

Evaluasi dan Rekomendasi Geoteknik pada Lereng Produksi Penambangan Andesit PT Mitra Multi Sejahtera di Kecamatan Cikalong Kulon, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat

Nirmaya Wulandari*, Iswandaru, Elfida Moralista

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*tydeamethyst@gmail.com,
elfidamoralista95@gmail.com

iswandaru230390@gmail.com,

Abstract. PT Mitra Multi Sejahtera is a company engaged in the mining sector with andesite commodities. The slope of the company has a steep slope and a large number of discontinuous fields that have the potential to make the slope unstable. This research was conducted to determine the potential types of landslides, actual and optimal slopes, safety factors and probability of failure, slope stability, and slope geometry recommendation. This research uses a methodology in the form of Q-Slope analysis, limit equilibrium method, and probabilistic method on 2 slope segments. Q-Slope analysis observes the physical properties of the discontinuous plane to obtain the optimal slope. Limit equilibrium and probabilistic methods were studied using inputs of physical and mechanical properties in the form of natural density, cohesion, and friction angle which were analyzed through Monte Carlo simulation to obtain the value of the safety factor and probability of failure. The slope of segment 1 has an actual slope of 80° and an optimal slope of 83° with a safety factor of 7.233. The slope of segment 2 has an actual slope of 76° and an optimal slope of 88° with a safety factor of 7.095. The probability of failure generated from the two slope segments is 0.7% in dynamic conditions. The results of data analysis show that the slopes are in a safe and stable condition. The recommended slope geometry recommendation is to make an overall slope with a height of 40 meters and an overall slope of 57° by dividing it into 4 benches.

Keywords: *Slope Stability, Slope Angle, Safety Factor.*

Abstrak. PT Mitra Multi Sejahtera merupakan suatu perusahaan yang bergerak pada bidang pertambangan dengan komoditas andesit. Lereng pada perusahaan tersebut memiliki kemiringan yang curam dan bidang diskontinu dalam jumlah yang cukup banyak sehingga berpotensi membuat lereng menjadi tidak stabil. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi jenis longsoran, kemiringan lereng aktual dan optimal, faktor keamanan dan probabilitas longsor, kestabilan lereng, serta rekomendasi geometri lereng. Penelitian ini menggunakan metodologi berupa analisis Q-Slope, metode kesetimbangan batas, dan metode probabilistik pada 2 segmen lereng. Analisis Q-Slope mengamati sifat fisik bidang diskontinu hingga mendapatkan kemiringan lereng optimal. Metode kesetimbangan batas dan probabilistik dikaji menggunakan input sifat fisik dan mekanik berupa bobot isi natural, kohesi, dan sudut gesek dalam yang dianalisis melalui simulasi monte carlo untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor. Lereng segmen 1 memiliki kemiringan aktual 80° dan kemiringan optimal 83° dengan nilai faktor keamanan sebesar 7,233. Lereng segmen 2 memiliki kemiringan aktual 76° dan kemiringan optimal 88° dengan nilai faktor keamanan sebesar 7,095. Probabilitas longsor yang dihasilkan dari kedua segmen lereng sebesar 0,7% dalam keadaan dinamis. Hasil analisis data menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi yang aman dan stabil. Rekomendasi geometri lereng yang disarankan yakni membuat lereng keseluruhan dengan tinggi 40 meter dan overall slope 57° dengan membaginya ke dalam 4 jenjang.

Kata Kunci: *Kestabilan Lereng, Kemiringan Lereng, Faktor Keamanan.*

A. Pendahuluan

Tingkat kestabilan serta kemungkinan terjadinya longsor pada suatu lereng khususnya dalam bidang pertambangan merupakan suatu parameter dari analisis kestabilan lereng. Perhatian akan kestabilan lereng yang jarang akan menjadi penyebab dari kurangnya analisis geoteknik lebih lanjut. Analisis geoteknik dalam kaitannya dengan hal tersebut dapat menentukan bagaimana tingkat kestabilan suatu lereng. Lereng dengan kondisi yang stabil dan aman dapat diindikasikan melalui peluang gerakan tanah yang dapat terjadi di suatu daerah.

Berdasarkan data Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), gerakan tanah di Indonesia dapat terbilang sering terjadi, khususnya pada Provinsi Jawa Barat. Salah satu contoh gerakan tanah ini terjadi pada lokasi tambang di PT Mitra Multi Sejahtera dengan komoditas andesit. Gerakan tanah yang terjadi ini berupa longsor dengan jenis longsor bidang dan termasuk ke dalam skala kecil, namun hal ini dapat membuat geometri lereng pada area penambangan tidak stabil, sehingga jumlah cadangan yang dapat ditambang pun akan makin sedikit.

Gerakan tanah berupa longsor yang terjadi pada PT Mitra Multi Sejahtera yang selanjutnya disebut sebagai lokasi penelitian diakibatkan oleh banyaknya bidang diskontinu dengan pola yang tidak teratur dan geometri lereng yang curam. Longsor ini menjadi penghambat dari jalannya kegiatan penambangan karena membuat sebagian jalan tambang tertutup. Hal inilah yang menjadi landasan untuk dilakukannya penelitian terhadap tingkat kestabilan lereng tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana tingkat kestabilan lereng penelitian berdasarkan analisis Q-Slope, kesetimbangan batas, dan probabilistik?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

1. Mengetahui potensi jenis longsor yang terjadi di lokasi penelitian.
2. Mengetahui kemiringan lereng aktual di lapangan dan kemiringan lereng optimal berdasarkan metode empiris Q-Slope.
3. Mengetahui faktor keamanan dan probabilitas longsor berdasarkan metode kesetimbangan batas dan probabilistik.
4. Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan analisis Q-Slope, kesetimbangan batas, dan probabilistik.
5. Mengetahui rekomendasi geometri lereng yang aman dan optimal.

B. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini yakni dengan pendekatan kuantitatif yang dilakukan dengan mengambil data di lapangan lalu diolah dan dianalisis untuk menghasilkan output yang ingin dicapai dari penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer meliputi kegiatan pengambilan data kedudukan bidang diskontinu, pengamatan sifat fisik bidang diskontinu dan air tanah, pengamatan geometri lereng, serta pengujian sifat fisik dan mekanik melalui sampel yang diambil untuk mendapatkan nilai bobot isi natural, kohesi, dan sudut gesek dalam. Data sekunder meliputi data IUP perusahaan, data Rupa Bumi Indonesia (RBI), kriteria kestabilan lereng berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827, serta data keadaan wilayah penelitian. Pengolahan data dilakukan terhadap data primer dan sekunder yang telah diperoleh dengan menggunakan beberapa metode seperti metode kesetimbangan batas, kinematika melalui proyeksi stereografis, probabilistik, dan Q-Slope. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode komparatif dari keempat metode untuk mendapatkan kriteria kestabilan lereng dengan mengacu pada kriteria berdasarkan Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pemetaan Bidang Diskontinu

Pengukuran geometri lereng aktual dilakukan dengan menggunakan kompas geologi dan meteran pada dua segmen lereng. Hasil geometri lereng aktual yang didapatkan berupa tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran Geometri Lereng Aktual

Pengukuran Geometri Lereng Aktual			
No	Arah Kemiringan Lereng (N...°E)	Kemiringan Lereng (°)	Tinggi Lereng (m)
1	330	80	17,20
2	349	76	17,5

Kegiatan pemetaan geoteknik dilakukan melalui pengukuran kekar dengan menggunakan metode scanline. Pengamatan geoteknik atau bidang diskontinu dilakukan pada 2 (dua) lereng penelitian dengan panjang scanline pada lereng 1 dan 2 secara berturut – turut ialah 20 meter dan 15 meter.



(a)

(b)

Gambar 1. Kenampakan Kekar (a) Lereng Segmen 1 (b) Lereng Segmen 2

Pengukuran dilakukan dengan mengamati strength index, RQD, joint spacing, joint conditions, dan juga orientasi bidang diskontinuitasnya. Hasil dari pengamatan akan sifat fisik dari bidang diskontinu ini digunakan sebagai input dalam analisis Q-Slope.

Tabel 2. Contoh Pengamatan Bidang Diskontinu

No	Jarak (m)	Kekuatan Massa Batuan	Spasi Bidang Lemah	Panjang Bidang Lemah	Sepa-rasi	Kekasa-ran	Isian	Pelapu-kan	Kondisi Air Tanah	RQD	Strike	Dip
1	0,48	R5	M	VL	N	SR	N	UW	CD		208	72
2	0,5	R5	-	VL	N	SR	N	UW	CD		254	19
3	0,6	R5	-	M	N	SR	N	UW	CD	96.01	100	87
4	0,63	R5	-	VL	N	SR	N	UW	CD		217	66
5	1,27	R5	M	M	N	SR	N	UW	CD		216	74

Pengujian Sifat Fisik dan Mekanika Batuan

Pengujian laboratorium berupa pengujian sifat fisik dan mekanik dilakukan dengan melakukan pengambilan sampel terlebih dahulu. Apabila dilihat secara megaskopis, sampel yang diambil merupakan sampel dengan keadaan yang masih fresh dalam artian sampel tersebut tidak lapuk. Hasil deskripsi menunjukkan bahwa lereng pada lokasi penelitian tersusun oleh jenis batuan beku yakni andesit hornblenda.

Pengujian sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan beberapa parameter yang tertera pada Tabel 2 sebagai input analisis statistika menggunakan metode goodness of fit. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan terbagi menjadi dua yakni uji kuat tekan uniaksial dan uji kuat geser. Hasil pengujian kuat geser berupa nilai shear stress yang ditampilkan pada pressure gauge sesuai dengan pengukuran forward maupun backward. Pengolahan data yang dilakukan dalam pengujian kuat geser ini dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan normal, kuat geser, serta kohesi dari massa batuan yang telah diuji dalam bentuk batuan utuh. Pengujian

kuat tekan uniaksial digunakan untuk mencari nilai kuat tekan uniaksial, modulus young, serta nisbah poisson yang akan menjadi input parameter dalam pemodelan lereng untuk menentukan kestabilan lereng tersebut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik

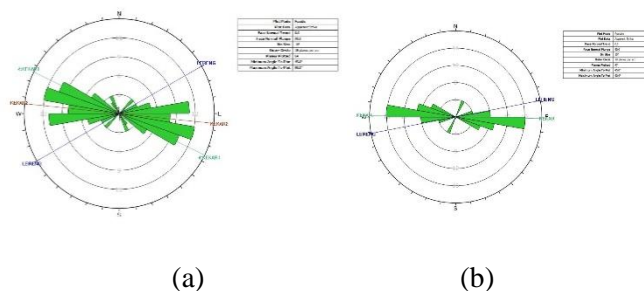
No	Parameter	Sampel 1	Sampel 2
1	Natural Mass, W_n (gr)	102,14	89,81
2	Saturated Mass, W_w (gr)	102,58	90,13
3	Submerged Mass, W_s (gr)	62,80	53,96
4	Dry Mass, W_o (gr)	98,77	84,37
5	Natural Density	2,57	2,48
6	Saturated Density	2,58	2,49
7	Dry Density	2,48	2,33
8	Porosity	8,47	15,04
9	Void Ratio	0,09	0,18

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian		No Sampel		Litologi	Rata-Rata
		1	2		
Unconfined Compression	σ_c (MPa)	65.83	63.12	Andesit	59.98
Strength (UCS)	E (MPa)	20320.49	19505.38		19912.94
Mpa	ν	0.22	0.22		0.22
Direct Shear	Apparent Friction Angle	40.15	39.42		39.79
	Below Stress (deg)				
	Residual Friction Angle (deg)	28.19	27.55		27.87
	Cohesion (MPa)	2.80	2.68		2.74
Brazilian Strength (Mpa)	Apparent Kohesion (MPa)	1.68	1.63	1.66	
		12.32	11.26	11.79	

Analisis Longsoran

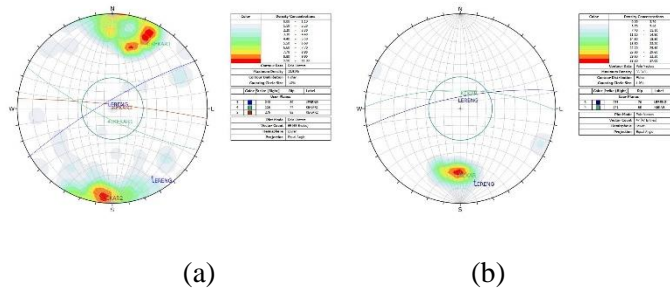
Analisis longsoran dilakukan dengan menggunakan analisis kinematika melalui proyeksi stereografis dengan input yang digunakannya berupa data orientasi kekar dari lereng penelitian. Hasil data orientasi kekar dianalisis terlebih dahulu melalui distribusi frekuensi menggunakan diagram roset untuk mengetahui arah tegasan gaya pada kekar tersebut.



Gambar 2. Diagram Roset (a) Lereng Segmen 1 (b) Lereng Segmen 2

Proyeksi stereografis dibuat sebagai analisis kinematik untuk mengetahui potensi jenis longsoran yang dapat terjadi pada daerah penelitian. Input data yang dibutuhkan dari

pembuatan proyeksi stereografis ini merupakan kedudukan kekar, kedudukan lereng, dan sudut gesek dalam.



Gambar 3. Proyeksi Stereografi (a) Lereng Segmen 1 (b) Lereng Segmen 2

Hasil pengukuran struktur kekar yang kemudian diolah melalui proyeksi stereografis menunjukkan bahwa lereng pengamatan termasuk ke dalam jenis longsor baji untuk lereng pada segmen 1 yang ditandai dengan adanya perpotongan antara dua bidang lemah dan longsor bidang untuk lereng pada segmen 2 yang ditandai dengan strike lereng yang hampir sejajar dengan strike bidang lemah.

Tabel 5. Analisis Kinematik

Lereng	Longsoran	ϕ (°)	αf (N..°E)	αi (N..°E)	ψf (°)	ψi (°)	Syarat Analisis Kinematik	
							$\psi f > \psi i$	$\psi i > \phi$
1	Baji	54,09	240	286	80	57	Memenuhi	Memenuhi

Lereng	Longsoran	ϕ (°)	αf (N..°E)	αi (N..°E)	ψf (°)	ψi (°)	Syarat Analisis Kinematik	
							$\alpha f \approx \alpha i; (\pm 20^\circ)$	$\psi f > \psi i > \phi$
2	Bidang	53,87	259	271	76	68	Memenuhi	Memenuhi

Analisis Q-Slope

Input yang digunakan dalam analisis q-slope berupa sifat fisik dari bidang diskontinu yang kemudian diklasifikasikan menjadi enam parameter q-slope. Hasil klasifikasi keenam parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Klasifikasi Q-Slope

Parameter Q-Slope	Keterangan		Nilai	
	Lereng 1	Lereng 2	Lereng 1	Lereng 2
RQD	Excellent		95,25	96,01
Joint set number	Two joint set plus random joint	One joint set plus random joint	6	2
Joint roughness number	Rough or irregular, undulating		3	3
Joint alteration number	Slightly altered joint walls		3	3
O factor	Unfavourable		0,75	0,75
Environmental and geological	Stable structure, competent rock, desert environment		1	1

Parameter Q-Slope	Keterangan		Nilai	
	Lereng 1	Lereng 2	Lereng 1	Lereng 2
condition number				
SRFa	Loose block, sign of tension cracks and joint shearing, strong susceptibility to weathering effect		10	10
SRFb	Intact rock failure		10	10
SRFc	Major discontinuity with RQD100 due to clay and crushed rock		2	2

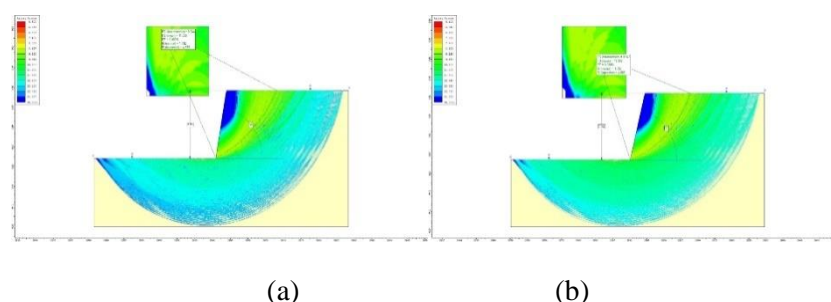
Parameter diatas akan dimasukkan kedalam suatu persamaan untuk menghasilkan nilai Q-Slope. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai Q-Slope yang didapatkan untuk lereng segmen 1 sebesar 7,94 dan lereng segmen 2 sebesar 15. Nilai Q-Slope ini akan digunakan sebagai input dalam melakukan analisis melalui perhitungan sudut optimal. Hasil memperlihatkan bahwa sudut kemiringan lereng yang didapat pada analisis lereng segmen 1 sebesar 83o dan lereng segmen 2 sebesar 88o. Nilai Q-Slope dan sudut optimal yang dihasilkan akan di plotting dalam grafik kestabilan Q-Slope untuk melihat apakah lereng penelitian dalam kondisi stabil atau tidak. Berdasarkan grafik Q-Slope, dapat disimpulkan bahwa lereng pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kategori lereng yang stabil.

Analisis Statistika

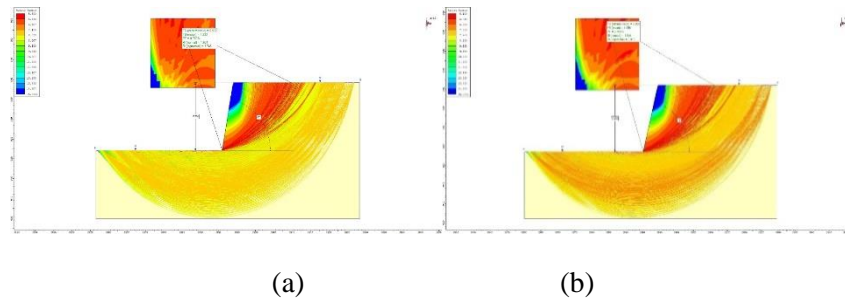
Analisis statistika dilakukan dengan menggunakan metode goodness of fit dengan input berupa nilai kohesi, sudut gesek dalam, dan bobot isi natural. Analisis ini digunakan untuk mengetahui jenis distribusi data terbaik. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis distribusi data termasuk ke dalam jenis distribusi uniform. Jenis distribusi ini akan dijadikan sebagai analisis dalam mengetahui tingkat kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilistik berdasarkan simulasi monte carlo.

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan dalam dua kondisi yakni kondisi statis dan dinamis menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilistik untuk mendapatkan indeks nilai faktor keamanan dan nilai probabilitas longsor. Lereng pada lokasi penelitian termasuk ke dalam keparahan longsor rendah dimana tidak terjadi kerusakan sarana dan prasarana (<25%) dan terhentinya produksi kurang dari 12 jam pada lereng keseluruhan.



Gambar 4. Analisis Kestabilan Lereng Statis (a) Lereng Segmen 1 (b) Lereng Segmen 2



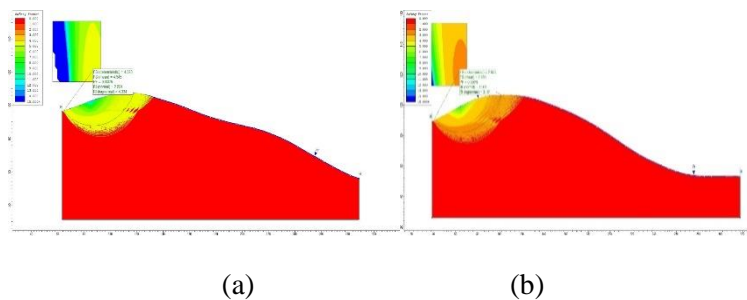
Gambar 5. Analisis Kestabilan Lereng Dinamis (a) Lereng Segmen 1 (b) Lereng Segmen 2

Hasil rekapitulasi kestabilan lereng tunggal dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil analisis menunjukkan bahwa dalam keadaan statis dan dinamis, faktor keamanan yang dihasilkan ini termasuk ke dalam kategori aman, hanya saja faktor keamanan pada keadaan dinamis berkurang dari lereng dalam kondisi statis dan menimbulkan adanya probabilitas kelongsoran.

Tabel 7. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tunggal

Lereng	Kondisi Statis		
	FK Deterministik	FK Mean	PK (%)
1	8,644	11,085	0
2	8,545	10,908	0
Lereng	Kondisi Dinamis		
	FK Deterministik	FK Mean	PK (%)
1	5,932	7,233	0,7
2	5,808	7,095	0,7

Kestabilan lereng keseluruhan dilakukan dengan menarik penampang pada peta topografi lokal. Peta topografi lokal dapat dilihat pada Gambar 6. Penampang yang dihasilkan dari peta topografi akan dijadikan sebagai input dalam pemodelan lereng untuk mengetahui hasil kestabilan lereng pada lereng keseluruhan.



Gambar 6. Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan Dinamis (a) Segmen 1 (b) Segmen 2

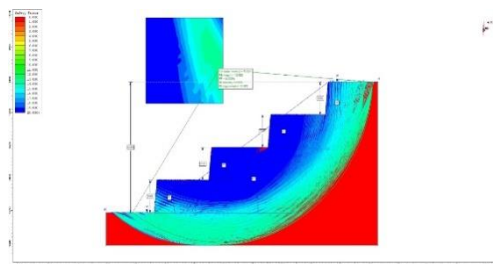
Tabel 8. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan

Lereng	Kondisi Statis		
	FK Deterministik	FK Mean	PK (%)
1	4,328	4,545	0
2	2,843	2,980	0

Lereng	Kondisi Dinamis		
	FK Deterministik	FK Mean	PK (%)
1	1,677	1,758	8
2	1,277	1,336	27,2

Rekomendasi Geometri Lereng

Hasil analisis menggunakan beberapa metode menunjukkan bahwa lereng keseluruhan di lokasi penelitian tergolong ke dalam lereng yang aman dan stabil. Lereng keseluruhan di lokasi penelitian dapat disebut sebagai lereng tunggal pula karena hanya terdiri dari satu jenjang saja. Oleh karena itu, perubahan geometri lereng yang akan direkomendasikan ialah membuat lereng keseluruhan dengan beberapa jenjang. Hal ini dilakukan untuk membuat gaya penahan yang lebih besar sehingga akan menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih besar dan probabilitas kelongsoran yang lebih kecil pula.



Gambar 7. Rekomendasi Geometri Lereng

Upaya yang dilakukan dalam memodifikasi geometri lereng ini seperti yang telah disebutkan diatas yakni dengan membuat lereng keseluruhan menjadi beberapa jenjang dan melandaikan kemiringan. Hal yang dilakukan yakni dengan menentukan pit limit dengan merencanakan kedalaman tambang andesit tersebut, yakni sebesar 40 meter. Kedalaman tambang ini akan menjadi penentu dalam pembuatan jumlah jenjang hingga memenuhi limit kedalaman tambang tersebut.

Geometri lereng yang direkomendasikan terlihat pada Gambar 7 dimana lereng keseluruhan akan dibagi menjadi 4 lereng tunggal dengan masing – masing lereng memiliki tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 85o, sehingga didapatkan nilai overall slope sebesar 57o. Berdasarkan hasil pemodelan geometri lereng yang telah dimodifikasi, maka dapat terlihat bahwa nilai faktor keamanan deterministik 10,848, faktor keamanan rata – rata 11,647, serta nilai probabilitas kelongsoran 0%.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi longsor yang dapat terjadi pada lokasi penelitian yaitu longsoran baji untuk lereng segmen 1 dan longsoran bidang untuk lereng segmen 2.
2. Lereng segmen 1 memiliki kemiringan aktual 80° dan kemiringan optimal 83° sedangkan lereng segmen 2 memiliki kemiringan aktual 76° dan kemiringan optimal 88°.
3. Nilai faktor keamanan pada keadaan dinamis untuk lereng segmen 1 sebesar 7,233 dan lereng segmen 2 sebesar 7,095 dengan nilai probabilitas kelongsoran untuk kedua lereng tersebut sebesar 0,7%.
4. Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan analisis *Q-Slope*, kesetimbangan batas, dan probabilitas kelongsoran menyatakan bahwa lereng di lokasi penelitian termasuk ke dalam lereng yang aman dan stabil.
5. Geometri lereng akhir yang direkomendasikan yakni dengan tinggi 40 meter dan

kemiringan 57° untuk lereng keseluruhan serta tinggi 10 meter dan kemiringan 85° untuk lereng tunggal.

Acknowledge

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini, diantaranya:

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku Ketua Prodi, Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Si., S.Pd., M.T. selaku Sekretaris Prodi, Ibu Sri Widayati, Ir., S.T., M.T selaku wali dosen, Bapak Iswandaru, S.T. selaku Pembimbing, Ibu Elfida Moralista, S.Si., M.T. selaku Co-pembimbing serta semua Dosen dan Staf yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, motivasi kepada penyusun.
2. Bapak Hendri Riswanto, S.T. selaku Kepala Teknik Tambang sekaligus pembimbing lapangan dan seluruh staf PT Mitra Multi Sejahtera yang telah mengizinkan penggunaan lokasi tambang serta menerima penyusun dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Abdullah. 2021. Kecamatan Cikalong Kulon Dalam Angka 2021. Cianjur: Badan Pusat Statistik Kabupaten Cianjur.
- [2] Anonim. 2017. Peta Per Wilayah. Cibinong: Pusat Pengelolaan dan Penyebarluasan Informasi Geospasial (online).
- [3] Anonim. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. SNI 1726:2012. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [4] Anonim. 2019. Minerba One Map Indonesia. Jakarta: Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara KESDM
- [5] Anonim. 2020. Kejadian Gerakan Tanah. Bandung. Badan Geologi: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- [6] Anonim. 2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan Yang Baik. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K / 30 / MEM / 2018, 57-59.
- [7] Arief, Irwandy. 2016. Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [8] Loilatu, Ruslan. 2022. Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM pada PT. X. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, Volume 2 No. 1.
- [9] Astawa, M, dkk. 2014. Mekanika Batuan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [10] Bar N., Barton N. 2015. Introducing The Q-slope Method and Its Intended Use Within Civil and Mining Engineering Projects. Austria: Springer
- [11] Bar N., Barton N., Ryan CA. 2016. Application of the Q-Slope Method to Highly Weathered and Saprolite Rocks in Far North Queensland, Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future. London, pp. 585-590
- [12] Bar N., Barton N. 2017. The Q-slope Method for Rock Slope Engineering, Rock Mechanic and Rock Engineering. Springer, Vienna, pp. 3307-3322
- [13] Bemmelen, V. 1949. The Geology of Indonesia. Netherland: The Haque.
- [14] Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. Willey – Interscience.
- [15] Giani, G. P. 1992. Rock Slope Stability Analysis. Rotterdam: A. A. Balkema.
- [16] Hoek, E. and Bray, J.W. 1981. Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy. London. pp. 18-34; 83-114; 381-385
- [17] Mechanics, I. S. 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. Ocford: Pergamon Press.
- [18] Ragan, D. M. 1973. Structural Geology An Introduction To Geometrical Techniques, Second Edition. New York: Jhon Wiley & Sons.