

Rekayasa Lereng Andesit Menggunakan Metode Finite-Element

Ruslan Loilatu¹, Andy ErwinWijaya¹

¹ Jurusan Magister Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : Ruslanloilatu1@gmail.com

ABSTRAK

Pengumpulan data studi geoteknik meliputi pemetaan geoteknik, pengamatan model longsoran yang dapat terjadi, dan melakukan sampling untuk pengujian sifat fisik dan sifat mekanik. Kajian geoteknik yang dilakukan adalah dengan menganalisis kelongsoran pada lereng produksi, metode analisis yang digunakan dalam analisis longsoran pada lereng adalah metode kinematik, analisis dengan metode ini menggunakan input parameter massa batuan, bidang diskontinuitas, dan geometri lereng produksi. Dari hasil analisis longsoran menggunakan metode kinematik didapatkan longsoran yang berpotensi terjadi adalah longsoran bidang sebesar 47,50%. Untuk lereng dengan kondisi yang optimal dibandingkan dua variasi sudut yang lain adalah lereng dengan kemiringan 50° dan tinggi maksimum 10 m dengan SRF sebesar >1,25 yang bisa dijadikan sebagai rekomendasi lereng yang optimal, lereng dengan kemiringan tersebut jika dimodelkan dengan beberapa variasi ketinggian yaitu 5 m memiliki SRF sebesar 2,02, ketinggian 10 m memiliki SRF 1,48, dan ketinggian 15 m memiliki SRF sebesar 1,28, yang menunjukkan ketiga variasi ketinggian dengan menggunakan kemiringan 50° memiliki nilai FK >1,25, sedangkan jika ketinggian dibuat melebihi batas ketinggian 15 m maka lereng akan berpotensi longsor. Analisis kestabilan lereng keseluruhan menggunakan Finite Element Method (FEM) menunjukkan lereng keseluruhan dalam kondisi stabil dilihat dari nilai Faktor Keamanan (FK) yang didapatkan sebesar 1,26, untuk analisis kestabilan lereng tunggal lereng dimodelkan dengan tiga variasi kemiringan dan tiga variasi ketinggian untuk mengetahui batas minimum geometri lereng yang optimal, untuk lereng dengan kemiringan 50° nilai SRF yang didapatkan dari hasil pemodelan >1,25 yang menunjukkan lereng tersebut dalam kondisi stabil, lereng yang memiliki faktor keamanan <1,25 (tidak stabil) yaitu lereng dengan kemiringan 70° yang menunjukkan jika lereng dibuat semakin tinggi maka dapat terjadi kelongsoran pada lereng tambang.

Kata kunci: Kajian Geoteknik, Stabilitas Lereng Keseluruhan, Faktor Keamanan, FEM, Geometri Lereng Aktual.

ABSTRACT

Geotechnical study data collection includes geotechnical mapping, observations of landslide models that can occur, and sampling for physical and mechanical properties testing. The geotechnical study carried out is by analyzing slides on production slopes, the analytical method used in the analysis of landslides on slopes is the kinematic method, analysis with this method uses rock mass parameters, discontinuity planes, and production slope geometry as input. From the results of avalanche analysis using the kinematic method, it was found that the landslide that has the potential to occur is a field avalanche of 47,50%. The overall slope stability analysis using the Finite Element Method (FEM) shows the overall slope is in a stable condition seen from the value of the Safety Factor (FK) which is 1,26. For single slope stability analysis, the slope is modeled with three variations of slope and three variations of height to determine the minimum limit for optimal slope geometry, for slopes with a slope of 50° the SRF value obtained from the modeling results > 1.25 which shows the slope is in stable condition, the slope is stable. has a safety factor of <1.25 (unstable), namely a slope with a slope of 70° which indicates that if the slope is made higher, a landslide can occur on the mine slope. For slopes with optimal conditions compared to the other two angle variations, slopes with a slope of 50° and a maximum height of 10 m with an SRF of > 1.25 which can be used as optimal slope recommendations, slopes with this slope if modeled with several variations in height, namely 5 m has an SRF of 2,02, a height of 10 m has an SRF of 1.48, and a height of 15 m has an SRF of 1.28, which shows three variations in height using a slope of 50° have an FK value > 1.25, whereas if the height is made to exceed the height limit 10 m, the slope will have the potential for landslides.

Keyword : Geotechnical Studies, Overall Slope Stability, Safety Factors, FEM, Actual Slope Geometry.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Optimasi lereng tambang dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan dari suatu lereng, pada kegiatan tambang terbuka terdapat berbagai aktivitas yang dapat mempengaruhi lereng produksi tidak aman karena terdapat getaran dari aktivitas alat berat dan kegiatan peledakan yang dapat menyebabkan kelongsoran pada lereng maka dari itu perlu dilakukan optimasi lereng yang sesuai, faktor yang menyebabkan terjadinya kelongsoran pada lereng tambang mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, groundwater conditions, kondisi struktur, gaya yang berasal dari luar dan masa batuan.

Pada kegiatan penambangan salah satu faktor yang sangat penting untuk diperhatikan adalah faktor geoteknik yaitu kemantapan lereng, karena faktor kemantapan lereng ini menyangkut keselamatan pekerja dan juga setiap alat yang ada pada kegiatan penambangan, dalam kondisi lereng yang memiliki tingkat kelongsoran yang tinggi rekayasa geoteknik sangat diperlukan agar terhindar dari kelongsoran lereng tambang karena dapat mempengaruhi kegiatan produksi.

Pada daerah Penelitian masalah yang harus diperhatikan adalah kestabilan lereng, karena lereng bukaan tambang akan berpengaruh pada kegiatan penambangan yang dilakukan, salah satunya yaitu akan memperlambat kegiatan produksi dan juga aspek-aspek lain dalam penambangan, merencanakan lereng tambang ini harus dilakukan untuk mendapat saran lereng tambang yang aman, untuk dapat terhindar dari runtuh atau longsoran yang terjadi pada lereng tambang.

Identifikasi Masalah

- Adanya struktur-struktur yang berkembang sehingga terdapat bidang lemah pada lereng tersebut.
- Adanya longsoran pada lereng produksi.
- Adanya pengaruh getaran dari faktor gempa dan getaran yang ditimbulkan dari hasil peledakan.
- Geometri lereng tambang yang belum sesuai.

Tujuan Penelitian

- Mengetahui jenis longsoran pada lereng produksi.
- Mengetahui kestabilan lereng keseluruhan.
- Mengetahui kestabilan dari rancangan geometri lereng tunggal.
- Mengetahui geometri lereng tambang yang optimal untuk digunakan.

Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi :

- Menggunakan metode elemen hingga dalam analisis kemantapan lereng untuk mendapatkan nilai faktor keamanan yang optimal.
- mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng.
- Melakukan pengukuran bidang diskontinuitas pada lereng guna mengidentifikasi jenis longsoran yang memungkinkan terjadi pada lereng andesit.

Anggapan Dasar

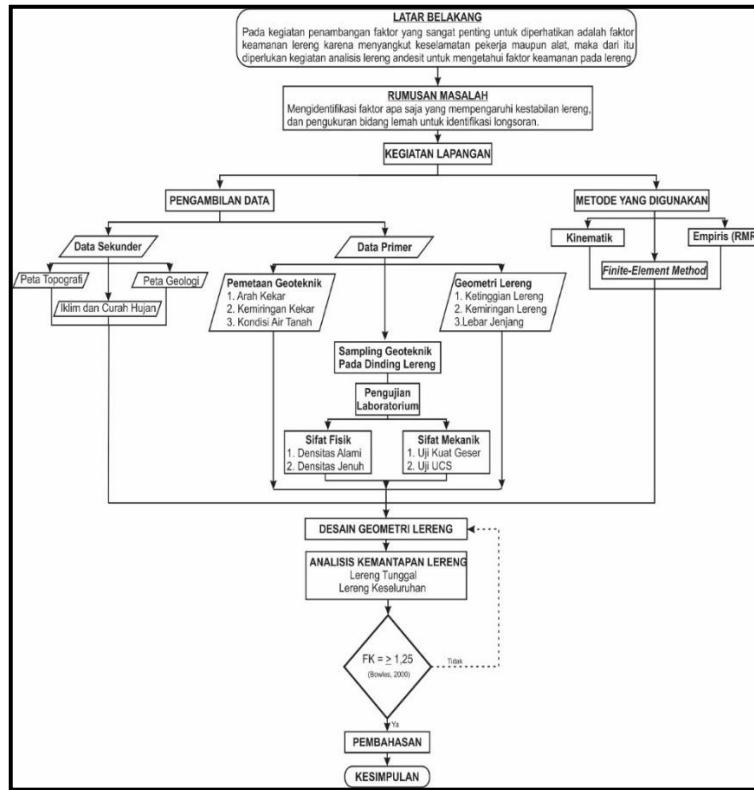
- Analisis kestabilan lereng andesit menggunakan metode elemen hingga untuk mengetahui besar perpindahan maksimum pada lereng sehingga dapat menggambarkan model runtuh pada lereng.
- Metode elemen hingga memiliki prinsip pengurangan nilai kuat geser sehingga dapat menginformasikan nilai faktor keamanan pada lereng.
- Analisis jenis longsoran yang mungkin berpotensi menggunakan metode kinematik yang memakai pemetaan geoteknik.

METODE PENELITIAN

Data primer adalah data yang didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan, atau data perusahaan yang belum dipublikasikan, data yang primer yang didapatkan seperti sampel batuan, data kekar, yang akan mendukung dalam rekayasa geoteknik. Data Sekunder. Data sekunder adalah data penunjang dalam pengolahan data yang sudah dipublikasikan seperti peta topografi, peta geologi, peta morfologi yang bisa dibuat menggunakan data Rupa Bumi Indonesia (RBI).

Pengolahan data yang dilakukan menggunakan data yang sudah didapatkan dari studi literatur, data primer, dan juga data sekunder, pengolahan data ini menggunakan bantuan software pemodelan lereng dan software untuk mengetahui jenis longsoran.

Analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga dengan memodelkan lereng menggunakan bantuan software sehingga dapat diketahui faktor keamanan pada tiap lereng, untuk analisis longsoran menggunakan metode kinematik, dan analisis untuk kestabilan lereng juga memakai klasifikasi rock mass rating (RMR).



HASIL DAN ANALISIS

Pengumpulan Data

Pengumpulan data studi geoteknik pada tambang andesit PT Mitra Multi Sejahtera ini meliputi pemetaan geoteknik, pengamatan kondisi air tanah, pengamatan jenis longsoran yang dapat terjadi, dan sampling untuk uji sifat fisik dan mekanik di laboratorium, analisis kestabilan lereng ini dilakukan guna mendapatkan rekomendasi lereng optimal.

Pemetaan Geoteknik

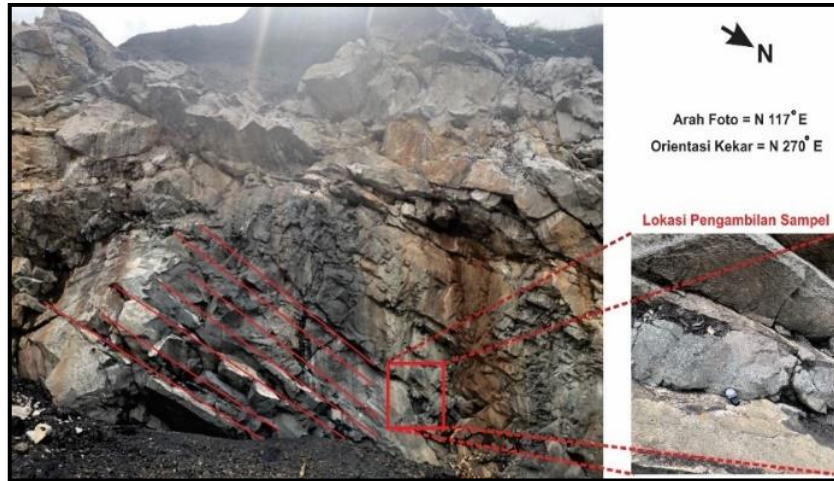
Pemetaan geoteknik ini dilakukan untuk mendapatkan informasi yang akan digunakan untuk memenuhi parameter dalam memodelkan lereng optimal seperti kondisi massa batuan yang digunakan untuk menentukan parameter kekuatan dari lereng tersebut. Data yang didapatkan dari pemetaan geoteknik ini meliputi RQD, joint spacing, the strength indeks, joint conditions, ground water conditions, dan orientasi bidang diskontinuitas.

Pengukuran geometri lereng aktual dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran untuk mendapatkan rata-rata dari nilai tinggi lereng dan kemiringan lereng, untuk ketinggian lereng didapatkan rata-rata sebesar 16 m, sedangkan untuk kemiringan lereng didapatkan rata-rata sebesar 77° yang akan dijadikan sebagai desain lereng awal sebelum melakukan pemodelan lereng untuk mendapatkan FK optimal sebagai rekomendasi desain lereng yang akan dibuat, hasil pengukuran geometri lereng aktual dapat dilihat pada table

Tabel 1. Geometri Aktual

No	Pengukuran Geometri Lereng Aktual		
	Arah Kemiringan Lereng (N°E)	Kemiringan Lereng (°)	Tinggi Lereng (m)
1	330	80	17,2
2	289	81	14,6
3	312	74	16
4	275	76	17,5
5	324	82	15,4
6	291	72	13,9
7	342	71	16,7
8	277	80	14,1
9	276	73	16,8
10	319	81	13,2
Mean	303,5	77	16

Pengambilan sampel batuan dalam kondisi fresh, dari hasil deskripsi secara megaskopis sampel batuan dengan jenis batuan beku intermediet memiliki warna abu-abu, ukuran butir faneritik, dengan genesa batuan ekstrusif, dari deskripsi secara megaskopis tersebut merupakan batuan andesit.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Nilai sifat fisik dan mekanik batuan diperoleh berdasarkan pengujian terhadap 2 sampel yang diambil dan dianggap mewakili, yaitu melalui uji sifat fisik yang terdiri dari natural density, saturated density, dry density, dan porosity. Dan uji sifat mekanik diperoleh berdasarkan uji kuat geser, kuat tarik, dan kuat tekan, Data hasil uji kuat fisik dapat dilihat pada tabel 4.3, untuk data hasil uji sifat mekanik dapat dilihat pada table

Tabel 2. Uji Sifat Fisik Batuan

No	Parameter	Sampel 1	Sampel 2
1	Natural Mass, W_n (gr) (massa asli)	102,14	89,81
2	Natural Density, $\rho_n = W_n / (W_w - W_s)$	2,56	2,48
3	Saturated Density, $\rho_s = W_w / (W_w - W_s)$	2,57	2,49
4	Dry Density, $\rho_d = W_o / (W_w - W_s)$	2,48	2,33
5	Porosity, $n = ((W_w - W_o) / (W_w - W_s)) \times 100 \%$	9,57	15,92
6	Void Ratio, $e = n / (1 - n)$	0,1	0,18

Tabel 3. Uji Sifat Mekanik Batuan

Pengujian	Parameter	No Sampel		Litologi	Rata-Rata
		1	2		
Unconfined Compression Strength (UCS)	σ_c (MPa)	56,838	63,119	Andesit	59,97
Mpa	E (MPa)	20.320,40	19.505,30		19,912
	ν	0,217	0,217		0,217
	Apparent Friction Angle Below Stress	40,15	39,42		39,78
	Residual Friction Angle	28,19	27,55		27,87
Direct Shear	Cohesion	2,8	2,68		2,74
	Apparent Cohesion	1,68	1,63		1,655
Brazilian Strength	(Mpa)	12,32	11,26		11,79

Jenis Longsor

Analisis longsor yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan metode kinematik yang digunakan dalam menganalisis potensi keruntuhan lereng dengan teknik stereografis. Lereng dengan jurus dan kemiringan (strike/dip) N286oE/83o, dan tinggi lereng 16 meter, bentangan scanline yang dilakukan sepanjang 25 meter, jumlah data kekar yang diambil pada bentangan tersebut sebanyak 40 data dengan jarak dari tiap bidang kekar mulai dari 10-100 cm, yang akan dijadikan input dalam menganalisis longsor menggunakan software, jurus dan kemiringan dari bidang lemah rata-rata berada pada kuadran 3 yaitu N270DegE/68 Deg.

Tabel 4. Pengukuran Scanline

Kedudukan Scanline	Panjang Scanline	Ketinggian Lereng
N 246° E/ 83°	25 meter	16 meter

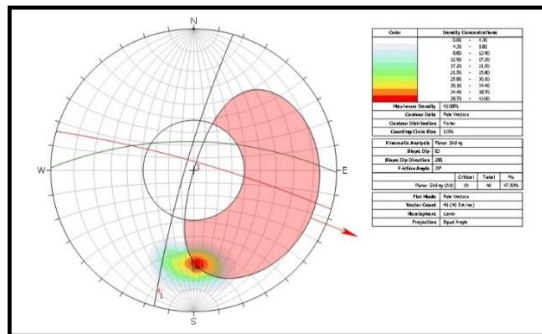


Gambar 2. Pengukuran Scanline

Analisis kinematik menggunakan proyeksi stereografis bertujuan untuk mengetahui potensi longsor yang terdapat pada rancangan lereng andesit dan mengetahui kestabilan lereng dengan berdasarkan orientasi bidang diskontinu dan sudut gesek dalam. Data yang dibutuhkan antara lain kemiringan dan arah kemiringan dari bidang diskontinu dan rancangan lereng, serta sudut gesek dalam. Dengan jurus dan kemiringan lereng yang diketahui untuk hasil analisis yang didapatkan longsor yang berpotensi terjadi adalah longsor bidang karena dari hasil analisis menunjukkan arah bidang lemah dan arah lereng hampir sejajar yaitu 286 dan 270, dan untuk syarat lainnya yang menunjukkan longsor bidang adalah sudut gesek dalam lebih kecil dari sudut kekar dan sudut lereng, sehingga persenan yang didapatkan dengan analisis menggunakan stereografis potensi untuk longsor bidang sebesar 47,50%

Tabel 5. Hasil Analisis Kinematik

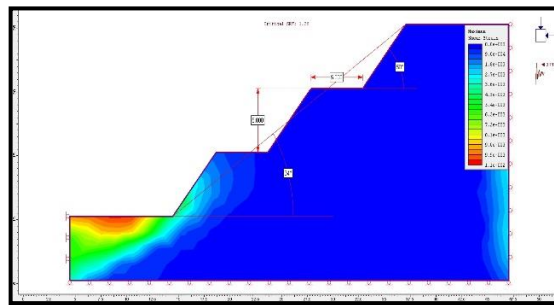
No	Longsoran	ϕ (°)	α_f (N..°E)	α_i (N..°E)	ψ_f (°)	ψ_i (°)	Syarat Analisis Kinematik	
							$\alpha_f \approx \alpha_i; (\pm 20^\circ)$	$\psi_f > \psi_i > \phi$
1	Bidang	39,42	286	270	83	68	Memenuhi	Memenuhi



Gambar 3. Potensi Longsoran Bidang

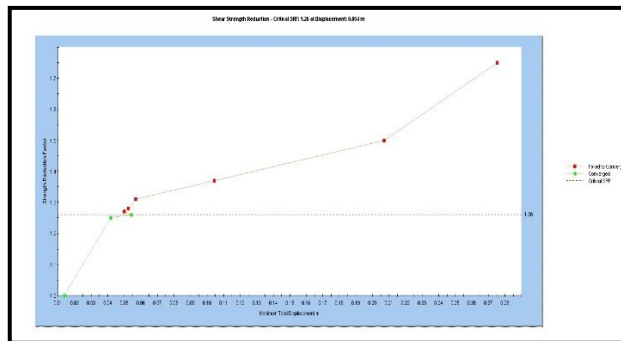
Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

Analisis lereng keseluruhan dibuat dengan menggunakan geometri lereng tunggal yang paling optimal dari rancangan geometri lereng tunggal yang sudah dianalisis, geometri lereng tunggal yang dipakai untuk rancangan lereng keseluruhan yaitu lereng dengan kemiringan 50o, dan ketinggian 5 m karena lereng dengan kemiringan tersebut jika memakai variasi ketinggian yang berbeda akan tetap menghasilkan FK >1,25. Pemodelan lereng keseluruhan dengan sudut 50o dan tinggi 5 m didapatkan nilai SRF sebesar 1,26 yang menunjukkan desain lereng dengan geometri tersebut termasuk desain lereng yang aman yang bisa dijadikan rekomendasi.



Gambar 4. Lereng Keseluruhan

Dari hasil pemodelan tersebut, didapatkan grafik hubungan antara nilai SRF dan *Maximum Total Displacement* (MTD) menunjukkan bahwa pada lereng dengan kondisi kering dapat mengalami pergerakan muka lereng statis maksimal sebesar 0,054 m.



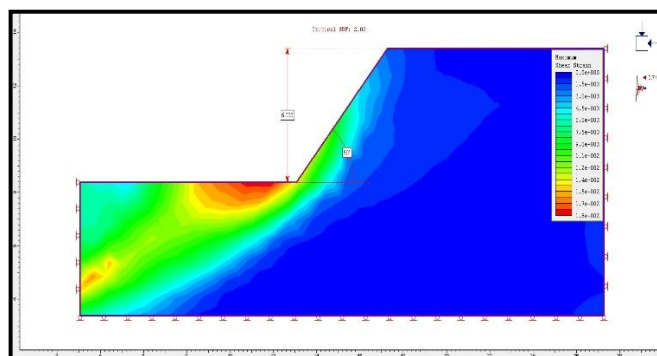
Gambar 5. Grafik Hubungan *Displacement* dan SRF

Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Dalam analisis lereng tunggal menggunakan tiga variasi ketinggian dan tiga variasi kemiringan untuk mengetahui besar perpindahan maksimum dari tiap-tiap variasi geometri lereng, yaitu menggunakan variasi ketinggian 5 m, 10 m, 15 m, dan tiga variasi kemiringan 50o, 60o, 70o, dari tiap-tiap variasi tersebut akan menghasilkan nilai SRF dan nilai total perpindahan maksimum yang berbeda-beda.

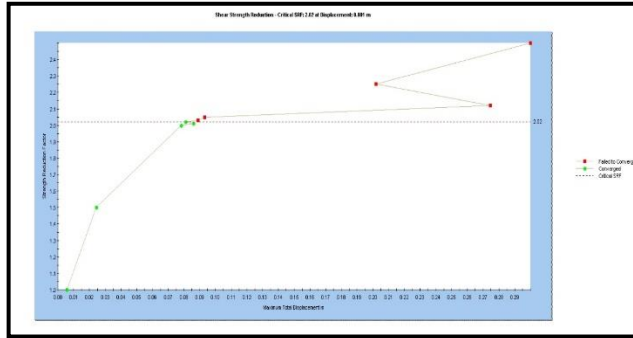
Lereng Ketinggian 5m

Lereng dengan ketinggian 5 m dimodelkan dengan tiga sudut lereng yang berbeda yaitu 50o, 60o, 70o, dari ketiga variasi didapatkan faktor keamanan yang menunjukkan lereng masih dalam kondisi stabil yaitu >1,25. Pemodelan lereng dengan sudut 50o dan tinggi 5 m didapatkan nilai SRF sebesar 2,02 yang menunjukkan desain lereng dengan geometri tersebut termasuk desain lereng yang aman dan bisa digunakan sebagai acuan desain lereng



Gambar 4.7. H5m-S50°

Dari hasil pemodelan tersebut, didapatkan grafik hubungan antara nilai SRF dan *Maximum Total Displacement* (MTD) menunjukkan bahwa pada lereng dengan kondisi kering dapat mengalami pergerakan muka lereng statis maksimal sebesar 0,081 m.

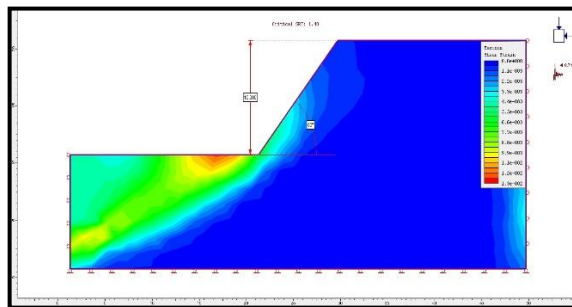


Gambar 4.8. Grafik Hubungan *Displacement* dan SRF

Lereng Ketinggian 10m

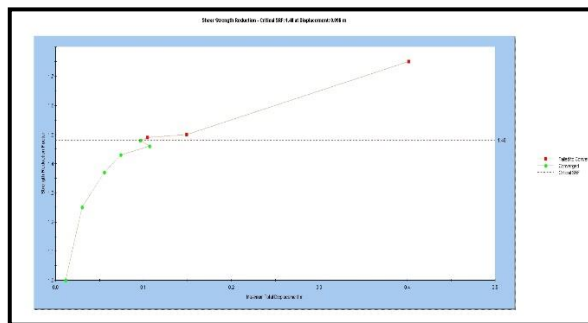
Lereng dengan ketinggian 10 m dimodelkan dengan tiga sudut lereng yang berbeda yaitu 50o, 60o, 70o, dari ketiga variasi tersebut dua diantaranya didapatkan faktor keamanan yang menunjukkan lereng dalam kondisi stabil (>1.25) dan salah satu desain memiliki faktor keamanan yang <1,25.

Pemodelan lereng dengan sudut 50o dan tinggi 10 m didapatkan nilai SRF sebesar 1,48 yang menunjukkan desain lereng dengan geometri tersebut termasuk desain lereng yang aman dan bisa digunakan sebagai acuan desain lereng



Gambar 4.13. H10m-S50°

Dari hasil pemodelan tersebut, didapatkan grafik hubungan antara nilai SRF dan *Maximum Total Displacement* (MTD) menunjukkan bahwa pada lereng dengan kondisi kering dapat mengalami pergerakan muka lereng statis maksimal sebesar 0,096 m.



Gambar 4. Grafik Hubungan *Displacement* dan SRF

KESIMPULAN

Dalam menganalisis longsor yang menggunakan metode kinematik dapat mengetahui potensi longsor berdasarkan parameter orientasi bidang diskontinu, orientasi lereng dan sudut geser dalam. Orientasi bidang diskontinu dan lereng memiliki pengaruh terhadap jenis potensi longsor yang dapat terjadi di lereng andesit, hasil analisis mendapatkan bidang gelincir searah dengan lereng atau hampir sejajar dengan toleransi $\pm 20^\circ$ ($\alpha_f \approx \alpha_i; \pm 20^\circ$), sudut kemiringan bidang gelincir lebih kecil dari sudut kemiringan lereng ($\psi < \psi_f$) dan kemiringan bidang gelincir lebih besar dari sudut gese dalam ($\psi > \phi$), dari hasil analisis yang didapatkan mencirikan potensi terjadinya longsor bidang.

Analisis kestabilan lereng tunggal menggunakan metode elemen hingga yang dapat menghitung tegangan dan perpindahan pada material, grafik perbandingan SRF dan maximum total displacement untuk mengetahui berapa besar strain yang dibutuhkan untuk menggerakkan beberapa meter material. Lereng tunggal yang dianalisis merupakan lereng produksi dengan menggunakan tiga variasi ketinggian 5m, 10m, 15, meter dan tiga variasi sudut lereng 50o, 60o, 70o, kestabilan lereng tunggal dapat terpengaruhi oleh kegiatan produksi yang dilakukan karena getaran yang ditimbulkan pada saat kegiatan produksi menyebabkan adanya bidang lemah baru pada lereng, SRF yang terdapat pada lereng dapat dioptimalkan lagi dengan cara mengubah geometri lereng.

Dari penyelidikan geoteknik yang dilakukan, serta analisis kestabilan lereng yang disimulasikan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Potensi longsoran pada lereng yang dapat terjadi disebabkan oleh bidang diskontinuitas yang terdapat pada lereng dan geometri lereng yang tidak sesuai sehingga dapat menimbulkan potensi longsoran bidang, untuk material pembentuk lereng tidak menyebabkan terjadi longsor karena material pembentuk lereng masih bisa mempertahankan kestabilan lereng tersebut.
2. Kestabilan lereng keseluruhan menggunakan tinggi 5 m dan kemiringan 50O, dari hasil pemodelan lereng keseluruhan didapatkan SRF 1,26, hasil analisis lereng keseluruhan tersebut masih tergolong stabil.
3. Dari analisis kestabilan lereng tunggal dengan ketinggian 5 m dan tiga variasi sudut didapatkan SRF untuk sudut 50o sebesar 2,02, sudut 60o sebesar 1,96, dan sudut 70O sebesar 1,88. Dari analisis kestabilan lereng tunggal dengan ketinggian 10 m dan tiga variasi sudut didapatkan SRF untuk sudut 50O sebesar 1,48, sudut 60O sebesar 1,34 dan sudut 70O sebesar 1,19. Dari analisis kestabilan lereng keseluruhan dengan ketinggian 15 m dan tiga variasi sudut didapatkan SRF untuk sudut 50O sebesar 1,88, sudut 60O sebesar 1,19 dan sudut 70O sebesar 0,95.
4. Untuk analisis kestabilan lereng tunggal didapatkan lereng dengan kondisi optimal yaitu lereng dengan kemiringan maksimum 50o dan tinggi 10 m karena menghasilkan SRF >1,25 sehingga dapat dijadikan sebagai acuan dalam mendesain geometri lereng pada lokasi penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan Papper ini penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya terhadap semua pihak yang turut andil dalam membantu untuk kelancaran penyusunan Papper Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada : Hendrik Lesmana, S.T. Selaku Kepala Teknik Tambang daerah penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Irwandy, "Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng," Jakarta : Gramedia Pustaka Utama, 2016.
- [2] M. A. Azizi, S. Kramadibrata, R. K. Wattimena, I. D. Sidi, S. Basuki, dan Suhedi, "Aplikasi Probabilistik Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan)," *Prosiding TPT XX PERHAPI Mataram 10-12 Oktober 2011*, 2011, pp. 511-521.
- [3] Brazilian, 1999 dalam Made, dkk, "Mekanika Batuan" Bandung : ITB, 2014.
- [4] Badan Pusat Statistik Kabupaten Cianjur. Kabupaten Cianjur dalam Angka. Cianjur: BPS Kab. Cianjur, 2018.
- [5] Badan Informasi Geospasial (BIS), "Demnas Kabupaten Cianjur," 2021. [online]. available at: <http://geospasial.co.id>. [diakses: 16 September 2021].
- [6] J. E. Bowles, "Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah," Jakarta: Erlangga, 1998.
- [7] D. Trisnawati, "Kajian Kekuatan Tanah dan Kestabilan Tubuh Tanggul Pada Rencana Tanggul Wedok Lumpur Sidoarjo," Repository Teknik Geologi Undip, 2019. [diakses: 9 Mei 2021].
- [8] Dawson, W. H. Roth, dan Drescher, "Slope Stability Analysis By Strength Reduction," UC San Diego, 1999.
- [9] G.Lane, "Strength Reduction Stability," Canada: Geo-Slope International Ltd, 1999.
- [10] R. F. Hirnawan, "Peran Faktor-Faktor Penentuan Zona Berpotensi Longsor dalam Mandala Geologi dan Lingkungan Fisiknya di Jawa Barat," *Majalah Ilmiah Universitas Padjajaran*, 1994.
- [11] Hoek, Evert, dan John Bray, "Rock Slope Engineering," The Institution Mining and Metallurgy. London, 1995.
- [12] R. D. Holtz dan W. D. Kovacs, "An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanic Series," 1981.
- [13] InstanTel, "Minimate Plus Series III," Canada, 2021.
- [14] Krahn dan Jhon, "The Limits of Limit Equilibrium Analysis," Canada, 2007.
- [15] Nuryanto, "Analisis Stabilitas dan Desain Perkuatan Lereng Kawasan Sentul," *Jurnal Teknik Gunadarma*, vol. 20, no. 2, 2021.
- [16] A. Pramulandani dan I. N. Hamdhan, "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D)," *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 86-97, 2012.
- [17] R. Metriani, Y. M. Anaperta, dan T. G. Saldy, "Analisis Balik Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Bishop pada Front II Existing Tambang Quarry PT Semen Padang," *Jurnal Bina Tambang*, vol. 4, no. 4, 2019. [online]. [diakses: 21 Maret 2021].



ISSN: 1907-5995

- [18] P. P. Hutayan dan T. Trides, “Analisis Pengaruh Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Finite Element Method pada PT. Bharinto Ekatama, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur,” *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 2, no. 2, 2003.
- [19] M. Romana, J. B. Seron, dan E. Montalar, “SMR Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating,” *Comprehensive Rock Engineering*, Editor: Hudson, J.A. Pergamon, 2003.
- [20] Sudjatmiko, “Peta Geologi Regional Lembar Cianjur. Pusat Pengembangan dan Penelitian Geologi,” Bandung, 1972.
- [21] Suratha Gde, “Kemantapan Lereng,” Direktorat Jenderal Pertambangan Umum Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung, 1994.
- [22] T. Liong, Gouw, dan J. G. H. Dave, “Analisis Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method,” Jakarta, 2012.
- [23] W. Bagus, dkk., “Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah terhadap Kestabilan Jenjang pada Dinding Akhir Penambangan,” Jakarta: PERHAPI, 2006.
- [24] S. Wibowo, M. Rinaldi, A. M. Azzam, Z. Zakaria, dan I. Sophian, “Kajian Kestabilan Lereng Batuan Menggunakan Klasifikasi Masa Batuan, Metode Elemen Hingga dan Analisis Batuan Jatuh,” *Padjajaran Geosience Jurnal*. Vol. 2, no. 5, pp. 364-375, 2018.