK

Kelongsoran dangkal pada lereng kiri pelimpah Bendungan Ciawi terjadi pada bulan Juni 2020. Kelongsoran tersebut terjadi secara berangsur-angsur sehingga mengganggu progres pelaksanaan konstruksi Bendungan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dan mengetahui angka aman dari lereng tersebut sehingga dapat memberikan rekomendasi penanganan yang tepat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) dengan program geostudio SLOPE/W yang dijalankan dalam dua metode penentuan angka aman yaitu Bishop and Fellenius/Ordinary. Berdasarkan hasil analisis stabilitas didapatkan angka aman 0,915 metode Bishop dan 0,852 metode Ordinary. Angka aman tersebut kurang dari 1,00 sehingga termasuk kategori lereng yang kurang stabil dan pernah terjadi kelongsoran. Upaya penanganan pertama adalah pelandaian lereng, namun upaya ini belum memberikan kenaikan angka keamanan yang signifikan. Upaya selanjutnya yang digunakan adalah perkuatan 3 buah borepile kedalaman 35 m, 40 m, dan 45 m dengan jarak antar pile nya adalah 40 mm dengan kekuatan geser sebesar 150 kN. Upaya ini memberikan angka aman 1,754 metode Bishop dan 1,546 metode Ordinary sehingga memenuhi syarat keamanan perkuatan lereng.

Kata kunci: angka aman; geoslope; kesetimbangan batas; longsoran; stabilitas lereng

ABSTRACT

The shallow landslide on the left slope of the Ciawi Dam spillway occurred in June 2020. The landslide occurred gradually and disrupted the progress of the dam construction. Therefore, this study aims to analyze the stability of the slope and determine the safe number of the slope then providing recommendations for proper handling. The method used in this study is the limit equilibrium method with the SLOPE/W geostudio program which is run in two methods of determining safety factor, Bishop and Fellenius/Ordinary. Based on the results of the stability analysis, the safety factor is 0.915 for Bishop method and 0.852 for Ordinary method. The first attempt at handling the slopes was to reduce the slope, but this effort did not provide a significant increase in the number of safety factor. The next handling is to use the reinforcement of 3 borepiles with a depth of 35 m, 40 m, and 45 m with a distance between the piles of 40 mm with a shear strength of 150 kN. This effort provides a safety factor number of 1.754 Bishop's method and 1.546 Ordinary's method with the result that it meets the safety requirements of slope reinforcement.

Keywords: geoslope; landslide; limit equilibrium; slope stability

Received: October, 14, 2022 ; Revised: October, 18, 2022; Accepted: October, 20, 2022; Available Online: January, 10, 2023

1. PENDAHULUAN

Bendungan Ciawi adalah bendungan *dry dam* pertama di Indonesia yang difungsikan sebagai pengendali banjir di DKI Jakarta yang telah banyak menyebabkan kerugian ekonomi di Ibu Kota. Dengan terbangunnya bendungan ini diharapkan dapat mereduksi banjir hingga 27,44 % dan menurunkan debit banjir dari Bendung Katulampa yang semula 580,89 m³/detik dengan status siaga I menjadi status siaga II dengan debit banjir sebesar 373,56 m³/detik (BBWS Ciliwung-Cisadane, 2016a). Menurut (Soedibyo, 2003) *dry dam* yang berfungsi sebagai *detention dam* adalah bendungan yang dibangun untuk memperlambat aliran air sehingga dapat mencegah terjadinya banjir besar. Selama proses konstruksi, telah terjadi beberapa kali kelongsoran di area lereng spillway bendungan. Pada bulan Juni 2020 mulai terjadi retakan yang kemudian diaplikasikan proteksi lereng berupa geomat, soilnailing dan rockbolt. Namun, pada bulan September pada area yang sama retakan terus bertambah hingga diberikan proteksi tambahan berupa pasangan batu dengan frame beton. Pada bulan Oktober, longsor dangkal mulai terjadi dan proteksi yang dilakukan sebelumnya sebagian amblas hingga pada bulan Desember proteksi lereng sementara mengalami pergerakan turun dengan rata-rata penurunan adalah 5cm/hari. Pasca hujan deras pada tanggal 16 Agustus 2022 longsor dangkal terjadi kembali yang menyebabkan perubahan secara keseluruhan bentuk geometri dari lereng tersebut.

Kelongsoran terjadi karena ketidakseimbangan gaya yang bekerja pada lereng atau gaya didaerah lereng lebih besar daripada gaya penahan yang ada di lereng tersebut (Rajagukguk et al., 2014). Menurut (Pramita & Sari, 2020) menyatakan akan ada gaya-gaya yang mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor. Beberapa faktor penyebab kejadian tersebut diantaranya adalah aktivitas galian saat pembuatan saluran peluncur dimana galian tersebut tergolong cukup tegak, lithologi batuan yang terdiri dari tufa lapilli dimana batuan tersebut tergolong batuan yang mudah rapuh apabila terkena air, intensitas curah hujan yang cukup tinggi, maupun pergerakan tanah akibat elevasi muka air tanah yang tinggi. Menurut (Pratama et al., 2014) musim kering yang berkepanjangan menyebabkan munculnya pori-pori atau rongga tanah hingga terjadinya rekahan dan retakan pada tanah permukaan sehingga ketika intensitas curah hujan mengalami peningkatan, air akan masuk melalui bagian tanah yang mengalami retakan dan akan terakumulasi di bagian lereng sehingga menimbulkan gerakan lateral. Beberapa penelitian terdahulu menyebutkan bahwa intensitas, pola distribusi, dan durasi hujan sangat mempengaruhi mekanisme keruntuhan lereng disamping faktor-faktor geologi dan geoteknik serta topografi lereng (Muntohar, 2008). Tanah longsor bisa menyertai berbagai gerakan tanah pada satu waktu. Sebuah penilaian global mengenai tanah longsor harus mempertimbangkan banyak faktor, seperti parameter tanah, topografi, vegetasi dan curah hujan (M. S. Kim et al., 2018). Selain itu, perubahan iklim global dapat memicu lebih banyak longsor karena perubahan intensitas, frekuensi, dan kedalaman curah hujan (J. Kim et al., 2012).

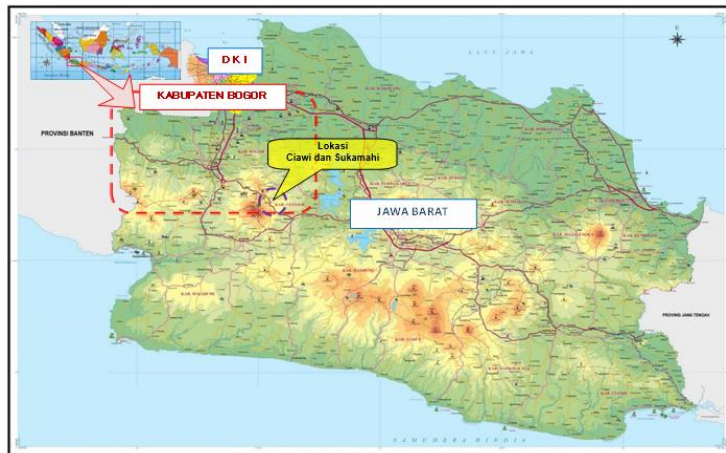
Berdasarkan identifikasi tersebut, banyak hal yang dapat menjadi penyebab kelongsoran pada lereng kiri pelimpah bendungan ini. Pergerakan tanah, seperti tanah longsor dan semburan lumpur, terjadi sering terjadi di seluruh dunia, terutama di Indonesia. Namun, konsep dan studi analitis saat ini masih tidak mampu menjelaskan fenomena tersebut (Widjaja, 2019). Proteksi yang dilakukan di lapangan dalam upaya penanganan segera belum cukup untuk mengatasi hal tersebut sehingga perlu adanya analisis menggunakan *software* dengan kondisi topografi terbaru untuk mengetahui angka keamanan sehingga dapat dilakukan penanganan yang tepat, jangka panjang, dan permanen. Program yang digunakan adalah Geo-slope dimana dasar dari teorinya adalah metode kesetimbangan batas. Berdasarkan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2005) metode penanggulangan longsor ditinjau dari mekanisme penanganannya dibedakan dalam tiga kategori yaitu mengurangi gaya-gaya yang ditimbulkan, baik mengendalikan air permukaan maupun mengubah geometri lereng, menambah gaya-gaya yang menahan gerakan dan tindakan lainnya. Penanggulangan permanen untuk penanganan lereng umumnya merupakan penanganan bersifat struktural yaitu penanganan dengan menambah gaya-gaya yang menahan gerakan longsor. Dari beberapa kajian penelitian terdahulu, maka penelitian ini difokuskan pada analisis

stabilitas lereng kiri pelimpah bendungan dan penanganan kelongsoran agar dapat memenuhi syarat angka keamanan pada lereng.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian adalah lereng kiri pelimpah Bendungan Ciawi yang terletak di hulu Sungai Ciliwung, Desa Cipayung Kecamatan Megamendung wilayah Bogor, ±480 km dari jalan raya Puncak Pass, tepatnya pada koordinat 106°52'20" Bujur Timur dan 06°39'28" Lintang Selatan. Lokasi bendungan disajikan pada Gambar 1 dengan lereng kelongsorannya pada pelimpah bendungan yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi Bendungan Ciawi pada Peta Jawa Barat



Gambar 2. Kondisi Longsoran Lereng Kiri Pelimpah Bendungan Ciawi

Tahapan Penelitian

a. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari (BBWS Ciliwung-Cisadane, 2016b). Selain itu, digunakan juga literatur dan penelitian lainnya sebagai acuan maupun pendekatan untuk menganalisis masalah di dalam penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data stratigrafi berupa potongan melintang penampang lereng pelimpah kondisi terbaru. Data ini digunakan dalam pemodelan geometri objek pada Geostudio Slope/W. Kedua, data geologi teknik maupun parameter tanah area

lokasi longsor yang didapatkan dari BBWS Ciliwung Cisadane yaitu soil investigation dan hasil laboratorium bulan Maret dan Juli 2021 oleh Laboratorium Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan (BBWS Ciliwung-Cisada, 2021). Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah seperti nilai berat volume tanah, berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser, dan kadar air, yang digunakan sebagai material di dalam *software* Geostudio Slope/W. Serta, interpretasi hasil geolistrik yang berupa koordinat digunakan sebagai acuan posisi muka air tanah pada lereng.

b. Pemodelan pada Geostudio SLOPE/W

SLOPE/W merupakan program yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, baik tanah maupun batuan, termasuk galian dan timbunan yang digunakan untuk menghitung *Safety Factor* (SF) suatu lereng. Urutan dalam pembuatan permodelan adalah:

1) Pembuatan Geometri Obyek

Dalam pembuatan obyek dapat langsung diinput dari autocad/perangkat lunak drawing dengan .dxf ataupun pembuatan obyek secara manual dengan menggabungkan titik-titik dan garis-garis dua dimensi yang membentuk objek yang akan diteliti.

2) Penginputan data material

Data material digunakan untuk mengidentifikasi lapisan lereng atau tanah yang akan di analisis. Pada pemodelan Mohr-Coulomb, terdapat beberapa sifat material yang diperlukan yaitu sudut geser (ν), kohesi (c) dan berat satuan tanah (γ).

3) Penginputan *Pore Water Pressure*

Penginputan *pore water pressure* menggunakan koordinat yang didapatkan dari interpretasi hasil geolistrik yang diinput dalam kondisi *piezometric line*.

4) Penentuan *Slip Surface*

Penentuan *Slip surface* dilakukan dengan *trial and eror* untuk mendapatkan angka keamanan terkecil. Dalam penentuan bidang gelincir terdapat beberapa pendekatan pada geo-slope yaitu *grid radius*, *block specified*, *fully specified*, dan *entry exit*. Dalam penelitian ini pendekatan yang digunakan adalah *entry and exit* dengan bentuk bidang gelincir adalah lingkaran sesuai dengan kondisi longsor di lapangan.

5) *Running* Obyek

Setelah pembuatan pemodelan pada *software*, maka dilakukan *running* untuk mengetahui angka aman yang didapatkan pada lereng tersebut. Sebelum melakukan analisis dipilih terlebih dahulu metode penentuan angka aman yang akan digunakan seperti metode Bishop, Ordinary, Janbu, Morgenstern-Price, Spencer, dan Sarma.

c. Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Analisis stabilitas lereng ditujukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu, dengan diketahui nilai faktor keamanan akan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng untuk memastikan apakah lereng yang telah dibentuk mempunyai risiko longsor atau cukup stabil (Kusuma & Mina, 2015). Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui angka aman adalah metode bishop dan fellenius. Asumsi yang digunakan dalam metode Fellenius adalah resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh, serta bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran. Sedangkan metode bishop mengasumsikan besarnya gaya geser antar irisan sama dengan nol ($x=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Keduanya digunakan dalam menganalisis bidang gelincir bentuk lingkaran sesuai dengan arah kelongsoran pada lereng pelimpah Bendungan Ciawi.

d. Upaya Penanganan Longsor

Upaya yang diusulkan adalah pelandaian dengan *counterweight* dan penguatan soldier piles. Pelandaian lereng bertujuan untuk mengurangi berat bagian atas tanah longsor dan mengurangi kekuatan pendorongnya. Menambah berat di bagian bawah tanah untuk memberikan peningkatan resistensi. Pelandaian lereng menggunakan prinsip ini untuk

ketahanan stabilitas tanah (Cornforth, 2005). Sedangkan Soldier pile merupakan bored pile yang akan difungsikan sebagai penahan tanah dan akan diaplikasikan menerima/menahan gaya atau beban horizontal yang ditimbulkan dari tekanan tanah maupun air yang ditahannya serta bangunan yang ada di sebelahnya. Kedalaman dan diameter soldier pile tergantung dari perhitungan kekuatan, berdasarkan ketinggian lereng, jenis tanah dan perkiraan beban horizontal yang ada (Sianipar, 2016). Soldier pile adalah salah satu dari jenis embedded walls yang merupakan struktur penahan tanah dimana stabilitasnya sebagian atau seluruhnya diperoleh dari tahanan tanah yang terletak di bawah dasar galian (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

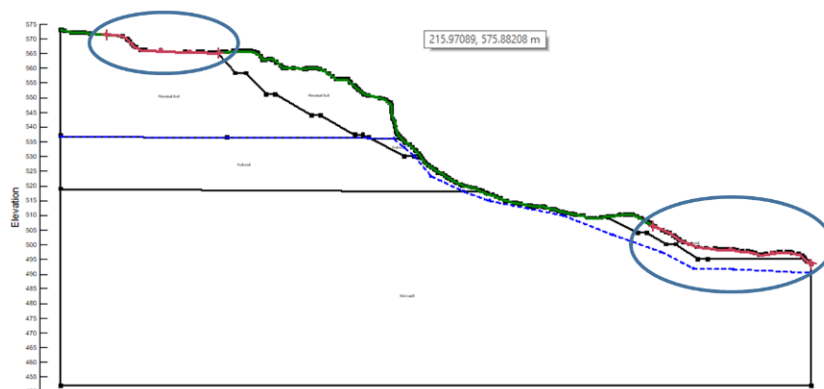
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Hasil borelog di area sekitar lereng kiri pelimpah bendungan disajikan pada Tabel 1 dengan tiga jenis tanah yaitu residual, kolovial, dan tufa lapilli yang dibuat berlayer (Gambar 3) dan garis *entry and exit* pada lingkaran biru sesuai Gambar 3. Potongan melintang penampang lereng yang digunakan adalah potongan melintang terbaru pada tanggal 16 Agustus 2022. Peinputan material pada program geo-slope berupa berat jenis (kN/m^3), kohesi (kPa), dan sudut geser tanah ($^\circ$) kemudian dilanjutkan dengan posisi *pore water pressure* (garis biru Gambar 3).

Tabel 1. Parameter Material Model pada Geostudio Slope/W

Jenis Tanah	Berat Jenis (kN/m^3)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Tanah ($^\circ$)
Residual Soil	17,3	28,9	18
Kolovial	16,84	23,8	23
Tufa Lapili	15,91	75,2	25,6



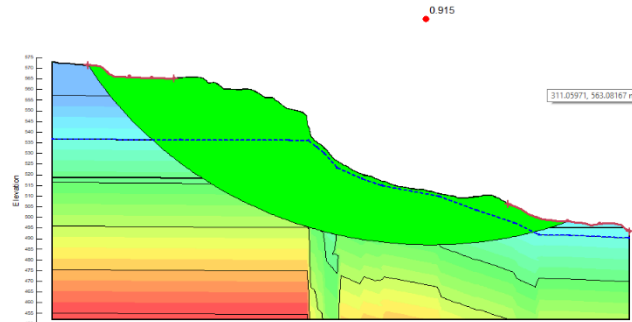
Gambar 3. Potongan Melintang Penampang Lereng Eksisting

Hasil analisis stabilitas lereng pada program geo-slope menunjukkan nilai angka keamanan pada lereng adalah 0,915 metode Bishop (Gambar 4) dan 0,852 metode Ordinary/Fellenius (Gambar 5). *Safety factor* pada kedua menyatakan $FS < 1,00$ dimana menurut Tabel 2 lereng dikategorikan dalam tidak aman atau keruntuhan pernah maupun biasa terjadi. Menurut (Hardiyatmo, 2012) faktor keamanan kurang dari 1,25 maka massa tanah pada lereng dianggap tidak stabil. Apabila diamati bidang gelincir berbentuk lingkaran, hal ini sesuai dengan kondisi kelongsoran yang terjadi (Gambar 2). Melihat kondisi di lapangan dan kesesuaian dengan bidang gelincir maupun nilai angka keamanan, maka pemodelan pada geo-slope dikatakan sudah mendekati kondisi eksisting. Penyebab kelongsoran adalah kondisi lereng yang sudah dalam kategori tidak stabil ditambah dengan curah hujan yang tinggi di area longsoran. Menurut informasi meteorologi khusus periode Januari-Oktober 2021 pada Lokasi Pembangunan Bendungan Ciawi menunjukkan curah hujan bulanan rata-rata di bulan Februari saat terjadinya longsor dangkal adalah sebesar 559 mm/bln di pos hujan Ciawi dan sebesar 631 mm/bln di pos

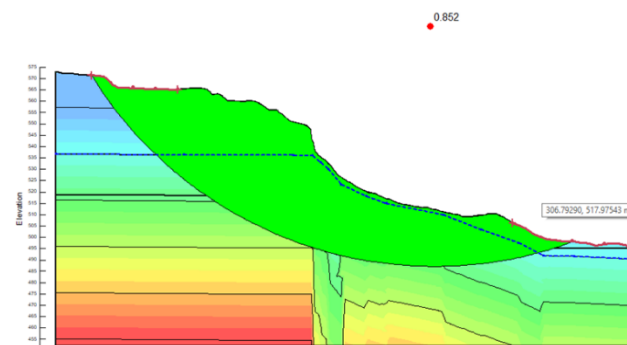
hujan gadag. Intensitas curah hujan termasuk dalam kategori sangat tinggi dengan nilai curah hujan diatas 401 mm/bln (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), 2021).

Tabel 2. Hubungan Nilai Faktor Aman dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng (Bowles, 1989)

Fs	Kejadian
$F_s < \sim 1,07$	Keruntuhan biasa terjadi
$1,07 < F_s \leq 1,25$	Keruntuhan pernah terjadi
$F_s > 1,25$	Keruntuhan jarang terjadi



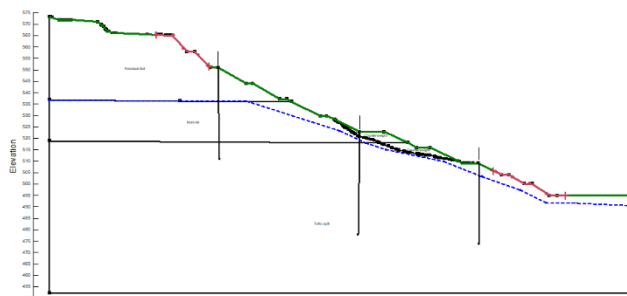
Gambar 4. Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Metode Bishop



Gambar 5. Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Metode Fellenius/Ordinary

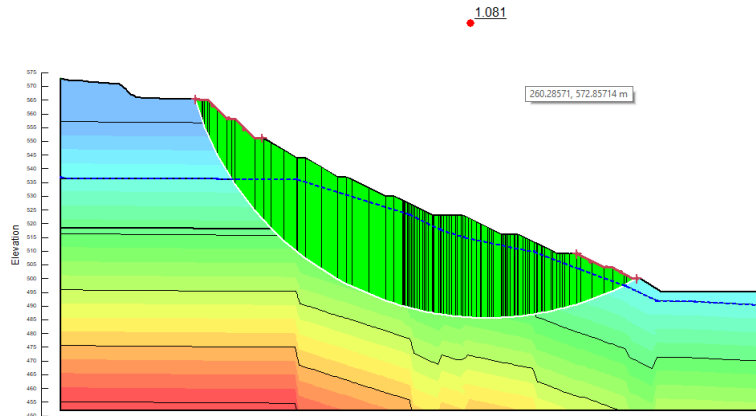
Upaya Penanganan Kelongsoran

Upaya penanganan pertama yang dilakukan adalah pelandaian yang dilakukan untuk memperbaiki bentuk lereng dan menghemat biaya yang ada dengan cara mengurangi gaya yang ditimbulkan. Dapat dilihat pada Gambar 3 kondisi lereng eksisting saat ini, terdapat cekungan di tengah lereng dengan beban di atasnya yang cukup besar, sehingga sebelum dilakukan penanganan lainnya, pelandaian adalah langkah pertama yang tepat. Perubahan geometri lereng bertujuan mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2005).

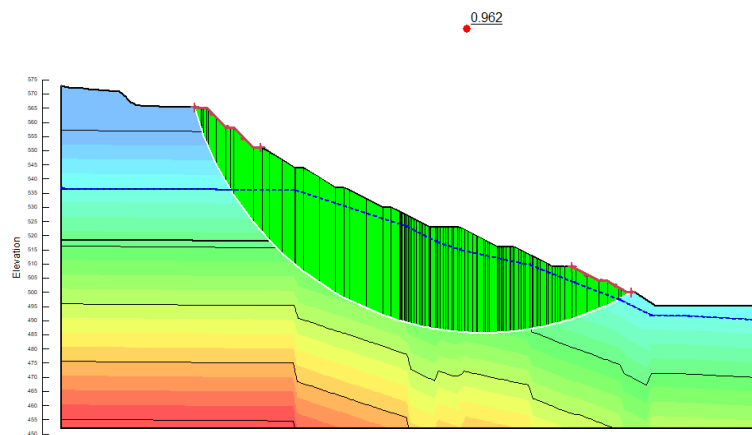


Gambar 6. Penampang Melintang Pelandaian dengan Perkuatan Borepiles

Semakin landai permukaan lereng atau semakin kecil sudut kemiringan lereng maka semakin besar nilai angka keamanan pada lereng. Hal ini dikarenakan masa tanah yang menggerakkan sehingga lereng longsor berkurang (Ashari et al., 2018). Upaya dilakukan dengan mengubah lereng menjadi seperti pada Gambar 6 yang dianalisis sehingga dihasilkan angka aman 1,081 dengan metode Bishop (Gambar 7) dan 0,962 dengan Fellenius (Gambar 8). Nilai angka keamanan bernilai dibawah 1,25 yang berarti lereng masih dalam kondisi belum stabil dan kemungkinan terjadi longsor kembali sehingga pelandaian belum mampu untuk meningkatkan angka aman sehingga dilanjutkan perkuatan borepiles dengan bentuk soldier pile sebagai penahan gaya yang menyebabkan longsor.



Gambar 7. Analisis Stabilitas Lereng setelah Pelandaian Metode Bishop



Gambar 8. Analisis Stabilitas Lereng setelah Pelandaian Metode Ordinary

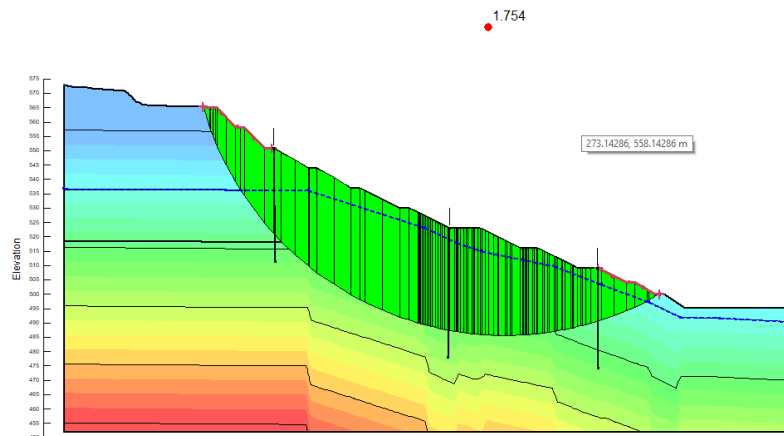
Perkuatan borepile menggunakan dilakukan berdasarkan Tabel 3 dengan pemasangan 3 buah borepile yang memotong bidang gelincirnya dengan pemasangan pada elevasi +551, +523 dan +509 (Gambar 6) dengan panjang yang berbeda-beda tiap elevasi tergantung pada bidang gelincirnya, dengan jarak pile 40 mm dan kuat geser yang diberikan adalah 150 kN. Pemasangan ini berdasarkan *trial and error* pada program Geo-Slope untuk mendapatkan $F_s > 1,5$ pada kedua metode. Menurut Tabel 2, $F_s > 1,25$ keruntuhan jarang terjadi dan lereng dianggap stabil, namun sebagai pengamanan dan juga melihat histori dari kelongsoran yang terus terjadi secara beruntun dan berada di lokasi area bendungan yang bisa membahayakan keamanan bendungan, maka diambil $F_s > 1,5$ dengan potensi longsor 30-60%. Hal tersebut juga sesuai dengan (Duncan & Wright, 2005) yang menyatakan faktor keamanan terhadap desain untuk penanganan longsor baik menggunakan tiang, vegetasi maupun penanganan lainnya tergantung pada kualitas hasil

penyelidikan tanah dimana F_s menjadi lebih dari 1,5 apabila ketepatan penentuan parameternya adalah kurang akurat seperti pada lereng ini.

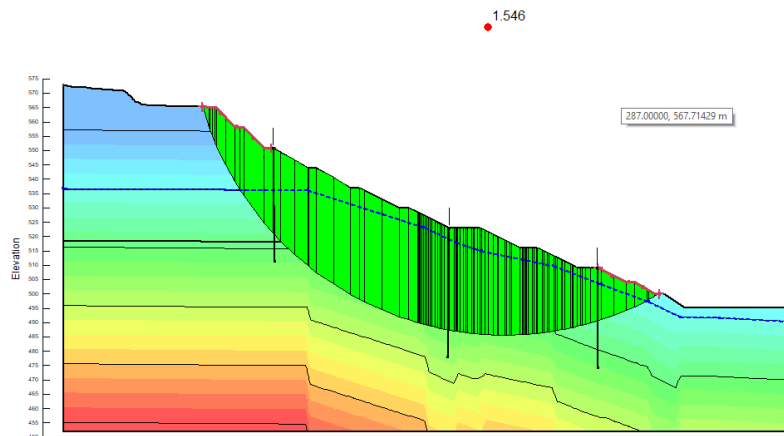
Tabel 3. Pemasangan Penguatan Borepiles pada Geo-Slope

Piles	Elevasi	Kuat Geser (kN)	Jarak Pile (mm)	Panjang Pile
1	551	150	40	40
2	523	150	40	45
3	509	150	40	35

Angka aman yang dihasilkan oleh pelandaian dan perkuatan borepile adalah 1,754 metode Bishop (Gambar 9) dan 1,546 metode Ordinary (Gambar 10). Nilai angka keamanan ini menandakan lereng telah stabil dan akan jarang terjadi kelongsoran (30-60%).



Gambar 9. Analisis Stabilitas Penanganan Pelandaian dengan Borepiles Metode Bishop



Gambar 10. Analisis Stabilitas Penanganan Pelandaian dengan Borepiles Metode Ordinary

Tabel 4. Angka Keamanan dan Presentase Kenaikannya pada Setiap Skenario

Skenario Kondisi	Angka Keamanan		Kenaikan SF	
	Bishop	Ordinary	Bishop	Ordinary
Lereng Eksisting	0,915	0,852		
Lereng Pelandaian	1,081	0,962	18,1%	12,9%
Pelandaian dan Borepiles	1,754	1,56	91,7%	83,1%

Rangkuman mengenai keseluruhan analisis yang dilakukan dijelaskan pada Tabel 4 yang menyajikan angka keamanan dan presentase kenaikan pada setiap skenario untuk setiap metode penentuan SF. Terlihat bahwa pemasangan borepile adalah cara penanganan dengan peningkatan

angka keamanan sebesar 80-90% dibandingkan dengan pelandaian yang hanya memberikan peningkatan kurang dari 20%, namun pelandaian tetap harus dilakukan dalam upaya perbaikan bentuk lereng. Kedua metode menyajikan deviasi yang tidak terlalu besar antara satu dengan yang lain dengan metode Bishop memberikan angka keamanan yang cukup tinggi. Dalam *trial and error* yang dilakukan pada pemasangan borepile, acuan yang digunakan adalah menggunakan metode Ordinary agar kondisi keamanan lereng lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng pelimpah bendungan Ciawi menggunakan program Geo-slope, angka keamanan dari lereng eksisting adalah 0,915 metode Bishop dan 0,852 metode Ordinary. Nilai faktor keamanan pada lereng kiri pelimpah bendungan kurang dari satu yang menyatakan lereng dalam kondisi tidak stabil dan biasa atau pernah terjadi longsor. Nilai angka aman yang rendah ditambah dengan adanya curah hujan tinggi yang mungkin menjadi penyebab kelongsoran tersebut terjadi. Upaya penanganan dengan pelandaian belum cukup untuk meningkatkan angka keamanan lereng karena $F_s < 1,25$ namun langkah ini diperlukan untuk mengurangi gaya dorong pada lereng dan memperbaiki bentuk lereng yang telah berubah. Upaya lanjutan adalah menggunakan perkuatan borepile yang mampu meningkatkan angka keamanan hingga lebih dari 80-90% menjadi 1,754 pada metode Bishop dan 1,56 pada metode Ordinary. Perkuatan borepile yang digunakan menggunakan 3 buah borepile kedalaman 35, 40, dan 45 m dengan jarak antar pile nya adalah 40 mm dengan kekuatan geser sebesar 150 kN. Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah penambahan pertimbangan biaya dalam pemasangan borepile sehingga penanganan lereng yang disajikan selain kuat dan aman, namun juga efisien secara biaya.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti sampaikan ucapan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, serta pihak-pihak lainnya yang turut membantu dan memberikan dukungan data dan diskusi dalam menyelesaikan tulisan ini. Peneliti mengharapkan kajian yang dilakukan akan bermanfaat dalam pelaksanaan upaya penanganan terhadap longsoran maupun kontribusi dibidang keilmuan.

REFERENSI

- Ashari, I., Sulistyowati, T., & Prabowo, A. (2018). Analisis Pengaruh Metode Terasering Pada Stabilitas Lereng Menggunakan Geoslope/W6. *Spektrum Sipil*, 5(2), 108–116.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). (2021). *Informasi Meteorologi Khusus Periode Januari-Oktober 2021*. Stasiun Klimatologi Bogor.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*.
- BBWS Ciliwung-Cisada. (2021). *Justifikasi Teknis Penanganan Lereng Kiri dan Penyelesaian Konstruksi Pelimpah*.
- BBWS Ciliwung-Cisadane. (2016a). *Laporan Akhir Bendungan Ciawi*.
- BBWS Ciliwung-Cisadane. (2016b). *Laporan Pendahuluan Sertifikasi Bendungan Ciawi*.
- Bowles, J. (1989). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah* (2nd ed.). Erlangga.
- Cornforth, D. (2005). *Landslides in Practice*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2005). *Manual Perencanaan Penanganan Lereng Jalan*. No. 02-2/BM/2005.

- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). Soil Strength and Slope Stability. *Library of Congress Cataloging*.
- Hardiyatmo, H. (2012). *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Gajah Mada University Press.
- Kim, J., Jeong, S., & Regueiro, R. (2012). Instability of Partially Saturated Soil Slopes Due to Alteration of Rainfall Pattern. *Eng. Geol*, 147, 23–36.
- Kim, M. S., Onda, Y., Uchida, T., Kim, J. K., & Songa, Y. S. (2018). Effect of Seepage on Shallow Landslides in Consideration of Changes in Topography: Case Study Including an Experimental Sandy Slope with Artificial Rainfall. *Catena*, 161, 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.004>
- Kusuma, R., & Mina, E. (2015). Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan Soilnailing Dengan Software Geostudio 2007. *Jurnal Fondasi*, 4(1).
- Muntohar, A. (2008). Proposal Ambang Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor. *Seminar/Workshop Application Research for Disaster and Humanitarian*.
- Pramita, G., & Sari, N. (2020). Studi Waktu Pelayanan Kapal di Dermaga I Pelabuhan Bakauheni. *JICE (Journal of Infrastructural in Civil Engineering)*, 1(1), 14–18.
- Pratama, R., Muhibbi, I., Indrastono, D., & Hardiyati, S. (2014). Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus : Longsor Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+150 –Sta 3+200, Karanganyar). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(3), 573 – 585.
- Rajagukguk, O., Turangan, A., & Monintja, S. (2014). Analisis Stabilita Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus : Kawasan Citraland sta 1000m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 139–147.
- Sianipar, B. (2016). *Perencanaan Soldier Pile Untuk Penguatan Lereng Jalan Tol Gempol-Pandaan Sta 6+518 s/d 6+575*.
- Soedibyo. (2003). *Teknik Bendungan*. Pradnya Paramita.
- Widjaja, B. (2019). Landslide and Mudflow Behavior Case Study in Indonesia: Rheology Approach. *IPTEK Journal of Proceedings Series No. (3)*, 93.