

ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN PROBABILITAS LONGSOR METODE MONTE CARLO DI KALIMANTAN TIMUR

Septian Adi Cahya^{*1}, Hendro Purnomo², Bayurohman Pangacella Putra³

^{1,2}Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Jl. Babarsari No 1. Depok, Sleman, Yogyakarta.

Telp: (0274) 485390, 486986 Fax: (0274) 487249

³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, ITNY

Email : ^{*1}septianadichahya25@gmail.com, ²hendropurnomo@gmail.com, ³bayurohman@gmail.com

Abstrak

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Melak, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. Suatu rancangan desain geometri lereng yang aman dan stabil sangat perlu dilakukan karena keberhasilan dalam proses penambangan juga ditentukan oleh adanya kondisi kerja yang aman. Lereng yang tidak aman dapat menimbulkan longsor sehingga dapat memberikan dampak terhadap kegiatan penambangan diantaranya dapat menyebabkan kehilangan nyawa manusia, menyebabkan kerugian dan rusaknya fasilitas alat yang dimiliki perusahaan serta terganggunya kegiatan produksi. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan geometri lereng diantaranya yaitu kondisi dan struktur geologi, sifat fisik dan mekanik material penyusun lereng serta ketinggian muka air tanah untuk lereng yang stabil dan aman. Rancangan desain lereng dibuat dengan menentukan keseimbangan antara geometri lereng dengan keuntungan yang diperoleh perusahaan. Pada suatu rancangan dengan sudut lereng yang curam dapat memaksimalkan cadangan yang diperoleh perusahaan, namun akan meningkatkan resiko dari kestabilan lereng tersebut. Sebaliknya jika pembuatan rancangan lereng dengan sudut kemiringan yang landai akan menurunkan cadangan yang diperoleh perusahaan, namun resiko kestabilan lereng akan menurun. Berdasarkan dari hasil permodelan analisis Probabilitas Kelongsoran (Probability of Failure) untuk memperoleh Faktor Keamanan yang Optimum maka didapatkan tinggi lereng 80 meter dengan nilai overall slope 50,75°, tinggi lereng 90 meter dengan nilai overall slope 43,5° dan tinggi 100 meter dengan nilai overall slope 41,2°.

Kata Kunci : kestabilan, lereng, faktor, keamanan, probabilitas, kelongsoran

Abstract

The research area is located in Melak Subdistrict, West Kutai Regency, East Kalimantan Province. A safe and stable slope geometry design is very necessary because success in the mining process is also determined by the presence of safe working conditions. Unsafe slopes can cause landslides so that it can have an impact on mining activities including causing loss of human life, causing losses and damage to equipment facilities owned by the company and disruption of production activities. There are several things that need to be considered in the design of slope geometry including the condition and structure of geology, the physical and mechanical properties of slope building materials and the height of the ground water level for a stable and safe slope. The design of the slope design is made by determining the balance between the geometry of the slope and the profits obtained by the company. In a design with a steep slope angle can maximize the reserves obtained by the company, but will increase the risk of the stability of the slope. Conversely, if the design of the slope with a sloping slope angle will reduce the reserves obtained by the company, but the risk of reliability will decrease. Based on the results of the model analysis of probability of failure to obtain the Optimum Safety Factor, it was obtained slope height of 80 meters with an overall slope value of 50,75°, slope height of 90 meters with an overall slope value of 43,5° and a height of 100 meters with an overall slope value of 41,2°.

Keywords : stability, slope, safety, factor, probability, failure

1. PENDAHULUAN

Kestabilan lereng tambang terbuka pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting, hal ini berkaitan dengan peningkatan produksi perusahaan tambang di Indonesia, akibatnya perusahaan tambang tersebut melakukan pelebaran dan pendalaman penggalian. Semakin lebar dan dalam tambang terbuka tersebut dilakukan penggalian, maka tentunya akan semakin besar resiko yang akan muncul atau semakin meningkatkan ketidakpastian pada faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka tersebut (Wiradani, 2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi kelongsoran lereng mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi air tanah, karakterisasi massa batuan, struktur yang ada pada batuan serta geometri lereng. Banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam analisis kestabilan suatu lereng, serta terdapatnya sejumlah ketidakpastian terhadap faktor tersebut, membuat indikator kestabilan lereng yang digunakan saat ini faktor keamanan (FK) tidak mampu memberikan desain teoritis yang aman dalam desain praktek suatu lereng, dimana masih terjadi longsor pada lereng yang memiliki kriteria faktor keamanan yang dapat diterima serta didapatkan beberapa lereng yang masih stabil pada kriteria faktor keamanan yang tidak dapat diterima. Atau dengan kata lain, ada lereng aman longsor dan ada lereng tidak aman tidak longsor (Wiradani, 2018).

Hal ini dikarenakan faktor keamanan hanya menganggap nilai rata-rata parameter masukan sudah mewakili karakteristik masing-masing parameter masukan tersebut. Padahal secara alamiah seluruh parameter tersebut memiliki variasi nilai yang memiliki peluang yang sama untuk mewakili karakteristik masing-masing parameter. Oleh sebab itu diperlukan suatu cara yang dapat menjadi solusi kondisi tersebut. Suatu alternatif selain pendekatan FK untuk desain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) lereng. Pada metode ini, nilai faktor keamanan digambarkan sebagai variabel acak yang mempunyai fungsi distribusi dengan parameter yang diperlakukan seperti nilai rata-rata dan standar deviasi. Dengan mengkombinasikan distribusi ini dalam model deterministik yang digunakan dalam menghitung nilai FK, maka PK lereng dapat diestimasi.

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif (Fadjar, 2008). Dalam simulasi Monte Carlo sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model tersebut memiliki nilai yang memiliki probabilitas yang berbeda, yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau biasa disebut dengan probability distribution function dari setiap variabel. Salah satu faktor mengapa metode monte carlo digunakan adalah untuk membantu mendapatkan nilai probabilitas keamanan lereng dimana hal ini dapat membantu meyakinkan bahwasanya lereng tersebut aman sehingga dapat membantu untuk menyelesaikan masalah pada dokumen pelaporan geoteknik perusahaan yang mengacu pada keputusan menteri ESDM nomor 1827 tahun 2018.

Hal menarik dari metode probabilistik adalah representasi yang eksplisit dari ketidakpastian dalam kajian stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan desain lereng dapat dioptimasi dengan nilai probabilitas kelongsoran, sehinggaditujukan untuk mendapatkan nilai FK dan PK, serta geometri lereng penambangan yang optimum, baik untuk single slope maupun overall slope yang dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap desain lereng tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan cara melakukan uji sampel di laboratorium. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk mendapatkan data data yang lebih akurat, sehingga dari dua bagian tersebut diperoleh suatu pola pendekatan penyelesaian masalah. Tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

2.1 Penelitian langsung di laboratorium

Penelitian di laboratorium bertujuan untuk memperoleh data parameter geomekanika dari daerah penelitian yaitu dengan cara melakukan pengujian terhadap sifat-sifat batuan baik sifat

fisik (berat jenis asli, berat jenis semu) ataupun sifat mekanik (kohesi, sudut geser dalam) dari conto batuan.

2.2 Pengambilan data, antara lain :

- a. Data Primer
 - 1. Data Berat jenis berdasarkan hasil pengujian sifat fisik sampel batuan.
 - 2. Data kohesi dan sudut geser dalam berdasarkan hasil pengujian kuat geser sampel batuan
- b. Data Sekunder
 - 1. Peta lokasi dan kesampaian daerah
 - 2. Peta geologi regional
 - 3. Data stratigrafi
 - 4. Iklim dan curah hujan
 - 5. *Seismic load*

2.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan dan penggambaran, selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel-tabel, grafik atau rangkaian perhitungan dalam menyelesaikan suatu proses tertentu. Berikut ini tahapan-tahapan pengolahan dan analisis data untuk mendapatkan analisis dan desain kemantapan lereng :

- 1. Melakukan perhitungan data yang didapat dari uji laboratorium untuk mendapat nilai berupa berat jenis, kohesi ,dan sudut geser dalam.
- 2. Membuat parameter statistik dari beberapa parameter masukan yang meliputi *relative minimum* , *relative maximum*, *standar deviation*, dan *mean*.
- 3. Menentukan distribusi fungsi dari beberapa parameter masukan tersebut dengan parameter-parameter statistik (*relative minimum*, *relative maximum*, *standart deviation*, dan *mean*) dengan bantuan *Software Matlab*.
- 4. Setelah mendapat nilai atau variable parameter masukan (*unit weight*, kohesi, sudut geser dalam) maka langkah selanjutnya menentukan faktor keamanan dengan beberapa variabel masukan tersebut sehingga didapatkan nilai FK deterministik, *mean*, probabilitas, dan indeks reliabilitas lereng.
- 5. Analisa pengolahan data: data-data yang telah diolah akan dianalisis untuk memberikan masukan rekomendasi desain lereng yang nantinya bisa digunakan sebagai alternatif untuk perbaikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Lubang Bor

Pengeboran geoteknik dilakukan pada 6 titik pengeboran, sedangkan analisis yang digunakan dalam jurnal ini menggunakan data pemboran yang berasal dari titik bor DD_109_B.

Tabel 1 Koordinat Lubang Bor PT. Firman Ketaun Perkasa

No.	Hole Name	Coordinate			Total Depth (m)
		North	East	Elevasi (m)	
1	DD109B	358834	9951690	37	184,90
2	DD110B	358526	9951582	18	131,00
3	DD117B	357843	9951044	28	105,50
4	DD121B	357898	9951661	24	81,60
5	DD122B	358137	9951606	28	119,50
6	DD128B	359086	9952441	25	93,60

3.2 Hasil Rekapitulasi Uji Laboratorium

Dari Hasil uji laboratorium diatas maka akan didapatkan data rekapitulasi dari beberapa material yang digunakan sebagai parameter analisis kestabilan lereng . Hasil-hasil tersebut dapat dilihat dalam Tabel berikut ini:

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium

No	Material Name	Unit weight (kN/m ³)		Friction angle (°)	Cohesion (kPa)
		Unsaturated	Saturated		
1	Claystone	16.64	20.14	20.21	46.44
2	Sandstone	18.6	21.65	38.36	63.5
3	Siltstone	19.16	21.79	28.84	67.4
4	Coal	10.46	12.46	39.4	75.75
5	Carbonaceous Claystone	18.09	21.26	15.75	33.34
6	Soil	14.69	19.43	20.75	29.81

3.3 Analisis Kestabilan Lereng dengan Probabilitas Longsor Metode Monte Carlo

Untuk melakukan perhitungan nilai probabilitas kelongsoran lereng dilakukan pada program slide V 6.0 dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo* sebanyak 1000 kali, dimana input analisis kestabilan lereng berupa fungsi distribusi probabilitas dan parameter statistik . Hasil analisa statistik dari masing-masing parameter masukan (*relative minimum*, *relative maximum*, *mean* dan *standart deviation*) dicocokkan dalam 3 fungsi yang dipilih (pada program *Slide V 6.0* dan 3 fungsi tersebut yaitu normal, lognormal dan gamma). Dengan menggunakan metode monte carlo maka akan memperbanyak data secara acak mengikuti fungsi yang ditentukan.

Untuk menentukan fungsi distribusi yang cocok, maka digunakan bantuan *software* yaitu *Matlab* dengan memasukan 3 variabel yang terdapat pada yaitu kohesi, sudut geser dalam dan *unit weight*, agar mendapatkan distribusi fungsi yang paling cocok untuk digunakan.

Pada penentuan material statistik dari hasil uji sifat fisik dan uji kuat geser batuan pada area tersebut yang terdapat pada lubang bor DD_109_B, DD_110_B, DD_117_B, DD_121_B, DD_122_B dan DD_128_B, maka perlapisan batuan pada area tersebut dikelompokkan berdasarkan satuan litologi yaitu sebagai berikut :

Table 3. Perlapisan Batuan Dikelompokkan Berdasarkan Satuan Litologi

No	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Soil	Cohesion	Normal	29.81	9.18	15.1	6.47
2	Soil	Phi	Gamma	20.75	4.15	4.05	5.85
3	Soil	Unit Weight	Gamma	0.78	0.34	0.47	0.24
4	Claystone	Cohesion	Lognormal	46.44	11.81	15.16	19.16
5	Claystone	Phi	Normal	20.21	5.18	9.69	5.7
6	Claystone	Unit Weight	Lognormal	16.64	2.07	2.32	5.12
7	Sandstone	Cohesion	Normal	63.5	11.29	16.42	63.5
8	Sandstone	Phi	Normal	38.36	3.91	11.74	3.15
9	Sandstone	Unit Weight	Normal	18.6	2.79	4.68	3.55
10	Siltstone	Cohesion	Lognormal	67.4	11.46	25.41	8.9
11	Siltstone	Phi	Normal	28.84	3.29	7.34	28.84
12	Siltstone	Unit Weight	Normal	19.16	2.45	5.43	3.19
13	Carbonaceus_claystone	Cohesion	Gamma	33.34	5.71	5.88	4.9
14	Carbonaceus_claystone	Phi	Lognormal	15.75	7.52	5.27	10.64

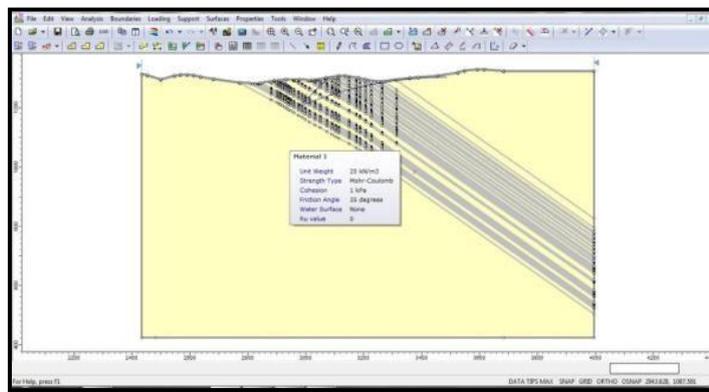
15	Carbonaceous_claystone	Unit Weight	Gamma	18.09	2.91	3.38	3.67
16	Coal	Cohesion	Gamma	75.75	11.93	17.89	20.34
17	Coal	Phi	Normal	39.4	2.18	2.86	2.16
18	Coal	Unit Weight	Gamma	10.46	9.4	1.34	1.2

Pada penelitian ini analisis yang dilakukan pada lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*). Maka dari itu dilakukan beberapa permodelan geometri lereng yang meliputi tinggi dan sudut lereng untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas yang aman.

3.4 Input Data

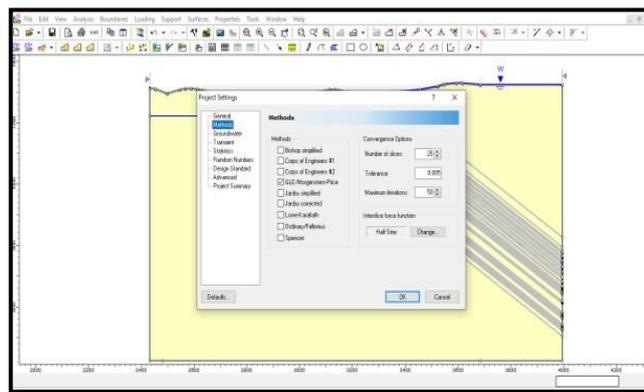
Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam mengolah data menggunakan *software slide versi 6.0* :

1. Import data *Material Boundaries, External Boundaries* dan *Water table* dari autocad.



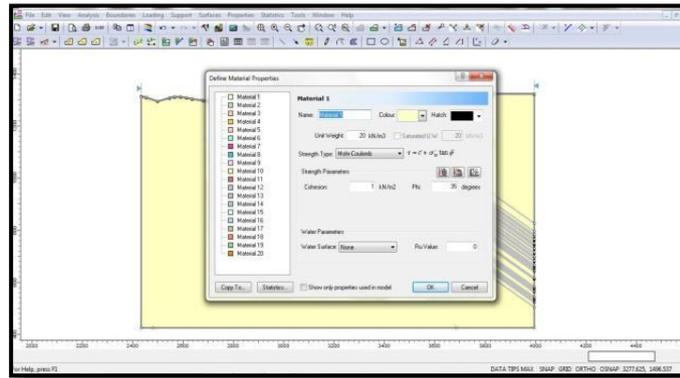
Gambar 1. Import External Boundary, Material Boundary dan Water table

2. Menentukan metode yang digunakan ;



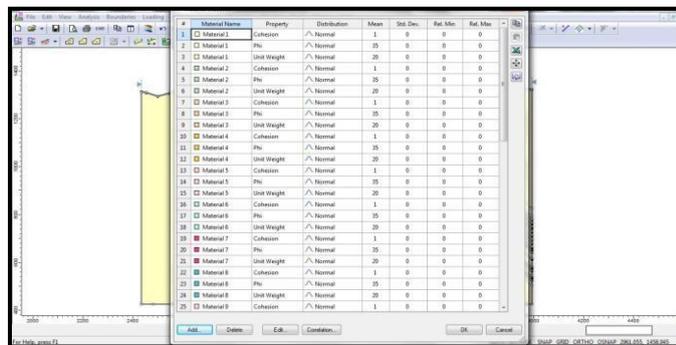
Gambar 2. Menentukan Metode Analisis yang Digunakan

3. Memasukkan data sifat fisik dan sifat mekanik batuan yang terdapat pada kolom *properties* ada menu *analysisdefine material*.



Gambar 3. Memasukkan Data Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

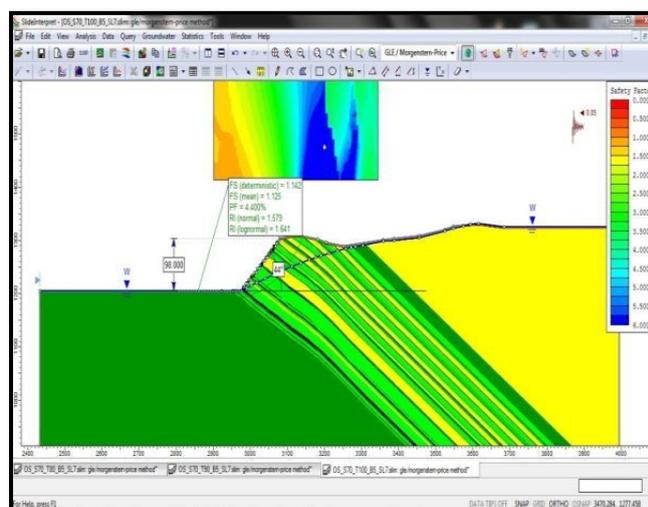
- Memasukkan data statistik berupa *standart deviation*, *mean*, *relative max*, *relative min* dan *distribution* dari data statistik tersebut.



Gambar 4. Memasukkan Data Statistik

3.5 Output Data

Setelah proses compute dan selesai maka akan keluar *output* yang berupa nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran beserta permodelan lerengnya. Hasil ini dari beberapa parameter yang dimasukkan dalam analisis. *Output* ini bisa diolah kembali sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.



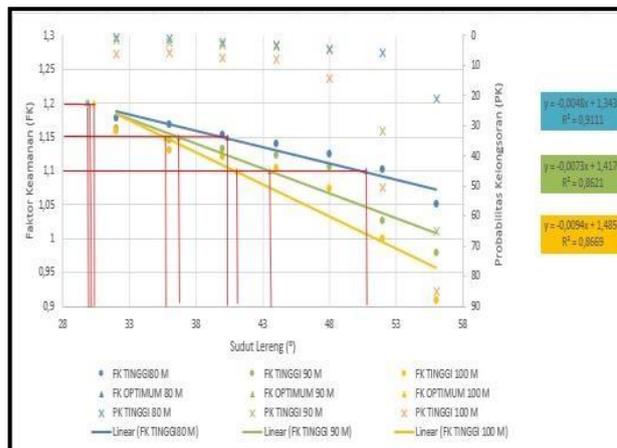
Gambar 5. Output Data Statistik

3.6 Hasil Analisis Kestabilan Lereng dengan Probabilitas Longsor Metode Monte Carlo
 Dari proses-proses diatas maka akan didapatkan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor dari beberapamodel geometri lereng. Hasil-hasil tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Sudut Keseluruhan(°)	Tinggi 80 m		Tinggi 90 m		Tinggi 100 m	
	FK	PF (%)	FK	PF (%)	FK	PF (%)
32	1,177	0,8	1,162	1,3	1,159	6,2
36	1,168	1,1	1,146	2,5	1,13	5,8
40	1,154	2,2	1,133	3	1,12	7,4
44	1,139	3,1	1,123	3,8	1,103	8,1
48	1,125	4,6	1,105	4,8	1,074	14,4
52	1,102	5,9	1,027	31,9	1	50,6
56	1,05	21	0,978	65,2	0,909	97,20

Berdasarkan hasil yang terdapat pada Tabel 3.3 diatas maka diketahui bahwa terdapat hubungan antara geometri lereng dengan nilai faktor keamanan. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi lereng pada sudut yang sama maka akan menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) yang semakin kecil. Hubungan antara nilai faktor kemanan (FK) dengan sudut lereng dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Antara Nilai Faktor Kemanan (FK) Dengan Sudut Lereng

3.7. Penentuan Sudut Lereng (Overall Slope) Optimum

Dari Model hubungan diatas (Gambar 6) merupakan model yang menggambarkan hubungan antara nilai Faktor Keamanan dengan Sudut Lereng Optimum. Cara membaca grafik tersebut adalah dengan menentukan nilai FK yang dikehendaki (sumbu y) pada tiap parameter tinggi (kurva) sehingga diketahui nilai FK (sumbu x) pada ketinggian lereng yang dimaksud, dan begitu pula sebaliknya. Dari model tersebut dapat diketahui hubungan antara FK dengan Sudut Lereng pada geometri tertentu.

Dengan demikian melihat pada model yang telah dibuat bahwa semakin besar nilai FK yang diinginkan, makannilai Sudut Lereng yang dibutuhkan semakin landai.

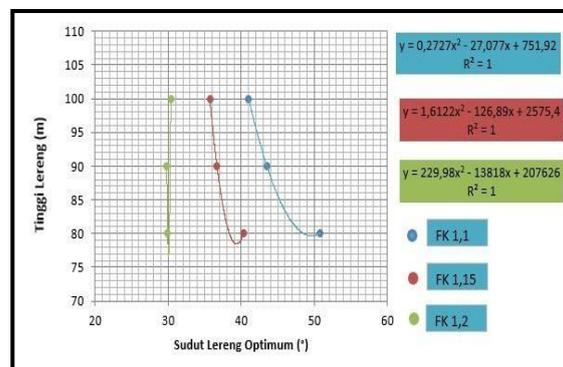
Setelah memperoleh model hubungan antara Faktor Keamanan dengan Sudut Lereng, maka dapat diketahui nilai Sudut Lereng Optimumnya dengan acuan nilai Faktor Keamanan lereng tertentu, (FK = 1,1, FK= 1,15, FK= 1,2). Berdasarkan acuan tersebut maka didapatkan

geometri tinggi lereng dan sudut lereng berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *Running* Sudut Lereng Optimum

FK	T 80	T 90	T 100
1.1	50,75	43,5	41,02
1.15	40,33	36,68	35,7
1.2	29,92	29,8	30,36

Setelah diketahui nilai Sudut Lereng Optimum (*Overall Slope Optimum*), dimana yang dimaksud optimum adalah yang mengacu pada ESDM Nomor 1827 K 30 MEM Tahun 2018 dimana FK harus lebih dari 1,05. Maka akan diketahui hubungan antara sudut lereng tersebut dengan ketinggian lereng. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar berikut ini :



Gambar 7. Hubungan Sudut Lereng Dengan Ketinggian Pada FK Tertentu

Nilai *overall slope* optimum dihubungkan dengan tinggi pit sehingga diperoleh model hubungan antara *overall slope* optimum dengan tinggi pit (Gambar 7). Cara membaca model tersebut adalah dengan menentukan nilai tinggi lereng (sumbu y) pada faktor keamanan tertentu (kurva) sehingga diketahui nilai sudut lereng optimum (pada sumbu x).

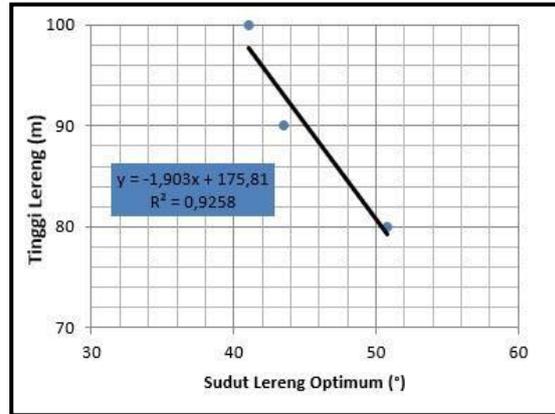
3.8 Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*) pada Faktor Keamanan Optimum

Dalam penelitian, FK 1,1 dijadikan sebagai FK Optimum, dari hasil analisis kestabilan kereng, berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai faktor keamanan yang optimum, nilai tersebut didapatkan pada nilai faktor keamanan 1,1. Hasil tersebut dapat dilihat secara terperinci pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Pada Faktor Kemanan Optimum

Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng Optimum (°)
80	50,75
90	43,5
100	41,2

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 6 diatas, maka kita dapat mengetahui hubungan antara tinggi lereng (m) dengan sudut lereng (°). Semakin tinggi lereng (m) maka akan semakin kecil kemiringan dari lereng tersebut. Begitu pula sebaliknya, jika semakin rendah tinggi lereng (m) maka akan semakin besar pula kemiringan lereng tersebut. Hubungan antara tinggi lereng dan sudut lereng optimum dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan antara Tinggi Lereng dan Sudut Lereng Optimum

Dari penentuan faktor keamanan optimum diatas maka didapatkan nilai faktor keamanan optimum pada tinggilereng 80 meter dengan nilai *Overall Slope* 54,05° yakni 1,106, tinggi lereng 90 meter nilai *overall slope* 46,41° yakni 1,108 dan tinggi 100 meter dengan nilai *overall slope* 41,73° yakni 1,11.

3.9 Hasil Analisis Probabilitas Kelongsoran (*Probability of failure*) Berdasarkan Desain Kestabilan Lereng Optimum

Dari proses-proses diatas maka akan didapatkan nilai probabilitas longsor dari beberapa model geometri lereng optimum. Hasil tersebut dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Hasil Analisis Probabilitas Kelongsoran pada Nilai Faktor Keamanan Optimum

Jumlah Iterasi			
Hasil	1000		
	80 m	90 m	100 m
Sudut Lereng Optimum (°)	54,05	46,41	41,73
PF (%)	7,1	6,4	7,8

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kelongsoran diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai probabilitas kelongsoran (PK) yang memenuhi acuan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM Tahun 2018. Hal tersebut disebabkan karena pada semua hasil iterasi nilai probabilitas kelongsoran dibawah 10%. Perlu diketahui, Semakin banyak data, maka hasil yang diapat akan semakin akurat, dalam hal ini adalah material statistik. Hasil yang didapat berupa nilai PF < 7,8 dan sudah memenuhi kriteria bahwa lereng tersebut dinyatakan aman.

3.10 Rekomendasi Desain Kestabilan Lereng

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kelongsoran diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) yang memenuhi acuan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM Tahun 2018 dengan nilai FK minimal 1,05 dan nilai probabilitas maksimum 10% dengan tingkat keparahan sedang maka direkomendasikan berbagai alternatif rancangan desain kestabilan lereng sebagai berikut :

Tabel 8. Rekomendasi Desain Lereng Kestabilan Lereng

Hasil	Tinggi		
	80 m	90 m	100 m
Sudut Lereng Optimum (°)	50,75	43,50	41,2
FK	1,101	1,107	1,11
PF (%)	6,0	5,8	7,0

5. KESIMPULAN

1. Hasil perhitungan FK berdasarkan rancangan desain lereng dengan Probabilitas Longsor Metode Monte Carlo maka didapatkan tinggi lereng 80 meter dengan nilai Overall Slope $50,75^\circ$ yakni 1,101, tinggi lereng 90 meter nilai overall slope $43,50^\circ$ yakni 1,107 dan tinggi 100 meter dengan nilai overall slope $41,2^\circ$ yakni 1,11.
2. Hasil analisis probabilitas kelongsoran (probability of failure) maka didapatkan tinggi lereng 80 meter dengan nilai Overall Slope $50,75^\circ$ yakni 6,0 %, tinggi lereng 90 meter nilai overall slope $43,50^\circ$ yakni 6,4% dan tinggi 100 meter dengan nilai overall slope $41,2^\circ$ yakni 7,0%.
3. Berdasarkan dari hasil permodelan analisis Probabilitas Kelongsoran (Probability of Failure) maka didapatkan rekomendasi desain lereng optimum yang memenuhi acuan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM maka didapatkan Tinggi lereng tunggal 10 meter, lebar lereng 6,3 meter, dan single slope 60° mendapatkan nilai FK 1,19 dan nilai probabilitas 5,5 % dengan tinggi lereng keseluruhan 100 meter dan Overall Slope $41,2^\circ$ mendapatkan nilai FK 1,11 dan nilai probabilitas 7,0 %.

4. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat memberikan beberapa rekomendasi serta saran mengenai penelitian tersebut, khususnya mengenai Analisis Kestabilan Lereng pada daerah tersebut. Beberapa saran yang dapat saya sampaikan, diantaranya :

1. Untuk meningkatkan nilai kestabilan suatu lereng maka dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu perbaikan geometri dengan cara melandaikan sudut kemiringan lereng
2. Pengeboran geoteknik perlu dilakukan penambahan titik bor agar mendapatkan data yang lebih detail dan akurat sehingga dapat meningkatkan tingkat keyakinan dalam analisis kestabilan lereng.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ir. Hendro Purnomo, M.T, selaku Dosen Pembimbing I, Bayurohman Pangacella Putra, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II, Dosen-dosen Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, dan teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadjar, A. (2008). Aplikasi Simulasi Monte Carlo Dalam Estimasi Biaya Proyek, Jurnal SMARTek, Vol. 6, No. 4, Page : 222 – 227.
- Wiradani, P.W, dan Heriyadi, B. (2018). Analisis Probabilitas Kelongsoran Menggunakan Metode Monte Carlo Pada Highwall Pit SB-II BK-14 PT. Trubaindo Coal Mining, Site Melak, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. Jurnal Bina Tambang, Vol.3, No.4, Page 16.