

Analisis Kestabilan Lereng Tambang Kuari Batu Trass di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Desa Kedongdong Kidul Kecamatan Dukupuntang Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat

Muhammad Afif Zahrandika^{*}, Yuliadi, Noor Fauzi Isniarno

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

^{*}zahrandika.afif16@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, noorfauzi@unisba.ac.id

Abstract. Slope stability is an important factor in planning an open pit mine. A stable slope design will have a major impact on mine economics and production. This study aims to determine the stability of the slopes in the research location area and provide recommendations for optimal mine slope geometry based on the values of the Safety Factor (SF), Probability of Failure (PoF), and Strength Reduction Factor (SRF). Analysis activities were carried out using 2 methods, namely the limit equilibrium method accompanied by probabilistic analysis to determine the PoF value of the mine slope and using the finite element method. Based on the research results, it is known that the constituent rocks on the slopes of the Kedongdong quarry mine are trass stones. On a single slope the recommended mine slope geometry is $H= 5$ m and $\Theta= 50^\circ$, $H= 6$ m and $\Theta= 45^\circ$, $H= 8$ m and $\Theta= 40^\circ$, $H= 10$ m and $\Theta= 35^\circ$. On the actual overall slope an analysis of 2 sections was carried out, namely section A-A' and section E-E' from the results of the analysis of both sections in a safe condition. On the overall slope of the final pit, 2 sections were analyzed, namely section B-B' and section F-F' and from the results of the analysis both sections were in an unsafe condition, so a recommendation was given that section B-B' angle was changed from 47° to 37° while for section F-F' the angle was changed from 50° to 35° so that a safe FK value was obtained.

Keywords: *Slope Stability, Safety Factor (SF), Probability of Failure (PoF).*

Abstrak. Kestabilan lereng merupakan salah satu faktor penting dalam merencanakan tambang terbuka. Desain lereng yang stabil akan berdampak besar terhadap keekonomian dan produksi tambang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kestabilan lereng pada daerah lokasi penelitian dan memberikan rekomendasi geometri lereng tambang yang optimal dengan berdasarkan pada nilai Faktor Keamanan (FK), Probability of Failure (PoF), dan Strength Reduction Factor (SRF). Kegiatan analisis dilakukan dengan menggunakan 2 metode yaitu metode kesetimbangan batas disertai dengan analisis probabilistik untuk mengetahui nilai PoF dari lereng tambang dan menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa batuan penyusun pada lereng tambang kuari kedongdong yaitu batu trass. Pada lereng tunggal geometri lereng tambang yang di rekomendasikan yaitu $H= 5$ m dan $\Theta= 50^\circ$, $H= 6$ m dan $\Theta= 45^\circ$, $H= 8$ m dan $\Theta= 40^\circ$, $H= 10$ m dan $\Theta= 35^\circ$. Pada lereng keseluruhan aktual dilakukan analisis terhadap 2 section yaitu section A-A' dan section E-E' dari hasil analisis kedua section berada dalam kondisi aman. Pada lereng keseluruhan final pit dilakukan analisis terhadap 2 section yaitu section B-B' dan section F-F' dan dari hasil analisis kedua section berada dalam kondisi tidak aman, sehingga diberikan rekomendasi yaitu section B-B' sudut diubah dari 47° menjadi 37° sedangkan untuk section F-F' sudut diubah dari 50° menjadi 35° sehingga diperoleh nilai FK yang aman.

Kata Kunci: *Kestabilan Lereng, Faktor keamanan (FK), Probability of Failure (PoF).*

A. Pendahuluan

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam berupa mineral dan batubara yang menjanjikan. Terdapat berbagai jenis komoditas tambang yang tersimpan di perut bumi Indonesia (Dedi et al, 2021). Pertambangan menunjukkan proses yang terlibat dengan ekstraksi, pengelolaan, dan pengolahan mineral padat yang terjadi secara alami di permukaan bumi (Hussain et al, 2022). Sistem penambangan ada dua yaitu sistem tambang terbuka dan sistem tambang bawah tanah (Gunawan, 2012). Dalam operasi penambangan, masalah kestabilan lereng akan ditemukan pada penggalian tambang terbuka (open pit dan open cut), tempat penimbunan material buangan (tailing disposal), penimbunan bijih (stockyard), bendungan, infrastruktur lainnya seperti jalan dan fondasi jembatan serta lereng di sekitar fasilitas seperti perumahan (Suryatono, 2003). Kestabilan lereng merupakan aspek yang sangat penting dalam menunjang aktivitas penambangan. Faktor kestabilan lereng menjadi faktor yang harus diperhatikan dengan serius karena berdampak terhadap keekonomian tambang (Tommy et al, 2019).

Adanya kegiatan penambangan, seperti penggalian pada suatu lereng akan menyebabkan terjadinya perubahan gaya – gaya pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan pada akhirnya terjadi longsor pada lereng tersebut (Kornelis et al, 2015). Kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor geometri lereng, karakteristik fisik dan mekanik material pembentuk lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah (lokasi, arah, frekuensi, karakteristik mekanik), tegangan alamiah dalam massa batuan, konsentrasi tegangan lokal, getaran (alamiah seperti gempa dan buatan manusia seperti efek peledakan, efek lalu Lalang alat-alat berat), iklim, hasil perbuatan pekerja tambang, serta pengaruh termik (Rina et al, 2022). Kestabilan lereng dibedakan menjadi atas lereng alam (natural slopes) serta lereng buatan (manmade slope) (Rini, 2022). Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi ketika gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi stabil (aman) (Arif, 2021). Tujuan analisis kestabilan lereng yakni untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Nilai faktor keamanan dapat memberikan informasi apakah lereng tersebut stabil atau tidak dan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng (Paharuddin et al, 2017).

Kegiatan penambangan selalu menghadapi permasalahan kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng perlu dilakukan pada lereng tambang guna mencegah terjadinya longsor. Dari hasil analisis kestabilan lereng diperoleh nilai faktor keamanan sehingga dapat menentukan tingkat keamanan lereng dan dapat memberikan rekomendasi apabila lereng dikategorikan tidak aman. Sehingga dapat mengurangi potensi terjadinya longsor. PT. Indocement Tunggal Prakarsa TBK merupakan perusahaan yang bergerak dibidang penambangan batu gamping dan trass merencanakan pengembangan pada penambangan trass di Pit Kuari Kedondong. Oleh karena itu, dilakukan analisis kestabilan pada lereng pada pit kuari kedondong. Metodologi Penelitian. Kemudian, adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui kestabilan lereng pada lereng tunggal dan lereng keseluruhan berdasarkan nilai faktor keamanan.
2. Mengetahui hubungan sudut terhadap nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor yang dihasilkan.

B. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yaitu dengan menggunakan data primer dan data sekunder dari kegiatan penelitian. Adapun untuk uraian dari setiap data primer dan data sekunder yaitu sebagai berikut:

1. Data primer yaitu dengan cara pengambilan sampel batuan (Trass) dan pengambilan koordinat titik sampel di lapangan.
2. Data sekunder yang dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari studi literatur berupa jurnal dan Penelitian terdahulu.

Data yang ada kemudian diolah menggunakan metode kesetimbangan batas untuk diketahui nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor sehingga dapat ditentukan tingkat

keamanan lereng dan hubungan sudut terhadap nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor yang dihasilkan.

Batu Trass

Trass disebut pula sebagai pozolan, merupakan bahan galian yang cukup banyak mengandung silika amorf yang dapat larut di dalam air atau dalam larutan asam. Trass pada umumnya terbentuk dari batuan vulkanik yang banyak mengandung feldspar dan silika, antara lain breksi andesit, granit, rhyolit yang telah mengalami pelapukan lanjut. Akibat proses pelapukan, feldspar akan berubah menjadi mineral lempung/kaolin dan senyawa silika amorf (Sugiartha, 2014). Kapasitas intrinsik pozzolan bergantung pada komposisi kimia yang sangat bervariasi endapan vulkanik (Yu et al., 2017). Setelah kimia kriteria memenuhi persyaratan, sebagian besar bahan baku perlu diolah untuk memenuhi kriteria fisik tersebut sebagai kehalusan, kelembapan, dan kekuatan (Sleep and Masley, 2018). Trass biasa digunakan untuk campuran Portland Pozzolan Cement (PPC), beton, plesteran, atau campuran batu bata (Jenian et al, 2022). Sebagai bahan bangunan trass mempunyai sifat yang khas. Sifat yang terpenting apabila dicampur dengan kapur padam (kapur tohor) dan air akan mempunyai sifat seperti semen. Sifat ini disebabkan oksida silika (SiO_2) yang amorf dan oksida alumina (Al_2O_3) di dalam trass yang menjadi bersifat asam. Kedua macam oksida yang bersifat asam tersebut bersenyawa dengan kapur tohor dan air yang akhirnya mempunyai sifat seperti semen (Sugiartha, 2014).

Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Pada umumnya terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng, diantaranya:

1. Geometri Lereng
Geometri lereng yang meliputi kemiringan dan tinggi lereng merupakan salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap kestabilan lereng. Perubahan tinggi akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kuat geser batuan atau tanah semakin besar, begitu pula sudut kemiringan lereng yang besar akan memberikan volume material yang besar, sehingga beban material pada lereng juga akan semakin besar (Zainal et al, 2021).
2. Karakteristik Fisik dan Mekanik Material Pembentuk Lereng
Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah bobot isi (density), porositas dan kandungan air, Sedangkan sifat mekanik batuan antara lain kuat tekan, kuat tarik, kuat geser dan juga sudut geser dalam batuan. Kuat geser batuan dapat dicari dengan parameter sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) pada tegangan normal tertentu yang didapatkan dari hasil uji kuat geser di laboratorium. Berat Isi Berat isi diperlukan untuk perhitungan beban guna analisis stabilitas lereng. Berat isi dibedakan menjadi berat isi asli (natural), berat isi jenuh, dan berat isi kering yang penggunaannya tergantung kondisi lapangan (Zainal et al, 2021).
3. Struktur Bidang Lemah
Struktur geologi sangat mempengaruhi kestabilan lereng pada tambang terbuka. Struktur geologi terbentuk akibat deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi akibat adanya gaya-gaya endogen dan eksogen. Kedua gaya tersebut akan membentuk tegangan-tegangan dari segala arah. Tegangan-tegangan ini menjadi parameter yang dapat menghasilkan deformasi. Proses terbentuknya deformasi terjadi pada zona di bidang diskontinu, dimana pada zona tersebut gaya-gaya terdistribusi. Adanya bidang diskontinu pada batuan akan mempengaruhi aktifitas penambangan, diantaranya berpengaruh terhadap kekuatan batuan. Semakin kecil kekuatan batuan maka semakin banyak bidang diskontinu yang memotong massa batuan. Bidang diskontinu yang ada pada massa batuan tersebut dapat menyebabkan terjadinya longsor (Anwar et al, 2018).
4. Muka Air Tanah
Adanya air tanah dapat juga menambah gaya-gaya yang menyebabkan ketidakstabilan karena bertambahnya berat tanah atau massa batuan maupun timbulnya gaya yang

diakibatkan oleh aliran air di dalam lereng. Kenaikan tekanan air pori di sekitar bidang longsor dapat mereduksi tegangan efektif, sehingga mengurangi kuat geser tanah. Kuat geser tanah di lapangan bergantung pada kadar airnya. Oleh karena itu, jika kadar air (atau tekanan air pori) bertambah, maka kuat geser turun. Kenaikan muka air tanah juga berpengaruh pada kecepatan gerak massa tanah. Hal ini sebanding dengan meningkatnya kadar air sehingga tanah menjadi jenuh, sehingga menyebabkan berkurangnya kuat geser rata-rata (Sitorus *et al.*, 2022).

5. Faktor Luar

Gaya-gaya dari luar yang dapat mempengaruhi (mengurangi) kestabilan suatu lereng adalah Getaran yang diakibatkan oleh gempa, peledakan dan pemakaian alat-alat mekanis yang berat di dekat lereng Pemotongan dasar (toe) lereng, dan Penebangan pohon-pohon pelindung lereng (sei *et al.*, 2019). Gempa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dengan meningkatkan nilai gaya penggerakannya, oleh karenanya beban gempa harus dimasukkan sebagai salah variabel dalam upaya analisa kestabilan lereng. Parameter yang digunakan untuk mewakili beban gempa adalah nilai peak ground acceleration (PGA).

Limit Equilibrium Method

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer untuk digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng tipe gelinciran translasional dan rotasional. Metode ini relative sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti keandalannya dalam praktik rekayasa selama bertahun-tahun. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng. Asumsi lainnya, yaitu geometri lereng dari bentuk bidang runtuh harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung dari metode perhitungan yang dipakai (Arif, 2021). Faktor keamanan menurut Anderson dan Richards, (1987) merupakan perbandingan antara gaya penahan longsor dengan gaya penyebab longsor

LEM menganggap perilaku lereng di ambang keruntuhan sebagai kondisi statis, sehingga tidak menganalisis hubungan tegangan-regangan atau deformasi terkait dalam tubuh tanah (Fredlund, 1984). Konsekuensinya, diperlukan asumsi bentuk permukaan keruntuhan potensial yang mendefinisikan badan geser. Berdasarkan kondisi tersebut FOS didefinisikan sebagai rasio numerik untuk membandingkan kekuatan geser penahan tanah dengan tegangan geser yang ada pada permukaan keruntuhan (Bishop, 1955).

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan terhadap lereng tunggal dan lereng keseluruhan dengan menggunakan metode elemen hingga. Analisis kestabilan lereng tersebut bertujuan untuk menentukan kestabilan suatu lereng tambang. Hasil yang diperoleh dari analisis kestabilan lereng ini yaitu tingkat keamanan suatu lereng berdasarkan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor. Dalam menganalisis kestabilan lereng digunakan beberapa pendekatan yaitu:

1. Geometri Lereng

Geometri lereng (ketinggian dan kemiringan) yang digunakan sesuai dengan kondisi aktual lereng tambang saat ini dan rencana akhir penambangan PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk.

2. Input Parameter

Input parameter geoteknik yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada hasil pengujian laboratorium (sifat fisik dan mekanik) terhadap batuan pembentuk lereng (Trass). Input parameter yang digunakan yaitu berupa nilai kohesi, sudut gesek dalam, bobot isi (Unit weight), poisson ratio, dan modulus young. Berikut merupakan input

parameter yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng ini

Tabel 1. Input Parameter Untuk Single Slope

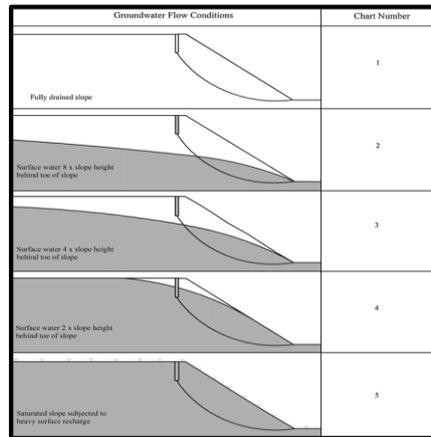
lokasi	Litologi	Nat. Density (gr/cm ³)	Sat. Density (gr/cm ³)	Unit Weight (kN/m ³)	C (KPa)	Phi (°)	E (KPa)	v
kuari Kedongdong	Trass	2,17	2,27	21,25	35	21	7000	0,3

Tabel 2. Input Parameter Untuk Overall Slope

lokasi	Litologi	Nat. Density (gr/cm ³)	Sat. Density (gr/cm ³)	Unit Weight (kN/m ³)	C (KPa)	Phi (°)	E (KPa)	v
Kuari Kedongdong	Trass	2,17	2,27	21,25	131	28,74	7000	0,3

3. Muka Air Tanah (MAT)

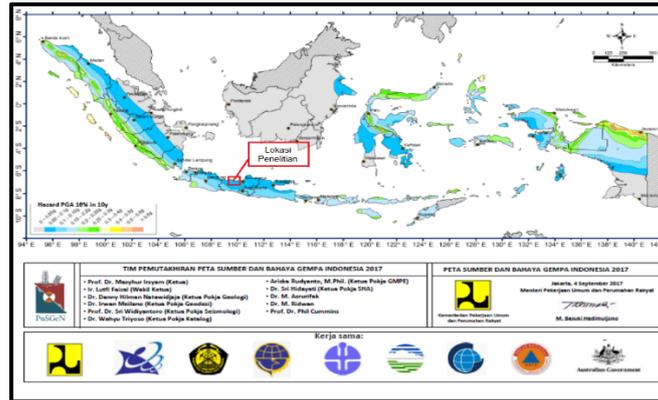
Asumsi MAT yang digunakan berdasarkan pada Gambar 1 yaitu MAT 3 dan kondisi jenuh (MAT 5). Kondisi jenuh ini dipilih karena mengantisipasi kondisi lereng tambang yang jenuh akibat intensitas curah hujan yang tinggi di PT. Indocement Tungal Prakarsa Tbk. MAT 3 digunakan sebagai acuan apabila lereng telah dilakukan dewatering. Kondisi MAT disesuaikan dengan topografi dan geometri lereng tambang.



Gambar 1. Kondisi Aliran Air Tanah

4. Beban Dinamik

Daerah penyelidikan termasuk ke dalam daerah yang terkena dampak getaran dinamik akibat gempa bumi. Pemodelan dilakukan dengan memperhitungkan beban dinamik sesuai dengan nilai faktor kegempaan di lokasi penyelidikan. Nilai faktor kegempaan yang digunakan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia. Dari peta tersebut nilai faktor kegempaan di lokasi penelitian yaitu 0,05 g.



Gambar 2. Kondisi Beban Dinamik di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk

5. Kriteria Kestabilan

Pada analisis kestabilan ini dalam menentukan aman atau tidak aman lereng di tambang PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk disesuaikan dengan nilai faktor keamanan lereng yang terdapat pada KEPMEN ESDM 1827 Tahun 2018 (Tabel 3.1). Jika dari hasil pemodelan menunjukkan nilai faktor keamanan (FK) dari nilai yang ditentukan maka lereng dinyatakan tidak aman. Untuk lereng tunggal dinyatakan tidak aman apabila nilai $FK < 1,3$ sedangkan lereng keseluruhan dinyatakan tidak aman apabila $FK(\text{dinamis}) < 1,05$ dan $FK(\text{statis}) < 1,3$

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Berdasarkan KEPMEN ESDM No. 1827 Tahun 2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (<i>Consequences of Failure/CoF</i>)	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (<i>Probability Of Failure</i>) (Maks) PoF (FK≤1)
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak Ada	25-50%
<i>Inter-ramp</i>	Rendah	1,15-1,2	1	25%
	Menengah	1,2-1,3	1	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Pada analisis kestabilan lereng tunggal input parameter yang digunakan merupakan nilai residual yang diperoleh dari hasil pengujian dan hasil penyesuaian dengan pendekatan lainnya (Tabel 1). untuk analisis kestabilan lereng tunggal ini tinggi geometri lereng yang digunakan yaitu 5,6,8, dan 10 meter dengan sudut kemiringan lereng tertentu. Pada lereng tunggal lereng dikatakan tidak aman apabila nilai FK statis $< 1,3$ dan nilai FK dinamis $< 1,3$. Berikut merupakan nilai faktor keamanan dan probabilitas yang diperoleh dari hasil analisis:

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal

Material	Tinggi (H;m)	Sudut (°)	MAT 5		MAT 5 (g)	
			FK	PoF (%)	FK	PoF (%)
Trass	5	50	1,498	7,5	1,367	14,3

Material	Tinggi (H;m)	Sudut (°)	MAT 5		MAT 5 (g)	
			FK	PoF (%)	FK	PoF (%)
6		55	1,400	18,3	1,292	25
		60	1,302	24,8	1,207	31,7
		65	1,164	35,8	1,110	40,8
		45	1,458	11,5	1,328	18,4
		50	1,346	18,2	1,235	26,3
		55	1,252	28,7	1,156	37
		60	1,154	37,5	1,072	44
		40	1,457	15,7	1,321	22,4
		45	1,346	23,1	1,229	30,3
		50	1,239	34,6	1,138	40,6
8		55	1,144	40,5	1,056	45,6
		35	1,476	18,3	1,328	25,7
		40	1,360	24,7	1,233	32,3
		45	1,259	32	1,148	39,5
		50	1,153	39,4	1,061	45,3

Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

Analisis kestabilan lereng keseluruhan input parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. analisis awal dilakukan dengan pembuatan section untuk lereng aktual dan lereng rencana final tambang. Pembuatan penampang lereng berdasarkan pada arah penambangan yang ditarik tegak lurus terhadap lereng tambang. Analisis kestabilan lereng keseluruhan terdapat 4 section dimana 2 section untuk lereng rencana final pit tambang (Section B-B' dan Section F-F') dan 2 section untuk lereng aktual tambang (Section A-A' dan Section E-E'). Terdapat 2 metode analisis yang digunakan terhadap lereng keseluruhan yaitu *Limit Equilibrium Method* dan *Finite Element Method*.

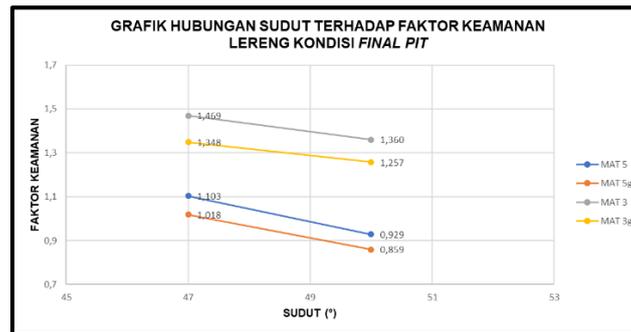
Section yang ada selanjutnya diolah dengan menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga untuk mendapatkan nilai faktor keamanan, probabilitas longsor dan SRF dari lereng tambang Quarry Kedongdong. Kriteria kestabilan lereng yang digunakan yaitu berdasarkan pada KEPMEN ESDM No. 1827 Tahun 2018 (Tabel 3) dengan tingkat keparahan kelongsoran yang digunakan yaitu menengah. Lereng keseluruhan ini dikatakan aman apabila nilai faktor keamanan (FK) yang diperoleh yaitu FK statis < 1,3 dan FK dinamis < 1,05 dengan probabilitas longsor tidak lebih daripada 10%.

Dari hasil pemodelan lereng tersebut diperoleh nilai faktor keamanan yang tidak stabil. Sehingga diperlukan optimasi terhadap section rencana final pit tersebut dengan mengubah sudut lereng untuk section B-B' menjadi 37° dan lereng section F-F' menjadi 35°.

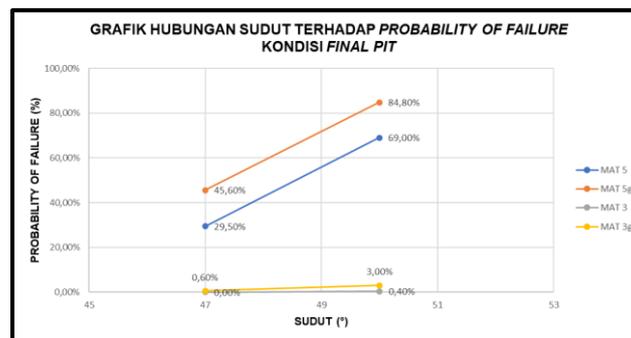
Tabel 5. Rekapitulasi Nilai FK, PoF, dan SRF Kondisi Existing, Rencana Final Pit, dan Optimasi

Material	Section	Tinggi (m)	Sudut (°)	MAT 5			MAT 5 (g)			MAT 3			MAT 3 (g)		
				FK	PoF	SRF	FK	PoF	SRF	FK	PoF	SRF	FK	PoF	SRF
Trass	Existing														
	A-A'	42,127	24	2,078	0,40%	2,15	1,790	2,20%	1,84	2,354	0,00%	2,4	2,018	0,20%	2,03
	E-E'	39,938	18	2,161	0,20%	1,14	1,840	1,00%	1,04	2,511	0,00%	1,24	2,131	0,00%	1,13
	Final Pit														
	B-B'	42,5	47	1,103	29,50%	1,51	1,018	45,60%	1,35	1,469	0,00%	1,86	1,348	0,60%	1,69
	F-F'	51,325	50	0,929	69,00%	1,37	0,859	84,80%	1,21	1,360	0,40%	2,05	1,257	3,00%	1,84
	Optimasi														
	B-B'	42,5	37	1,357	0,90%	1,64	1,226	8,20%	1,43	1,723	0,00%	1,93	1,561	0,00%	1,92
	F-F'	51,325	35	1,304	2,20%	2,07	1,173	9,90%	1,78	1,708	0,00%	2,5	1,545	0,00%	2,16

Pengaruh Sudut Lereng Terhadap Nilai Faktor Keamanan dan Probability of Failure



Gambar 3. Grafik Hubungan Sudut Terhadap Faktor Keamanan Lereng



Gambar 4. Grafik Hubungan Sudut Terhadap Probability of Failure Lereng

Pada grafik hubungan antara sudut lereng terhadap faktor keamanan (Gambar 3) dapat terlihat bahwa dengan menggunakan input parameter yang sama nilai faktor keamanan sangatlah dipengaruhi oleh ketinggian dan sudut kemiringan lereng. Lereng yang semakin tinggi dengan kemiringan lereng yang curam akan menyebabkan nilai faktor keamanan lereng menjadi semakin kecil. Hal tersebut karena semakin tinggi dan curam lereng maka volume dan beban material pada lereng akan menjadi semakin besar sehingga lereng dapat menjadi semakin tidak stabil. Selain itu, dapat terlihat pula pengaruh muka air tanah terhadap nilai faktor keamanan yang dihasilkan. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai faktor keamanan untuk kondisi MAT 5 lebih kecil dibandingkan dengan nilai faktor keamanan pada kondisi MAT 3. Hal tersebut karena pada kondisi MAT 5 lereng memiliki kandungan air yang lebih besar daripada MAT 3 sehingga berpengaruh terhadap kekuatan geser lereng yang menjadi semakin kecil dan menyebabkan lereng menjadi tidak stabil. Semakin tidak stabil lereng maka akan menyebabkan probabilitas longsor pada lereng menjadi semakin besar. Pada grafik hubungan antara sudut lereng terhadap Probability of Failure (Gambar 4) dapat terlihat bahwa sudut dan tinggi lereng yang semakin curam akan menyebabkan probabilitas longsor lereng menjadi semakin besar.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap lereng tunggal dan lereng keseluruhan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa TBK Quarry Kedondong maka diperoleh hasil yaitu untuk lereng tunggal menggunakan kriteria kondisi statis dan dinamis $FK > 1,3$ dengan tinggi 5 – 10 meter dan sudut yaitu $35^\circ - 65^\circ$, maka diperoleh kondisi optimal yaitu tinggi 5 m sudut aman 50° , tinggi 6 m sudut aman 45° , tinggi 8 m sudut aman 40° , dan tinggi 10 m sudut aman 35° . Untuk lereng keseluruhan menggunakan kriteria kondisi statis $FK > 1,3$ dan kondisi dinamis $FK > 1,05$ lereng

keseluruhan aktual section A-A' dengan sudut 24° dan section E-E' dengan sudut 18° dari hasil analisis berada dalam kondisi aman. Untuk lereng keseluruhan rencana final pit pada section B-B' dengan sudut 47° dan section F-F' dengan sudut 50° dari hasil analisis lereng berada dalam kondisi tidak aman.

2. Sudut kemiringan lereng yang curam curam akan menyebabkan nilai faktor keamanan lereng menjadi semakin kecil. Hal tersebut karena semakin tinggi dan curam lereng maka volume dan beban material pada lereng akan menjadi semakin besar sehingga lereng dapat menjadi semakin tidak stabil.

Acknowledge

Dari penelitian ini, penulis banyak mengucapkan banyak terimakasih telah membantu dan menyelesaikan penelitian ini kepada:

1. Keluarga
Skripsi ini penyusun persembahkan kepada Bapak Surya dan Ibu Friska selaku kedua orang tua, dan Alif selaku kakak karena telah selalu memberikan doa, dukungan, semangat, dan ilmunya kepada penulis sehingga dapat dengan lancar dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini.
2. Keluarga Tambang 2019
Skripsi ini penyusun persembahkan kepada keluarga tambang 2019 UNISBA, yang telah memberikan dukungan, semangat, dan doa terhadap penyusun sehingga dapat dengan lancar dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini.
3. Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Unisba
Skripsi ini penyusun mempersembahkan untuk dosen-dosen Unisba yang sangat penyusun banggakan yaitu Bapak Ir. Yuliadi, S.T., M.T. selaku pembimbing, Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Si., M.T., selaku co-pembimbing, Bapak Iswandaru, S.T., M.T., Ibu Elfida Moralista, S.Si., M.T., Bapak Ir. Zaenal, M.T., Bapak Dr., Ir. Yunus Ashari, M.T., dan Bapak Ir. Dono Guntoro, S.T., M.T., yang senantiasa memberikan arahan, ilmu, dan semangatnya terhadap penyusun untuk menyelesaikan perkuliahan dan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ruslan Loilatu and Iswandaru, "Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM pada PT. X," *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 15–23, Jul. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i1.782.
- [2] D. F. Hamdan, Yuliadi, and Zaenal, "Optimasi Explosive Charge per Delay untuk Mengontrol Getaran Tanah pada Peledakan Tambang Semen," *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 63–70, Jul. 2023, doi: 10.29313/jrtp.v3i1.2141.
- [3] Anderson, M.G, Richards, K. S. 1987. "Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology"
- [4] Anwar et al. 2018. "Pengaruh Bidang Diskontinu Terhadap Kestabilan Lereng Tambang – Studi Kasus Lereng Pb9s4 Tambang Terbuka Grasberg". *Jurnal Geomine*, Vol. 6, No. 1
- [5] Arif, Irwandy. 2021. "Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang Yang Berkelanjutan Dengan Menjaga Kestabilan Lereng". Gramedia Pustaka Utama: Jakarta
- [6] Bishop, A. W.1955. "The Use Of The Slip Circle In The Stability Analysis Of Earth Slope". *Geotechnique*. 5(1). 7-17
- [7] Jenian. 2022. "Characteristics Of Kedondong Trass And Bobos Trass As Cement Raw Material, Cirebon, West Java, Indonesia". *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* Vol 7 No 1. E-ISSN : 2541-5794
- [8] Sitorus et al. 2022. "Pengaruh Perilaku Tinggi Muka Air Tanah Dengan Variasi Kemiringan Lereng Terhadap Stabilitas Lereng Berbasis Pemodelan Numerik". *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. ISSN 0853-2982

- [9] Sugiarta. 2014. “Karakteristik Mekanik Batu Alam Tiruan Berbahan Baku Tras”. *Spektrum Sipil* Vol. 1 No. 1. ISSN 1858-4896
- [10] Yu et al. 2017. “Evaluation Of Pozzolanic Activity Of Volcanic Tuffs From Tibet, China”. *Adv. Cem. Res.* 29
- [11] Zainal et al. 2021. “Rekomendasi Geometri Lereng Penambangan Optimum Pada Tambang Batugamping Pt Citatih Putra Sukabumi”. ISSN: 1907-5995