

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN PERKUATAN SHOTCRETE DAN ROCKBOLT STUDI KASUS KELONGSORAN LERENG INSPECTION ADIT PROYEK PLTA UPPER CISOKAN PUMPED STORAGE 1.040 MW

Agio Kurnia Afriraya^{*1}, Reny Rochmawati² dan Gilang Ramadan Kololikiye³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang

Email : 22201051056@unisma.ac.id

²Dosen Mahasiswa, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang

Email : renyrochmawati@unisma.ac.id

³Dosen, Teknik Sipil, Universitas Islama Malang

Email : gilangft@unisma.ac.id

ABSTRAK

Indonesia is currently experiencing rapid infrastructure development as an effort to support national economic growth, one of which is through the construction of the Upper Cisokan hydropower project in West Java. This project is the first hydropower plant in Indonesia to implement *pumped storage* technology with a capacity of 1,040 MW. One of the key areas in the project is *the Adit Inspection*, which serves as a *surge tank maintenance access*. In this area, there is slope construction which has an important role in supporting safety and smooth work. However, the slopes in the area experienced landslides that had the potential to disrupt the sustainability of the project. Landslides on slopes generally occur due to disturbances in soil or rock stability influenced by geological conditions and slope geometry. The landslide on the *slope of Inspection Adit* was influenced by several factors, namely poor quality soil and rock conditions consisting of class Va, Vb, and IV rocks, a very steep slope of 1:0.4, and the use of *shotcrete* and *rockbolt reinforcement* which has not been able to prevent slope failure. The relatively rigid nature of *shotcrete* and prone to cracking due to the pulling force and reinforcement of shotcrete is only a delay in collapse so that it still causes the effectiveness of reinforcement not to be a solution to these conditions. Therefore, this study needs to be carried out to find out the geometric and geotechnical characteristics of the slopes that landslides occur, this study is also carried out to determine the total *value of safety factors* and *total slope displacements*. This study was carried out by redesigning the slope that occurred by landslides using *shotcrete* and *rockbolt* percocation, this study used the *finite element* method in the form of 3D plaxis software.

Kata Kunci : *Plaxis 3D, Rockbolt, safety factor value, Shotcrete, slope stability*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang aktif dalam pembangunan infrastruktur di berbagai sektor untuk membantu pengembangan ekonomi nasional. Salah satu proyek strategis yang sedang berlangsung adalah proyek PLTA Upper Cisokan di Jawa Barat, yang merupakan pembangkit listrik tenaga air pertama di Indonesia dengan teknologi pumped storage berkapasitas 1.040 MW. Di dalam proyek ini terdapat kelongsoran

di area Inspection Adit, kelongsoran ini umumnya terjadi karena gerakan material penyusun lereng yang bergerak menuruni lereng membentuk bidang gelincir karena terganggunya kestabilan tanah dan batuan penyusun lereng [1]. Lereng pada area tersebut mengalami kelongsoran yang dipengaruhi oleh oleh kondisi geologi berupa batuan kelas Va, Vb, dan IV yang tergolong batuan berkualitas buruk (poor quality), geometri lereng yang sangat curam dengan kemiringan 1:0.4. Kelongsoran tersebut juga terjadi karena sistem perkuatan

yang menggunakan kombinasi perkuatan *shotcrete* dan *rockbolt* yang belum mampu mencegah terjadinya longsor.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan analisis stabilitas lereng untuk mengetahui karakteristik geometri dan geoteknik lereng. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui nilai *safety factor* dan *total displacements* lereng. Penelitian ini melakukan desain ulang terhadap geometri eksisting lereng longsor yang memiliki perkuatan *shotcrete* dan *rockbolt*, desain tersebut kemudian digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi perkuatan yang mampu mengatasi permasalahan kelongsoran lereng pada area ini.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik geometri dan geoteknik lereng yang terjadi longsor pada area Inspection Adit?
2. Berapa nilai *safety factor* dan *total displacement* lereng yang menggunakan perkuatan *shotcrete* dan *rockbolt*?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui karakteristik geometri dan geoteknik lereng yang terjadi longsor pada area Inspection Adit.
2. Untuk mengetahui nilai *safety factor* dan *total displacement* lereng yang menggunakan perkuatan *shotcrete* dan *rockbolt*.

1.4 Ruang Lingkup

1. Karakteristik geometri dan geoteknik lereng.
2. Analisis nilai faktor aman lereng.
3. Analisis nilai *total displacements* lereng.
4. Analisis stabilitas lereng menggunakan *software* Plaxis 3D.
5. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *shotcrete* dan *rockbolt*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng dan Kelongsoran Lereng

Lereng adalah suatu permukaan miring yang terbentuk secara alami maupun buatan

yang terdiri dari susunan material tanah dan batuan. Tanah memiliki kecenderungan untuk berubah bentuk dan bergerak karna adanya pengaruh dari gaya gravitasi, kondisi geologi dan hidrologi. Lereng terbagi menjadi dua jenis berdasarkan proses terbentuknya, yaitu lereng alami yang terbentuk karena aktivitas alam itu sendiri dan lereng buatan yang terbentuk karena campur tangan manusia, seperti proses *cut and fill*. Umumnya kedua jenis lereng tersebut tetap memiliki potensi kelongsoran lereng. Kelongsoran lereng merupakan pergerakan massa material penyusun lereng dari elevasi tinggi menuju elevasi rendah karena adanya tanah tidak rata sehingga menimbulkan adanya komponen gravitasi dari berat. Pada suatu lereng terdapat dua tingkat lereng yang ketinggiannya berbeda, sehingga dapat menimbulkan gaya yang menyebabkan tanah cenderung bergerak ke arah bawah [2].

2.2 Kuat Geser

Kuat geser tanah adalah kemampuan maksimum tanah untuk tetap stabil membuat perlawanan terhadap gaya geser atau usaha pergeseran dan perubahan bentuk pada kondisi tekanan dan tarikan tertentu [3]. Kuat geser tanah berfungsi untuk menahan agar tidak terjadi kegagalan dalam tanah. Yang berarti menahan tanah dari tekanan dan geseran yang terjadi di dalam tanah. Secara umum untuk menentukan kuat geser tanah dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1a)$$

2.3 Tegangan Geser

Tegangan geser merupakan besarnya gaya geser yang terdapat pada lapisan tanah penyusun lereng. Longsor pada lereng umumnya terjadi ketika tegangan geser (*shear stress*, τ) yang bekerja pada suatu bidang gelincir melebihi kuat geser tanah (*shear strength*) sehingga massa tanah kehilangan kestabilannya dan bergerak ke bawah lereng [4]. Kegagalan lereng dapat terjadi apabila :

$$\tau' \geq \tau \quad (1b)$$

2.4 Metode Finite Element Method (FEM)

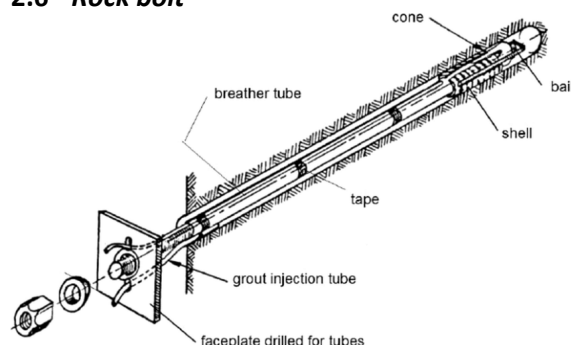
Analisa stabilitas lereng merupakan suatu

metode yang dilakukan untuk menentukan faktor aman dari sebuah lereng yang memiliki potensial bidang longsor. Dalam mengalisa stabilitas lereng terdapat banyak sekali metode yang dapat digunakan, salah satunya adalah *Finite Element Method* (FEM). *Finite Element Method* (FEM) merupakan sebuah prosedur numerik yang memecah domain kompleks menjadi elemen-elemen diskrit untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan perilaku material, sehingga pemodelan yang dihasilkan dapat lebih rinci dibandingkan metode analitik sederhana [5]. Manfaat utama penerapan FEM pada analisis stabilitas lereng adalah untuk menghitung deformasi, distribusi tegangan, dan evolusi pola keruntuhan yang tidak bisa ditangkap oleh metode lain.

2.5 Shotcrete

Shotcrete adalah metode perkuatan tanah dan batuan dengan menyemprotkan beton bertekanan tinggi pada permukaan lereng atau lubang galian, yang bertujuan menambah stabilitas dan mengurangi erosi serta pelepasan material lepas pada medan curam. *Shotcrete* juga digunakan sebagai perkuatan terhadap *surface* lereng serta mampu mengubah pola deformasi lereng dari *local dispersed deformation* menjadi *overall coordinated deformation*, sehingga menunda ketidakstabilan lereng dan meningkatkan respons kestabilan secara keseluruhan [6].

2.6 Rock bolt



Gambar 1. Detail Rockbolt

Sumber : (<https://surl.li/wnlmfv>)

Rock bolt adalah elemen perkuatan yang disematkan ke dalam massa batuan untuk meningkatkan kohesi massa dan menahan

pergerakan blok batuan melalui transfer gaya dari massa batu ke batang pengikat, sehingga sering digunakan sebagai dukungan primer pada terowongan, galian serta lereng curam [7]. *Rock bolt* bekerja terhadap bagian internal lereng dengan mekanisme transfer gaya melalui interaksi antara bolt, grout dan batuan.

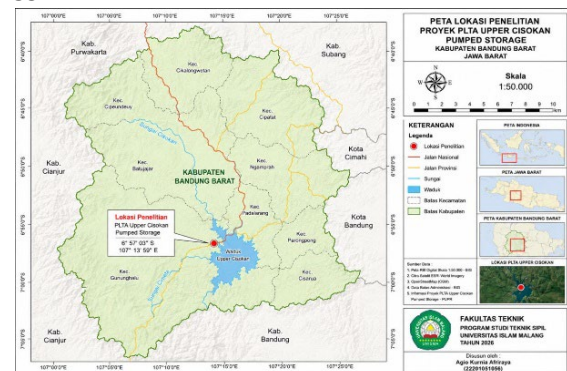
2.7 Plaxis 3D

Plaxis 3D adalah perangkat lunak berbasis elemen hingga (finite element method/FEM) yang dirancang khusus untuk analisis geoteknik tiga dimensi, termasuk stabilitas lereng, interaksi tanah-struktur, penurunan permukaan, dan deformasi akibat konstruksi.

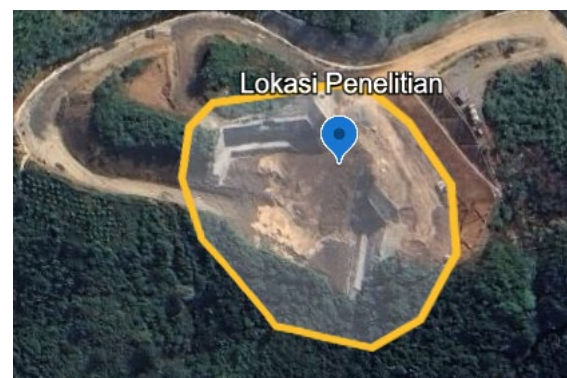
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di proyek pembangunan bendungan PLTA Upper Cisokan *Pumped Storage* yang terletak di Jl. Upper Cisokan, Kab. Bandung Barat, Jawa Barat. Berada pada titik koordinat $6^{\circ} 57'03''$ S $107^{\circ} 13' 59''$.

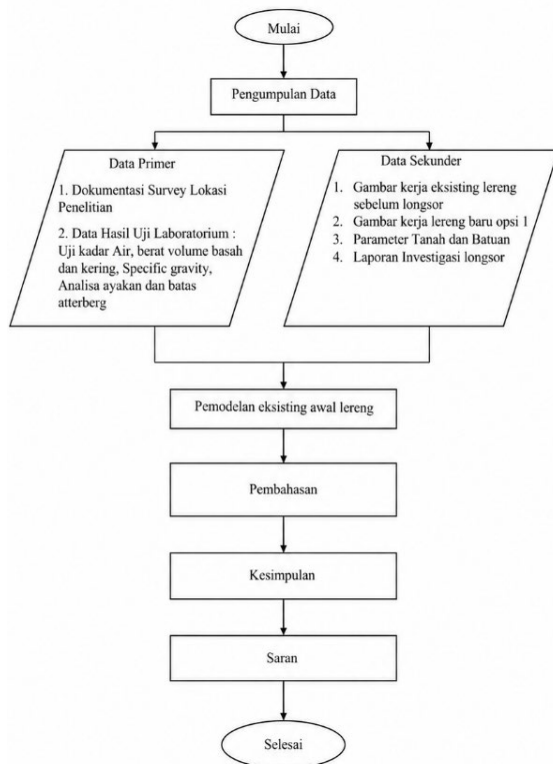


Gambar 2. Peta Penelitian
Sumber : (Pemodelan Arcgis)



Gambar 3. Lokasi Penelitian Tugas Akhir
Sumber : (Google Earth)

3.2 Bagan Alir Penelitian

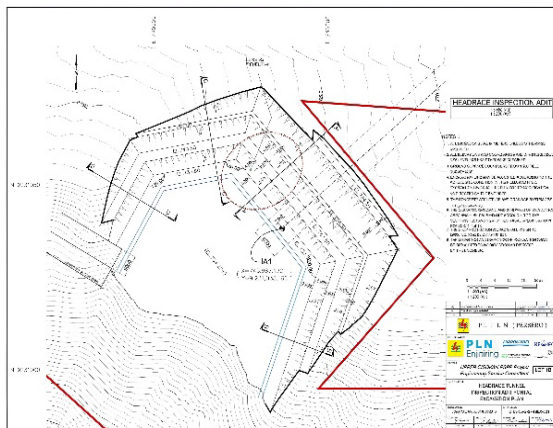


Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

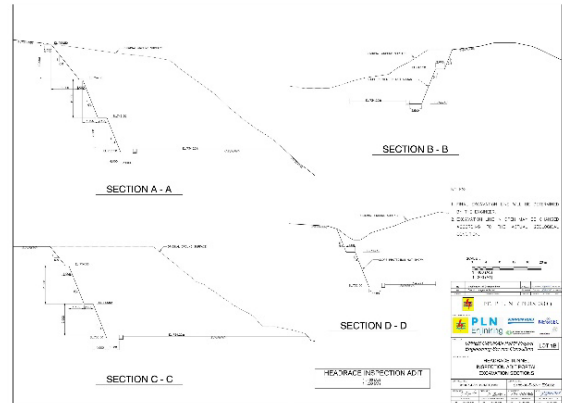
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Geometri Eksisting Lereng Longsor Inspection Adit

Karakteristik geometri lereng dapat ditinjau dari beberapa aspek, yaitu tinggi lereng, kemiringan lereng, jumlah tingkat pada lereng dan jenis perkuatan yang digunakan. Beberapa aspek tersebut dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6 yang merupakan gambar kerja tampak atas dan tampak samping lereng.



Gambar 5. Tampak Atas Geometri Lereng
Sumber : (PT. PLN Enjiniring)



Gambar 6. Tampak Samping Geometri Lereng
Sumber : (PT. PLN Enjiniring)

Berdasarkan gambar 5 dan gambar 6 yang menunjukkan gambar geometri lereng, maka dapat dilihat lereng tersebut memiliki karakteristik geometri sebagai berikut :

1. Total bench adalah sebanyak 3 tingkat.
2. Lereng memiliki tinggi total 31 m, yang dimulai dari ketinggian 733,5 m – 764,5 m.
3. Pada tingkat pertama dan tingkat kedua lereng memiliki kemiringan : (V:H) _{1, 2} = 1:04 = 68,3 °.
4. Pada tingkat ketiga lereng memiliki kemiringan : (V:H) ₃ = 1:08 = 51°.
5. Perkuatan yang digunakan adalah kombinasi perkuatan *shotcrete* dan *rockbolt*.

Tabel 1. Klasifikasi Kemiringan Lereng menurut Van Zuidam (1983)

Kelas	Kemiringan Lereng (°)	Klasifikasi
1	0 - 1.15	Datar (<i>flat to almost flat</i>)
2	1.15 - 4	Agak landai (<i>gentle sloping</i>)
3	4 - 8.5	Landai (<i>sloping</i>)
4	8.5 - 16.7	Agak curam (<i>monderately steep</i>)
5	16.7 - 35	Curam (<i>steep</i>)
6	35 - 54.5	Sangat curam (<i>very steep</i>)
7	> 54.5	Terjal (<i>extremely steep</i>)

Sumber : (PT. PLN Enjiniring, 2025)

Berdasarkan klasifikasi kemiringan Van Zuidam (1983), lereng eksisting Inspection Adit memiliki dua kategori kemiringan, yaitu kemiringan 68,3° yang tergolong dalam kelas 7 dengan kemiringan melebihi 54,5° dan lereng tersebut termasuk dalam kategori lereng terjal

(*extremely steep*). Kemiringan lainnya adalah 51° yang tergolong dalam kelas 6 dengan kemiringan berada di antara 35° - 54,5° dan termasuk dalam kategori lereng sangat curam (*very steep*). Karakteristik lereng yang curam dan terjal yang menjadi salah satu faktor terjadinya kegagalan lereng pada area tersebut.

4.2 Karakteristik Geoteknik Eksisting Lereng Longsor Inspection Adit

Karakteristik geoteknik Lereng merupakan beberapa sifat fisik, sifat mekanik, struktur permukaan lereng dan struktur internal lereng yang menjadi penentu tingkat kestabilan lereng dan penyebab terjadinya kegagalan lereng. Pada area ini memiliki karakteristik tanah batuan yang tergolong dalam kategori batuan buruk. Lereng memiliki tiga lapisan batuan penyusun lereng yang merupakan jenis batuan lapuk, yaitu batuan lereng dibawah tingkat pertama didominasi dengan batuan kelas IV, lereng tingkat pertama dan kedua memiliki batuan kelas Va yang dominan serta lereng tingkat ketiga tersusun oleh batuan kelas Vb. Jadi lereng tersusun oleh batuan kelas IV, batuan kelas Va dan batuan kelas Vb. Untuk parameter dan spesifikasi batuan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Parameter Tanah Hasil Pengujian Laboratorium PLTA Upper Cisokan

	Ts	VB	VA	IV
C [kN/m ²]	60	120	280	450
φ [deg]	35	17	28	35
γ unsat [kN/m ³]	18	21	22	24
γ sat [kN/m ³]	20	23	24	27

Sumber : (PT. PLN Enjiniring, 2025)

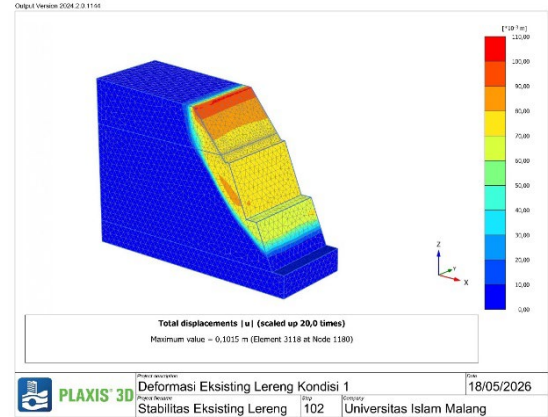
Tabel 3. Karakteristik Material Batuan Penyusun Lereng

Batuan	C (Mpa)	Klasifikasi	γ, kN/m ³	Kondisi
IV	0.45	Poor Rock	21	Medium hard, Rock Texture, Very Dense Joints
Va	0.28	Very Poor Rock	22	Soft, Rock Texture, Stiff or Medium Hard
Vb	0.12	Very Poor Rock	24	Very Soft, Slight Rock Texture, Loose

Sumber : (PT. PLN Enjiniring, 2025)

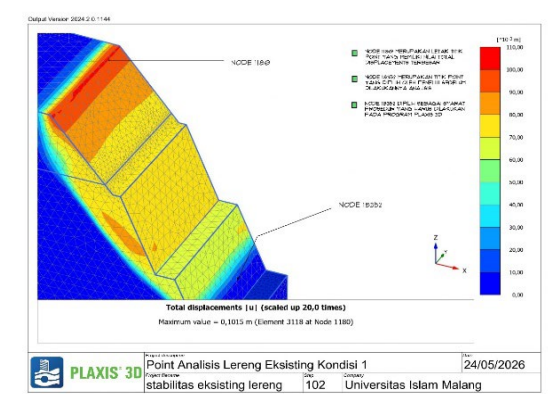
4.3 Analisis Total Displacements Lereng

a. Lereng Tanpa Perkuatan



Gambar 7. Deformasi Eksisting Longsor Lereng Tanpa Perkuatan
Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)

b. Lereng Tanpa Perkuatan



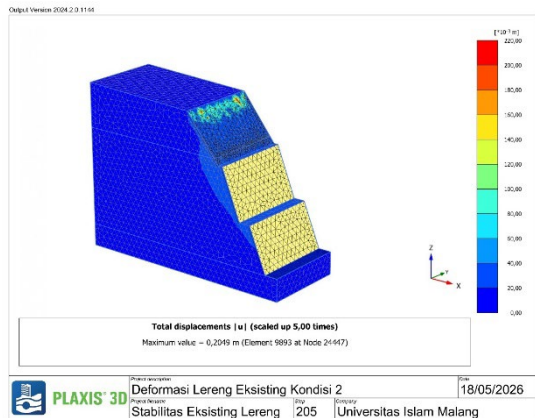
Gambar 8. Detail Letak Point Analisis Lereng Tanpa Perkuatan
Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)

Dari hasil analisis tersebut lereng memilikipola keruntuhan yang cukup kritis berkembang dari bagian atas sampai bagian bawah lereng. Deformasi terbesar berada pada crest lereng dan bagain atas lereng yang ditunjukkan oleh warna merah dan orange. Hasil analisis juga menunjukkan nilai deformasi maksimum adalah 0,1015 m yang terletak pada node 1180.

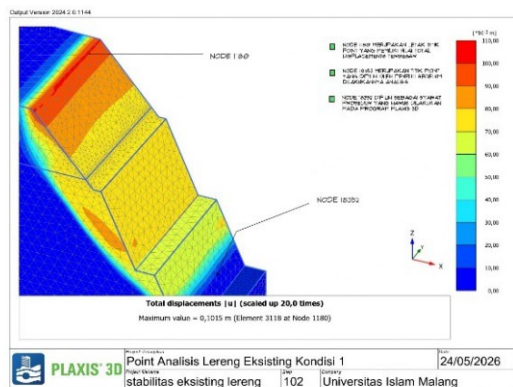
c. Lereng Perkuatan Shotcrete

Kondisi lereng asli tanpa adanya perkuatan memiliki kondisi tidak stabil. Hal tersebut ditandai dengan nilai maksimum total displacements sebesar 0,10105 m. Oleh karena itu perkuatan shotcrete digunakan sebagai

pencegah pertama agar tidak terjadi erosi pada permukaan lereng.



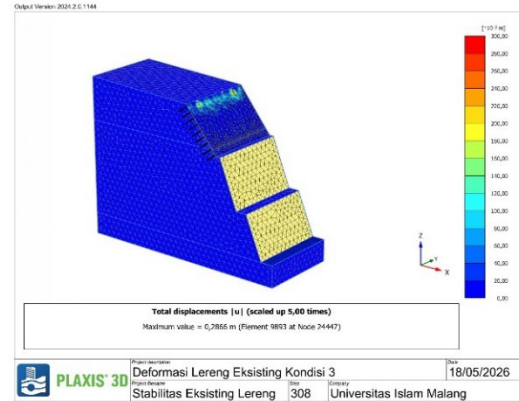
Gambar 9. Deformasi Eksisting Longsor Lereng Perkuatan Shotcrete
Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)



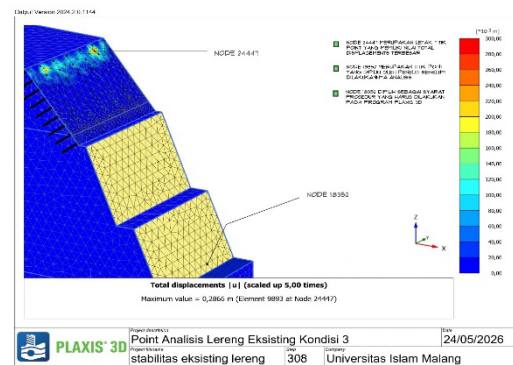
Gambar 10. Detail Letak Point Analisis Lereng Perkuatan Shotcrete
Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)

Berdasarkan hasil analisis tersebut, lereng ini telah memiliki perkuatan safety shotcrete sebagai perkuatan pertama untuk mencegah material tanah tidak berjatuh agar tidak mengganggu pekerjaan konstruksi lereng. Hasil analisis menunjukkan nilai maksimum deformasi semakin meningkat menjadi 0,2049 pada point node 24447. Pada kondisi terjadi dua deformasi berbeda, yaitu deformasi yang menyebar ke bagian bawah lereng membentuk pola keruntuhan global dan deformasi yang terpusat pada bagian atas lereng yang membentuk pola keruntuhan lokal menyebar di beberapa bagian atas lereng.

d. Lereng Perkuatan *Shotcrete* dan *Rockbolt*



Gambar 11. Deformasi Eksisting Longsor Lereng Perkuatan *Shotcrete* dan *Rockbolt*
Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)



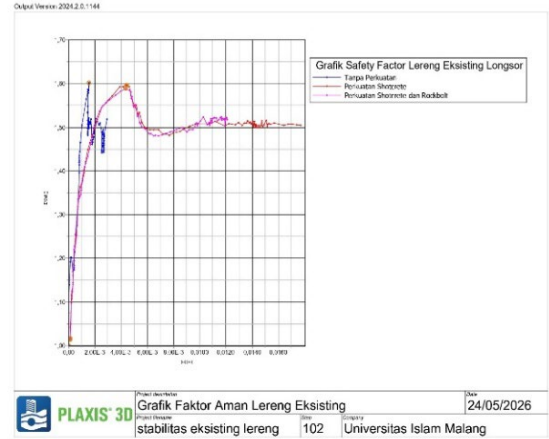
Gambar 12. Detail Letak Point Analisis Lereng Perkuatan *Shotcrete* dan *Rockbolt*
Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)

Pada kondisi ini lereng sudah mengalami kombinasi perkuatan yaitu shotcrete dan rockbolt. Lereng memiliki pola keruntuhan global yang menyebar dari bagian atas hingga bagian bawah lereng sudah tidak ada dan hanya ada pola keruntuhan kecil yang terdapat pada bagian atas lereng. Namun nilai deformasi semakin meningkat menjadi 0,2866 m yang terletak pada point node 24447. Nilai 0,2866 m merupakan nilai akhir total displacements pada analisis lereng ini.

4.4 Analisis Faktor Aman Lereng

Berdasarkan gambar 13 menunjukkan grafik Safety Factor yang mengalami naik turun pada setiap fase analisis. Pada analisis lereng tanpa perkuatan memiliki nilai faktor aman lereng sebesar 1,519, pada analisis lereng dengan perkuatan *shotcrete* memiliki nilai

faktor aman sebesar 1,505 dan pada analisis lereng dengan kombinasi perkuatan *shotcrete* – *rockbolt* memiliki nilai faktor aman lereng sebesar 1,518. Nilai akhir dari analisis faktor aman lereng ini adalah 1,518. Dari hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai faktor aman 1,518 belum cukup untuk mencegah terjadinya kelongsoran lereng pada area ini. Untuk detail perkembangan nilai faktor aman dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 13. Grafik *Safety Factor* Eksisting Lereng Longsor Inspection Adit
 Sumber : (Analisis Software Plaxis 3D)

Tabel 4. Nilai Faktor Aman Lereng Eksisting Awal Tanpa Perkuatan

Faktor Aman Lereng Eksisting Awal Tanpa Perkuatan				
Point	Phase	Step	u [10 ⁻³ m]	ΣMsf []
101	1	100	2,724	1,479
102	1	101	2,791	1,499
103	1	102	2,938	1,519

Sumber : (Analisis Plaxis 3D, 2026)

Tabel 5. Nilai Faktor Aman Lereng Eksisting Awal Perkuatan Shotcrete

Faktor Aman Lereng Eksisting Perkuatan Shotcrete				
Point	Phase	Step	u [10 ⁻³ m]	ΣMsf []
205	3	203	17,082	1,507
206	3	204	17,411	1,506
207	3	205	17,729	1,505

Sumber : (Analisis Plaxis 3D, 2026)

Tabel 6. Nilai Faktor Aman Lereng Eksisting Awal Perkuatan Shotcrete dan Rockbolt

Faktor Aman Lereng Eksisting Awal Perkuatan Shotcrete dan Rockbolt				
Point	Phase	Step	u [10 ⁻³ m]	ΣMsf []
308	5	306	12,033	1,522
309	5	307	12,057	1,521
310	5	308	12,101	1,518

Sumber : (Analisis Plaxis 3D, 2026)

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Karakteristik geometri Lereng eksisting longsor *inspection adit* adalah lereng memiliki ketinggian total 31 m, lereng terbagi menjadi 3 tingkat lereng, lereng tingkat pertama dan kedua lereng memiliki kemiringan 68,3° yang tergolong dalam kategori lereng terjal, lereng tingkat ketiga memiliki kemiringan 51° yang tergolong dalam kategori lereng sangat curam dan lereng memiliki kombinasi perkuatan *shotcrete* – *rockbolt*. Karakteristik geoteknik lereng adalah batuan penyusun lereng terbagi menjadi 3 lapisan batuan, antara lain batuan kelas IV yang tergolong dalam kategori *poor rock*, batuan kelas Va yang tergolong dalam kategori *very poor rock*, dan batuan kelas Vb yang juga tergolong dalam kategori *very poor rock*.
- Lereng memiliki nilai total displacements akhir sebesar 0,2866 m dan nilai *safety factor* akhir sebesar 1,518.

5.2 Saran

- Untuk alternatif geometri lereng baru sebaiknya menggunakan derajat kemiringan yang tergolong dalam kategori landai.
- Untuk nilai *total displacements* lereng alternatif baru sebaiknya harus memiliki nilai kurang dari 0,2866 m
- Untuk nilai faktor aman lereng alternatif baru sebaiknya harus jauh melebihi 1,518 agar tidak terjadi kelongsoran lereng.
- Sebaiknya gunakanlah kombinasi

perkuatan lereng yang cocok dengan kondisi geoteknik lereng.

5. Sebaiknya pelajari lebih lanjut terkait Plaxis 3D agar tidak terjadi kesalahan yang akan menghambat proses analisis stabilitas lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Irawan, L. Y., Syafi'i, I. R., Rosyadi, I., Siswanto, Y., Munawaroh, A., Wardhani, A. K., & Saifanto, B. A. (2020). Analisis potensi rawan bencana tanah longsor di Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 25(2), 102–113.
- [2] Gabriella, V., Pangemanan, M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN METODE FELLENIUS (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), 37–46.
- [3] Silitonga, J., Ikhwan Yani, M., & ir Suradji Gandi, dan M. (2021). *KORELASI CPT DAN SPT TERHADAP KUAT GESER TANAH DALAM MENENTUKAN DAYA DUKUNG TANAH* (Vol. 4).
- [4] Endayanti, M., Ong, M., Mahara, W., & Dakhi, A. (2023). *Analisa+Tegangan+Geser*.
- [5] Putra, A. P., Syafriyandi, D., Unggul, U. E., Barat, J., & Hingga, M. E. (2025). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Finite Element Method untuk Pembangunan Jembatan Wai Apu. *Jurnal Engineering*, 7, 2–11.
- [6] Ning, H., Ou, J., & Jin, J. (2025). Experimental Study on Instability of Shotcrete Reinforced Slope Based on Embedded Anchor Sensor. *Sensors*, 5(20). <https://doi.org/10.3390/s25206493>.
- [7] Frenelus, W., Peng, H., & Zhang, J. (2022). An Insight from Rock Bolts and Potential Factors Influencing Their Durability and the Long-Term Stability of Deep Rock Tunnels. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/su141710943>.