



Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Probabilistik Simulasi Monte Carlo pada Disposal PT. XYZ

Irvan Erika Pangestu, Revia Oktaviani, Lucia Litha Respati*

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Indonesia.

ARTICLE INFO

Article history :

Received : 10/5/2023

Revised : 12/12/2023

Published : 19/12/2023



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 3

No. : 2

Halaman : 77-86

Terbitan : **Desember 2023**

ABSTRAK

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dalam penambangan batubara yang mana terdapat disposal yang akan dilakukan kajian ulang geoteknik untuk menganalisis kestabilan lereng pada disposal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran, serta memberikan rekomendasi geometri lereng pada lereng yang tidak stabil agar mencapai kondisi yang aman. Metode yang digunakan dalam menentukan kestabilan lereng adalah metode kesetimbangan batas Bishop Simplified dan Morgenstern-Price dengan pendekatan probabilitas kelongsoran simulasi Monte-Carlo pada kondisi statis dan dinamis. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dari 4 section yang dianalisis ternyata terdapat 3 section yang tidak aman, yaitu pada section A-A', B-B', dan D-D' dengan kondisi dinamis dengan metode Bishop Simplified didapatkan nilai FK berturut-turut 1,091; 0,902; 0,976. Sedangkan pada metode Morgenstern-Price berturut-turut sebesar 1,056; 0,91; 0,968. Dari hasil tersebut perlu dilakukan desain ulang dengan mengubah geometri lereng agar mendapatkan lereng dengan kondisi aman. Berdasarkan hasil simulasi redesign geometri lereng, didapatkan rekomendasi lereng yang aman sebaiknya tinggi bench tunggal dengan tinggi 5 meter, dengan optimalisasi yang telah dilakukan, maka geometri lereng rekomendasi. Dengan rekomendasi tersebut didapatkan nilai FK statis >1,3, FK dinamis >1,05 dan PK <10% sesuai dengan KEPMEN ESDM 1827 K/30/MEM/2018.

Kata Kunci : Kestabilan Lereng; Probabilitas Kelongsoran; Monte Carlo.

ABSTRACT

PT. XYZ is a company engaged in coal mining where there is a disposal which will be subject to a geotechnical review to analyze the stability of the slopes at the disposal. This study aims to determine the factor of safety and probability of sliding. The method used to determine slope stability is the Bishop Simplified and Morgenstern-Price boundary equilibrium method with the Monte-Carlo simulation approach to slack probability under static and dynamic conditions. From the results of the research that has been done, it shows that of the 4 sections analyzed, it turns out that there are 3 sections that are not safe, namely sections A-A', B-B', and D-D' with dynamic conditions using the Bishop Simplified method, successive FK values are obtained. -1,091 respectively; 0.902; 0.976. Meanwhile, the Morgenstern-Price method was 1.056; 0.91; 0.968. From these results it is necessary to redesign by changing the geometry of the slopes in order to obtain slopes with safe conditions. Based on the simulation results of the slope geometry redesign, it is recommended that a safe slope should be a single bench height of 5 meters, with the optimization that has been carried out, the recommended slope geometry. With this recommendation, static FK values were > 1.3, dynamic FK > 1.05 and PK <10% in accordance with KEPMEN ESDM 1827 K/30/MEM/2018.

Keywords : Slope Stability, Probability of Failure, Monte Carlo.

@ 2023 Jurnal Riset Teknik Pertambangan Unisba Press. All rights reserved.

A. Pendahuluan

Ilmu geoteknik merupakan salah satu aspek yang sangat penting karena terdapat suatu masalah yang berkaitan dengan kestabilan lereng, khususnya pada tambang terbuka. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya produksi pada perusahaan tambang di Indonesia. Dalam penambangan terbuka, semakin luas dan dalam kita menggali, maka semakin banyak material *overburden* yang akan dipindahkan ke area *disposal* serta akan meningkatkan risiko pada area tersebut. Maka dari itu, area disposal harus dipastikan dalam keadaan stabil dan aman.

Kelongsoran pada lereng disebabkan oleh beberapa faktor, mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, serta kondisi air tanah. Maka dari itu, diperlukan analisis kestabilan lereng yang baik dan akurat. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung nilai dari faktor keamanan (FK).

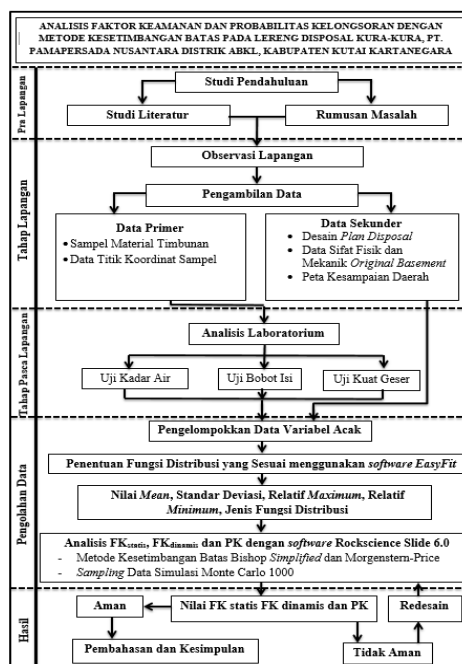
Banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam analisis kestabilan suatu lereng, serta terdapatnya sejumlah ketidakpastian terhadap faktor tersebut, membuat indikator kestabilan lereng yang digunakan saat ini FK tidak mampu memberikan desain teoritis yang aman dalam desain praktek suatu lereng, dimana masih terjadi longsor pada lereng yang memiliki kriteria faktor keamanan yang dapat diterima serta didapatkan beberapa lereng yang masih stabil pada akriteria faktor keamanan yang tidak dapat diterima. Atau dengan kata lain, ada lereng aman longsor dan ada lereng tidak aman tidak longsor [1].

Metode pobabilistik merupakan suatu alternatif selain pendekatan FK untuk desain lereng karena 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.

Oleh karena itu, dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui nilai FK dan PK pada lereng disposal serta menentukan apakah geometri lereng disposal sudah mencapai keamanan yang baik yang sesuai dengan standar pada Kepmen ESDM 1827 K/30/MEM/2018.

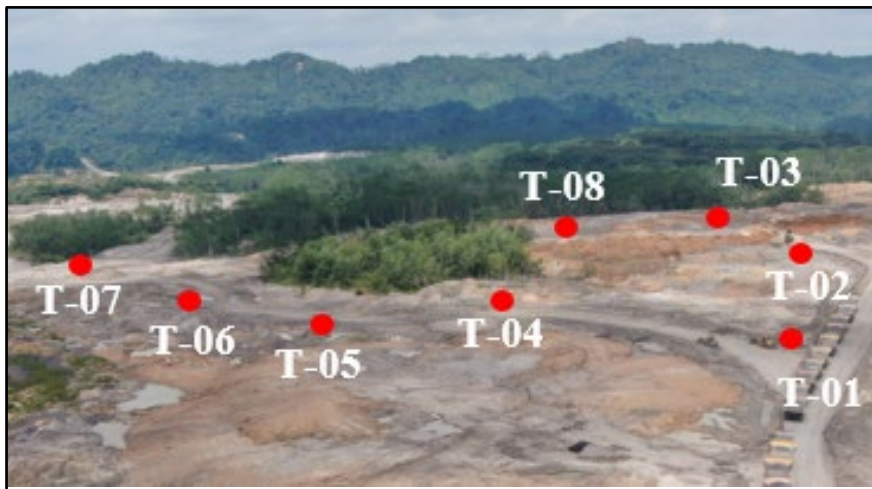
B. Metode Penelitian

Dalam kegiatan penelitian ini dibagi menjadi tahap pendahuluan berupa studi literatur dan rumusan masala, kemudian tahap pengumpulan data, tahap pasca lapangan, tahap pengolahan data, dan tahap analisis serta pembahasan. Diagram alir tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap lapangan dilakukan dengan pengambilan sampel dari daerah penelitian tersebut diambil sebanyak 8 sampel yang kemudian dilakukan pengujian laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui material *properties* yang terdapat pada *disposal*.



Gambar 2. Titik Pengambilan Sampel



Gambar 3. Pengambilan dan Pengujian Sampel

Tahap pengumpulan dan pengolahan data geoteknik, yaitu (1) Pengumpulan data geoteknik yang terdiri dari *properties* batuan, sifat fisik dan mekanik batuan meliputi bobot isi basah (Y), bobot isi kering (Y_{sat}), kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ); (2) Membuat penampang sayatan menggunakan program *Minescape 5.7*; (3) Menentukan distribusi probabilitas yang sesuai dengan parameter statistik dari beberapa parameter masukan yang meliputi standar deviasi, *mean*, *relative minimum*, dan *relative maximum* menggunakan *software Easyfit*; (4) Proses analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas *Bishop Simplified* dan *Morgenstern-Price* dengan pendekatan probabilitas kelongsoran melalui simulasi *Monte Carlo* untuk mendapatkan nilai FK statis, dan FK dinamis, serta nilai PK pada program *Rocsience Slide 6.0*; (5) Memberikan rekomendasi geometri lereng yang stabil pada daerah yang mempunyai potensi terjadinya longsor FK statis $< 1,3$, FK dinamis $< 1,1$, dan PK $< 10\%$ sesuai dengan Kepmen ESDM no 1827 K/30/MEM/2018.

Tabel 1. Rekomendasi Nilai FK dan PK Lereng

Jenis	Tingkat Longsor	Kriteria Dapat Diterima (Acceptance Criteria)		
		FK Statis (min)	FK Dinamis (min)	PK (maks)
<i>Single Slope</i>	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak Ada	25-50%
	Rendah	1,15-1,2	1	25%
	Menengah	1,2-1,3	1	20%
<i>Inter-ramp</i>	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
	Rendah	1,2-1,3	1	15-20%
<i>Overall Slope</i>	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1	5%

C. Hasil dan Pembahasan

Hasil Rekapitulasi Uji Laboratorium

Dari hasil uji laboratorium didapatkan data rekapitulasi dari beberapa material yang digunakan sebagai parameter analisis kestabilan lereng yang dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Data Hasil Uji Laboratorium

Kode Sampel	Kohesi Puncak (kN/m ²)	Kohesi Residual (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam Puncak (°)	Sudut Geser Dalam Residual (°)
T-01	55,97	16,72	11,84	9,52
T-02	42,16	31,38	54,15	41,37
T-03	75,60	19,62	11,84	9,76
T-04	13,08	8,72	47,47	43,96
T-05	68,65	18,63	55,42	40,53
T-06	69,79	7,99	42,69	28,59
T-07	74,14	6,54	30,41	29,52
T-08	21,09	18,17	68,64	54,14

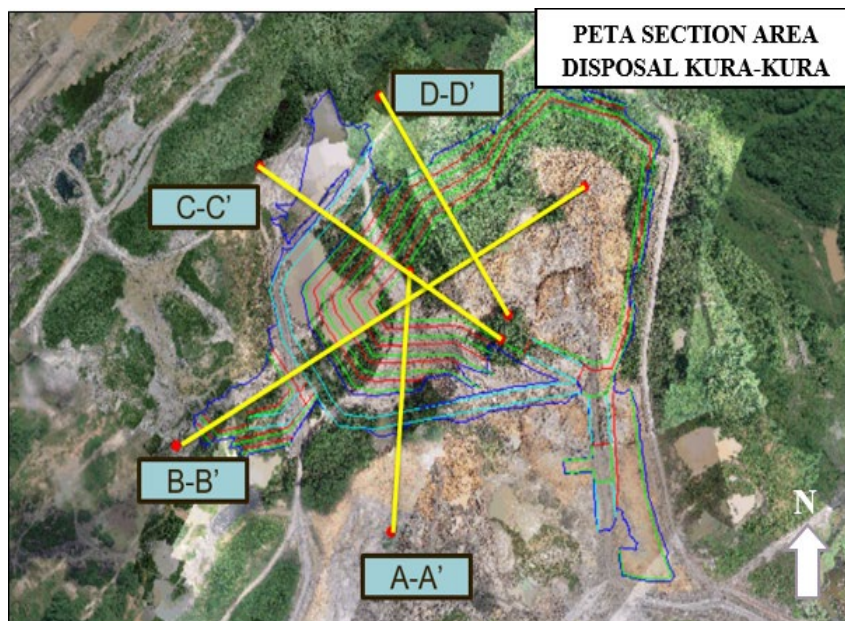
Nilai sifat fisik dan mekanik dari basement disposal diperlukan sebagai parameter masukan dalam menganalisis kestabilan lereng *disposal*. Untuk sifat fisik dan mekanik dari litologi basement pada daerah disposal sendiri didapatkan dari data sekunder dari perusahaan. Litologi daerah disposal terdiri dari lapisan timbunan lama, lumpur, dan lapisan batuan yang nilai bobot isi, kohesi, dan sudut geser dalamnya dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Data Hasil Uji Laboratorium

Sampel	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)	Kohesi Puncak (kN/m ²)	Kohesi Residual (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam Puncak (°)	Sudut Geser Dalam Residual (°)
Timbunan Lama	21,21	-	-	18,2	-	14,14
Mud	18	-	-	5	-	0
Soil	17,98	13,32	51,49	51,00	21,15	21,15
Claystone 1	21,80	19,25	211,44	70,61	33,53	25,48
Claystone 2	21,56	19,46	300,09	100,03	33,92	25,81
Claystone 3	22,66	20,57	588,42	196,14	17,12	12,49
Claystone 4	19,42	15,77	136,32	45,11	30,25	22,75
Claystone 5	21,07	18,64	372,67	124,55	23,27	17,19
Claystone 6	21,14	18,77	373,65	124,55	22,64	16,7
Sandstone 1	20,35	17,38	112,78	37,27	38,51	29,79
Sandstone 2	19,82	16,54	62,76	20,59	38,62	29,88
Sandstone 3	21,43	18,59	161,82	53,94	43,51	34,32
Coal	12,34	8,81	619,80	206,93	50,52	41,12

Analisis Kestabilan Lereng

Dalam menganalisis lereng di Disposals Kura-kura, dibuat 4 section yang dapat dilihat pada gambar berikut:



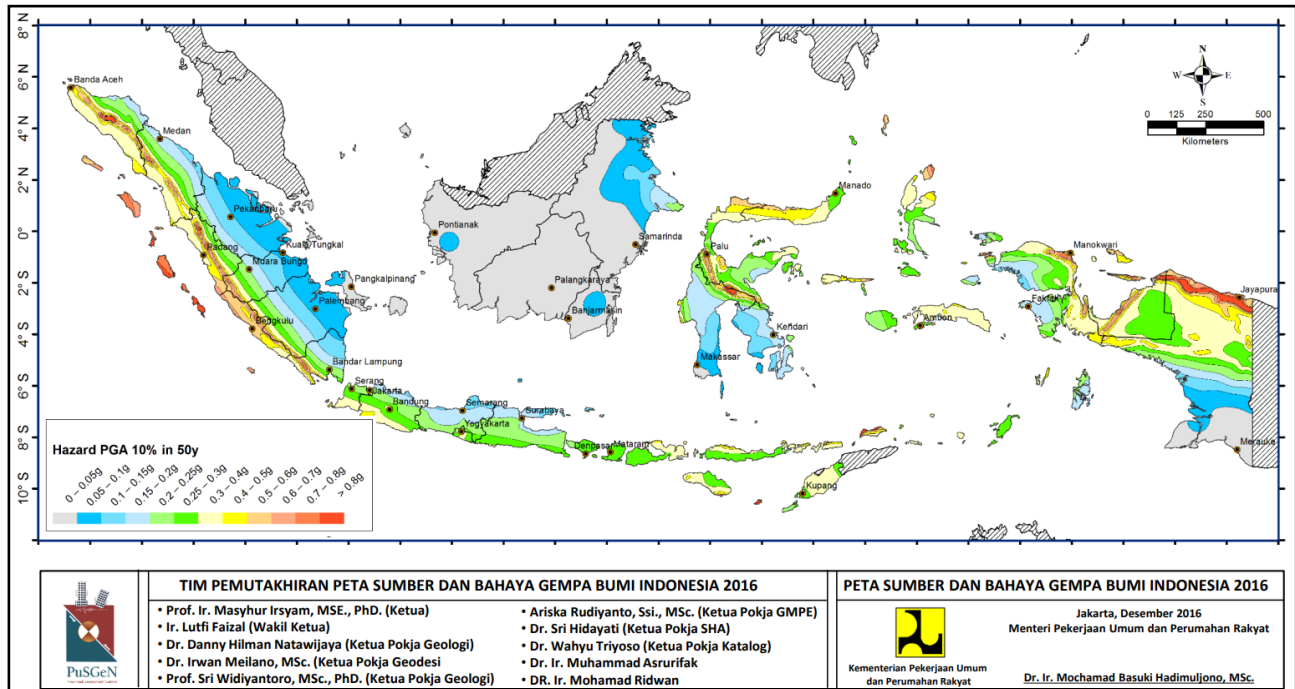
Gambar 4. Peta Section Area Disposals

Dalam melakukan perhitungan nilai probabilitas kelongsoran lereng menggunakan program Rocscience Slide 6.0 dengan metode kesetimbangan batas Bishop Simplified dan Morgenstern-Price dengan penerapan simulasi Monte Carlo 3000 kali, dimana input analisis kestabilan lereng berupa fungsi distribusi probabilitas dan parameter statistik. Masing masing parameter yang dimasukkan antara lain relative minimum, relative maximum, mean, dan standart deviation. Dengan menggunakan software EasyFit jenis fungsi distribusi probabilitas yang sesuai akan didapatkan. Simulasi Monte Carlo maka akan memperbanyak data secara acak untuk medapatkan nilai probabilitas kelongsoran.

Tabel 4. Data Hasil Uji Laboratorium

Material	Variabel	Jenis Distribusi	Uji Data Statistik			
			Mean	Std. Deviasi	Maks	Min
Timbunan	Bobot Isi	Lognormal	19,89	0,79	21,43	19,03
	Kohesi	Lognormal	15,66	9,61	31,38	6,54
	Sudut Geser Dalam	Normal	33,77	11,87	43,96	9,52
Claystone	Bobot Isi	Lognormal	21,28	1,08	22,66	19,42
	Kohesi	Lognormal	110,17	52,35	196,14	45,11
	Sudut Geser Dalam	Normal	20,07	5,41	25,81	12,49
Sandstone	Bobot Isi	Normal	20,53	0,82	21,43	19,82
	Kohesi	Normal	37,27	16,67	53,94	20,59
	Sudut Geser Dalam	Normal	31,33	2,59	34,32	29,79

Analisis kestabilan lereng dibuat dengan asumsi tinggi muka air mengikuti permukaan lereng atau jenuh. Pemodelan kestabilan lereng dilakukan saat kondisi statis dan kondisi dinamis. Kondisi dinamis dimodelkan dengan asumsi bahwa terdapat HD dengan nilai distributed load sebesar 76 kN/m² yang melewati ramp pada beberapa model lereng. Selain itu, kondisi dinamis juga memperhitungkan koefisien getaran gempa berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2016 yang dapat dilihat pada gambar 2. Dari peta tersebut pada daerah Kutai Kartanegara didapatkan nilai sebesar 0,03g.



Gambar 5. Peta Zona Gempa Indonesia 2016

Hasil Analisis Kestabilan Lereng

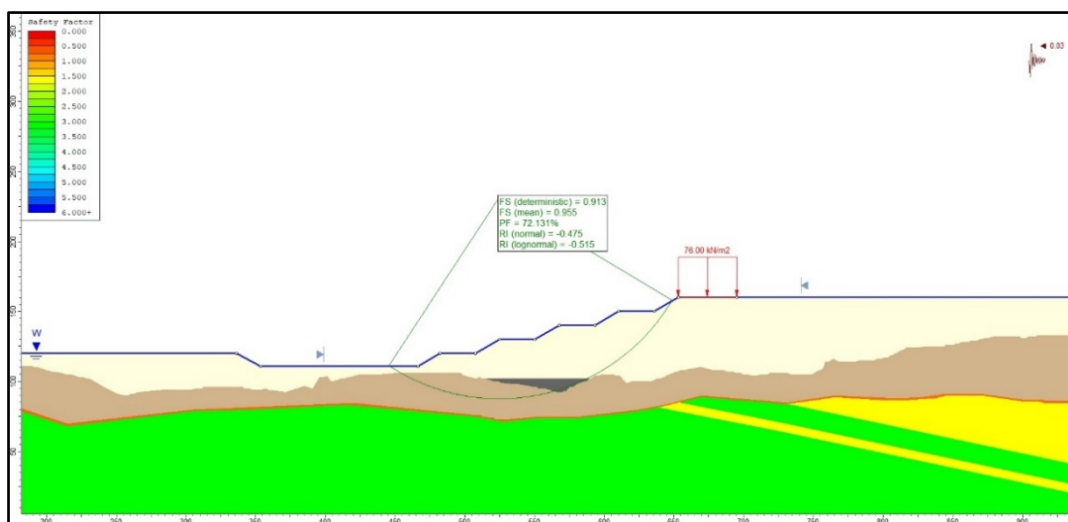
Dari proses-proses diatas nantinya akan digunakan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor dari beberapa model geometri lereng. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Analisis Lereng Kondisi Statis

Section	Dimensi Lereng				FK Statis		PK (%)		Ket.
	Tinggi Keseluruhan (m)	Tinggi Tunggal (m)	Overall Slope (°)	Single Slope (°)	Bishop	Morgenstern	Bishop	Morgenstern	
A-A'	43	10	14	30	1,264	1,23	0	0	Tidak Aman
B-B'	49	10	15	30	1,03	1,035	26,11	22,62	Tidak Aman
C-C'	42	10	13	30	1,481	1,481	3,3	3,2	Aman
D-D'	28	10	16	30	1,145	1,129	0	0	Tidak Aman

Tabel 6. Hasil Analisis Lereng Kondisi Dinamis

Section	Dimensi Lereng				FK Dinamis		PK (%)		Ket.
	Tinggi Keseluruhan (m)	Tinggi Tunggal (m)	Overall Slope (°)	Single Slope (°)	Bishop	Morgenstern	Bishop	Morgenstern	
A-A'	43	10	14	30	1,091	1,056	11,8	11,1	Tidak Aman
B-B'	49	10	15	30	0,902	0,91	76	80,2	Tidak Aman
C-C'	42	10	13	30	1,395	1,399	5,2	4,8	Aman
D-D'	28	10	16	30	0,976	0,968	54,9	59,1	Tidak Aman



Gambar 6. Interpretasi Section B-B' Pada Kondisi Dinamis Metode Morgenstern-Price

Berdasarkan hasil analisis pada simulasi yang telah dilakukan, direkomendasikan tinggi lereng tunggal 5 meter, sudut lereng tunggal 35°, dengan sudut keseluruhan 10°. Dengan rekomendasi geometri lereng tersebut, maka didapatkan nilai FK dan PK yang sesuai dengan regulasi pada Kepmen 1827 K/30/MEM/2018.

Tabel 7. Hasil Analisis Simulasi Lereng Kondisi Statis

Tinggi Tunggal (m)	Dimensi Lereng		Tinggi Keseluruhan (m)	FK Statis		PK (%)		Ket.
	Single Slope (°)	Overall Slope (°)		Bishop	Morgenstern	Bishop	Morgenstern	
5	20	9	49	1.475	1.481	0	0	Aman
	25	9	49	1.39	1.398	0	0	Aman
	30	10	49	1.351	1.357	0	0	Aman
	35	10	49	1.306	1.309	0	0	Aman
10	20	12	49	1.171	1.161	0	0	Tidak Aman
	25	13	49	1.047	1.047	23.1	22.1	Tidak Aman
	30	15	49	1.03	1.035	26.11	22.62	Tidak Aman

Tabel 8. Hasil Analisis Simulasi Lereng Kondisi Dinamis

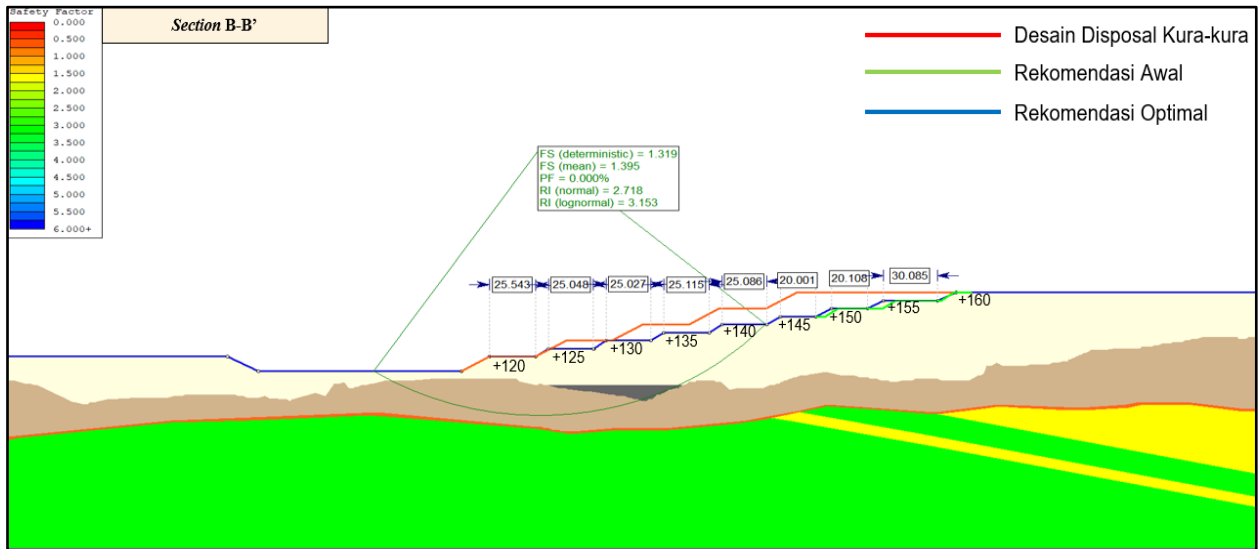
Tinggi Tunggal (m)	Dimensi Lereng		Tinggi Keseluruhan (m)	FK Dinamis		PK (%)		Ket.
	Single Slope (°)	Overall Slope (°)		Bishop	Morgenstern	Bishop	Morgenstern	
5	20	9	49	1.223	1.233	0	0	Aman
	25	9	49	1.156	1.168	0	0	Aman
	30	10	49	1.135	1.148	0	0	Aman
	35	10	49	1.096	1.105	0.61	0	Aman
10	20	12	49	0.993	0.986	41.8	47.5	Tidak Aman
	25	13	49	0.903	0.907	63.8	62.9	Tidak Aman
	30	15	49	0.902	0.91	76.0	80.2	Tidak Aman

Berdasarkan hasil analisis pada simulasi yang telah dilakukan, direkomendasikan tinggi lereng tunggal 5 meter, sudut lereng tunggal 35°, dengan sudut keseluruhan 10°. Dengan rekomendasi geometri lereng tersebut, maka didapatkan nilai FK dan PK yang sesuai dengan regulasi pada Kepmen 1827 K/30/MEM/2018.

Optimalisasi Geometri Lereng

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, kemudian dilakukan optimalisasi geometri lereng agar dapat menambung *overburden* yang lebih banyak dengan FK yang tetap dalam kondisi aman. Optimalisasi ini dilakukan dengan cara *trial and error* sampai didapatkan geometri lereng yang optimal. Dari hasil *trial and error*, perubahan geometri lereng dapat dilihat pada gambar 7 dengan geometri lereng sebagai berikut :

- Bench elevasi +120 sampai +140 selebar 25 meter, sudut 35°
- Bench elevasi +145 sampai +155 selebar 20 meter, sudut 30°
- Bench elevasi +160 selebar 30 meter, sudut 25°



Gambar 7. Hasil Interpretasi Section B-B' Setelah Optimalisasi

Tabel 9. Hasil Analisis Redesain Optimal Lereng Kondisi Statis

Section	Dimensi Lereng		FK Statis		PK		Keterangan
	Tinggi Keseluruhan	Overall Slope	Bishop	Morgenstern	Bishop	Morgenstern	
A-A'	43	9	1,64	1,611	0%	0%	Aman
B-B'	49	10	1,313	1,319	0%	0%	Aman
D-D'	28	11	1,313	1,308	0%	0%	Aman

Tabel 10. Hasil Analisis Redesain Optimal Lereng Kondisi Dinamis

Section	Dimensi Lereng		FK Dinamis		PK		Keterangan
	Tinggi Keseluruhan	Overall Slope	Bishop	Morgenstern	Bishop	Morgenstern	
A-A'	43	9	1,373	1,349	0%	0%	Aman
B-B'	49	10	1,096	1,105	0,815%	0%	Aman
D-D'	28	11	1,09	1,089	0%	0%	Aman

D. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dari 4 section yang dianalisis ternyata terdapat 3 section yang tidak aman, yaitu pada section A-A', B-B', dan D-D' dengan kondisi dinamis dengan metode Bishop Simplified didapatkan nilai FK berturut-turut 1,091; 0,902; 0,976. Sedangkan pada metode Morgenstern-Price berturut-turut sebesar 1,056; 0,91; 0,968. Dari hasil tersebut perlu dilakukan desain ulang dengan mengubah geometri lereng agar mendapatkan lereng dengan kondisi aman. Berdasarkan hasil simulasi redesain geometri lereng, didapatkan rekomendasi lereng yang aman sebaiknya tinggi bench tunggal dengan tinggi 5 meter, dengan optimalisasi yang telah dilakukan, maka geometri lereng rekomendasi yaitu bench pada elevasi +120 sampai +140 selebar 25 meter dengan sudut tunggal 35°, bench elevasi +145 sampai +150 selebar 20 meter dengan sudut tunggal 30°, bench elevasi +155 selebar 30 meter dengan sudut tunggal 25°. Dengan rekomendasi tersebut didapatkan nilai FK statis >1,3, FK dinamis >1,05 dan PK <10% sesuai dengan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018.

Daftar Pustaka

- [1] P. K. Wiradani and B. Heriyadi, “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, 2018.
- [2] Muhammad Ikram and Yuliadi, “Kajian Geoteknik untuk Penentuan Geometri Lereng Front Penambangan di PT. XYZ,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 107–116, Dec. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i2.1246.
- [3] Krispian Fathan Hidayatullah, Iswandaru, and Zaenal, “Kestabilan Lereng Tambang Terbuka pada Tambang Emas di PT X Kecamatan Simpenan, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, vol. 1, no. 2, pp. 155–161, Feb. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v1i2.539.
- [4] Fachrul Rozy Elba Ansofa, Yunus Ashari, and Iswandaru, “Simulasi Potensi Gerakan Tanah Lereng Alami Akibat Perubahan Tata Guna Lahan Periode Tahun 2013 – 2020 Wilayah Kecamatan Cimenyan, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, vol. 1, no. 2, pp. 89–100, Dec. 2021, doi: 10.29313/jrtp.v1i2.390.
- [5] M. M. Lollong, T. Trides, and W. Nugroho, “Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) Dan Metode Slope Mass Rating (SMR) Pada Penambangan Batupasir Daerah Bukit Pinang Kecamatan Samarinda Ulu Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur,” *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [6] M. A. Rai, S. Kramadibrata, and R. K. Wattimena, *Mekanika Batuan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2014.
- [7] N. Djauhari, *Pengantar Geologi*. Yogyakarta: Deepublish, 2014.
- [8] M. A. Syam, T. Trides, and H. Heryanto, “ANALISIS KESTABILAN LERENG BEDASARKAN NILAI SLOPE MASS RATING DI DESA SUKAMAJU, TENGGARONG SEBERANG, KUTAI KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR,” *JURNAL GEOCELEBES*, vol. 2, no. 2, p. 53, Oct. 2018, doi: 10.20956/geocelebes.v2i2.5158.
- [9] 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.
- [10] I. Arif, *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2016.