

Analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilistik di TK 4488 PT Timah Tbk

Slope stability analysis using limit equilibrium and probabilistic methods at TK 4488 PT Timah Tbk

Pratama Aditya Irawan¹, Franto², Irvani³

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
 e-mail: ¹adityairawan170@gmail.com, ²franto_fr@ymail.com, ³bujangbabel@yahoo.co.id

ABSTRAK

TK 4488 merupakan tambang *alluvial*. Tambang ini dulunya merupakan bekas tambang, seiring harga timah semakin baik maka dikerjakan kembali dengan kondisi material *loose* yang rentan terjadi kelongsoran. Penelitian dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng melalui pengujian sifat fisik dan mekanik, metode kesetimbangan batas dan probabilistik Monte Carlo. Satuan lapisan penyusun lereng terdiri atas satuan, Pasir Lanauan, Pasir Bergradasi Jelek, Pasir Bergradasi Baik, Pasir Bergradasi Buruk dengan Kerikil dan Lempung, Pasir Bergradasi Baik dengan Kerikil dan Lempung, Pasir Bergradasi Baik dengan Lempung. Penampang A–A' FK deterministik 1,30, PK 4,60% dan FK mean 1,31 kondisi statis. FK deterministik 1,06, PK 20,20% dan FK mean 1,07 kondisi dinamis. Penampang B–B' FK deterministik 2,97, PK 0% dan FK mean 2,98 kondisi statis. FK deterministik 1,80, PK 0% dan FK mean 1,80 kondisi dinamis. Penampang C–C' FK deterministik 2,39, PK 0% dan FK mean 2,35 kondisi statis. FK deterministik 1,06, PK 22,10% dan FK mean 1,06 kondisi dinamis. Dilakukan optimasi pada penampang A–A' dan penampang C–C', FK deterministik 1,23, PK 0,40% dan FK mean 1,23 penampang A–A'. Sedangkan penampang C–C' FK deterministik 1,26, PK 0,20% dan FK mean 1,27.

Kata-kunci: faktor keamanan, kestabilan lereng, probabilitas keruntuhan

ABSTRACT

TK 4488 is a *alluvial mine*. This mine used to be a former mine, as the price of tin got better, it was reworked with material *loose conditions* which are prone to landslides. The research was conducted to analyze the stability of the slopes through testing the physical and mechanical properties, limit equilibrium and Monte Carlo probabilistic methods. The slope units consist of silty sand, poorly graded sand, well graded sand, poorly graded sand with gravel and clay, well graded sand with gravel and clay, well graded sand with clay. Cross section A–A' deterministic FK 1.30, PK 4.60% and mean FK 1.31 static condition. FK deterministic 1.06, PK 20.20% and mean FK 1.07 under dynamic conditions. Cross section B–B' deterministic FK 2.97, PK 0% and mean FK 2.98 static conditions. FK deterministic 1.80, PK 0% and mean FK 1.80 under dynamic conditions. Cross section C–C' deterministic FK 2.39, PK 0% and mean FK 2.35 static conditions. FK deterministic 1.06, PK 22.10% and mean FK 1.06 under dynamic conditions. Optimization was carried out on cross sections A–A' and cross sections C–C', deterministic FK 1.23, PK 0.40% and mean FK 1.23 cross sections A–A'. Meanwhile, the deterministic FK section C–C' is 1.26, PK is 0.20% and mean FK is 1.27.

Keywords: probability of failure, safety factor, slope stability

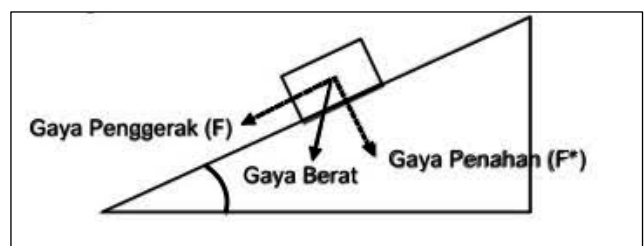
PENDAHULUAN

Pada kuartal I tahun 2022, permintaan global logam timah mengalami peningkatan pada Mei 2022, sehingga berhasil membukukan laba sebesar Rp 601 miliar atau naik 5713% dibandingkan Kuartal I tahun 2021. Peningkatan permintaan timah sebaiknya diikuti dengan pertambangan yang sesuai prosedur Kaidah Pertambangan yang Baik (*Good Mining Practice*) [1].

Ketidak stabilan lereng yang terbentuk dari penambangan dapat mengganggu kegiatan produksi [2]. Beberapa hal yang dapat mengganggu kestabilan lereng antara lain pelapukan, erosi, transportasi, infiltrasi dan sedimentasi [3]. Secara formulasi, faktor keamanan yang dijadikan pendekatan dalam mengetahui kestabilan lereng tambang merupakan perbandingan antara kekuatan geser maksimum dan kekuatan geser yang diperlukan untuk menahan kemantapan (*Limit Equilibrium*) [4]. Persamaan kuat geser tanah dapat dilihat pada persamaan (1).

$$F = \frac{s}{\tau} \quad (1)$$

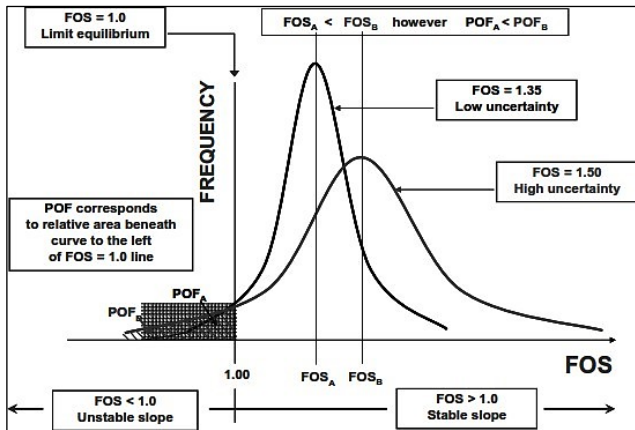
dimana s merupakan kuat geser tanah dan τ merupakan tegangan geser setimbang. Tegangan geser setimbang terjadi saat tegangan geser yang dibutuhkan untuk menjaga lereng dalam keadaan stabil [5].



Gambar-1. Faktor Keamanan Sederhana [6].

Secara teoritis $FK > 1,0$ berarti gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak dinyatakan sebagai lereng stabil, $FK = 1,0$ dinyatakan sebagai batas kritis lereng stabil, dan $FK < 1,0$ berarti gaya penggerak lebih besar dari gaya penahan dinyatakan lereng labil. Metode Kesetimbangan batas membagi massa bidang gelincir menjadi n irisan-irisan kecil. Gaya geser yang bekerja pada n irisan mewakili seluruh bagian yang sama dari kuat geser batuan dimana gaya tersebut bekerja. Pada metode ini perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan regangan pada lereng [2].

Probabilistik adalah cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak juga variabel acak. Nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan [7].



Gambar-2. Konsep Probabilitas Kelongsoran [8]

Keuntungan Metode Monte Carlo yakni sederhana, lebih fleksibel dalam menggabungkan varietas distribusi probabilitas yang besar tanpa banyak penafsiran dan kemampuan memodelkan korelasi antara variabel [10].

Dalam penentuan tingkat kestabilan lereng diperlukan ambang batas (*acceptance criteria*) nilai FK dan PK. Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 mengeluarkan nilai ambang batas FK dan PK lereng bagi beberapa kategori lereng, yang dapat dijadikan acuan dalam desain lereng (Tabel 1). Pada penelitian ini, kategori lereng yang dimaksud adalah lereng keseluruhan dengan tingkat keparahan longsoran menengah.

Menurut Peta Geologi Regional Lembar Bangka Selatan [11]. Dari susunan tertua-muda terdiri atas:

1. Kompleks Malihan Pemali (CPp), tersusun atas filit, sekis, dan kuarsit. Umur satuan ini tidak diketahui dengan pasti tetapi kedudukannya ditindih oleh Formasi Tanjung Genting, maka umurnya diduga Perem atau Karbon.
2. Formasi Tanjung Genting (Trt), tersusun atas perselingan batu pasir dan batu lempung. Hasil analisis di dalam batu gamping dijumpai fosil yang mencirikan umur Trias Awal.
3. Granit Klabat (TrJkg), terdiri atas Granit biotit,

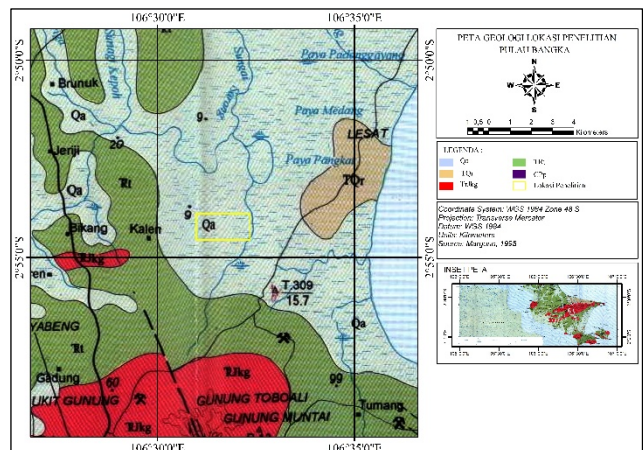
granodiorit, dan granit genesa. Umur satuan granit ini adalah Trias Akhir-Jura Awal dan menerobos Formasi Tanjung Genting dan Kompleks Malihan Pemali.

4. Formasi Ranggam (TQr), tersusun atas perselingan batu pasir, batu lempung dan konglomerat. Terdapat fosil yang menunjukkan berumur Miosen Akhir-Plistosen Awal.
5. Pasir Kuarsa (Qak), tersusun atas pasir kuarsa.
6. Endapan Rawa (Qs), tersusun atas lumpur, lanau dan pasir.
7. Aluvium (Qa), tersusun atas lumpur, lempung, pasir, kerikil dan kerakal.

Tabel-1. Kategori dan Kriteria Keamanan Lereng.

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (<i>Consequences of Failure/ CoF</i>)	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (<i>Probability of Failure</i>) (maks) PoF ($FK \leq 1$)
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Sumber: [9]



Gambar-3. Peta Geologi Regional Lembar Bangka Selatan (Margono dkk, 1995).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan observasi lalu studi pustaka mengenai kondisi geologi daerah penelitian. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel tanah penyusun lereng untuk dilakukan pengujian laboratorium yang meliputi pengujian sifat fisik dan mekanik tanah penyusun lereng menggunakan 6 sampel berdasarkan litologinya. Data yang digunakan adalah data nilai berat isi, nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam dari hasil uji analisis saringan, uji batas *atterberg*, dan uji kuat geser langsung.

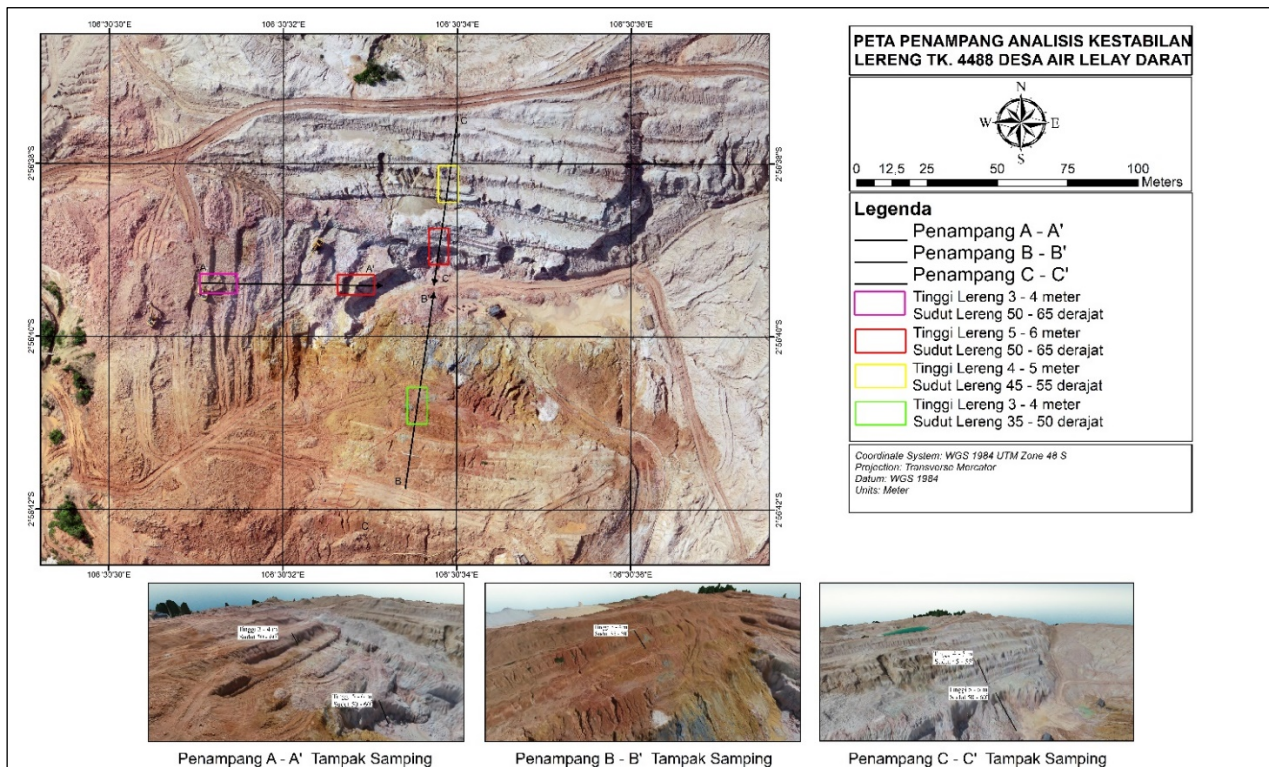
Tahapan selanjutnya berupa pencocokan fungsi distribusi normal dari parameter masukan dengan nilai parameter kohesi, bobot isi dan sudut geser dalam dan parameter nilai statistika deskriptif hasil sifat fisik dan mekanik menggunakan bantuan perangkat lunak *IBM SPSS* dengan variabel mean, standar deviasi, nilai maksimum dan nilai minimum.

Tahapan selanjutnya yaitu melakukan simulasi kestabilan lereng tunggal dan keseluruhan menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Morgenstern-price dan analisis menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo dengan bantuan *Software Rocscience: Slide 6.0* pada geometri lereng tunggal dengan variasi ketinggian *bench* dari 3-6 m dengan interval 1 m, dan variasi sudut lereng dari 35°-65° dengan interval 5°, penentuan ini berdasarkan variasi geometri lereng tunggal aktual hasil pengukuran geometri lereng di lokasi penelitian. Sedangkan Analisis kestabilan lereng keseluruhan dilakukan pada 3 penampang lereng, yaitu penampang A-A', penampang B-B' dan penampang C-C'. Berikut yang dapat dilihat pada peta di Gambar 3.

Model geometri lereng didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan drone yang dilakukan dengan

pengambilan GCP (*Ground Control Point*) untuk mendapatkan geometri lereng tambang aktual dari citra drone di TK 4488 berupa data DEM (*Data Elevation Model*) yang diolah menggunakan bantuan perangkat lunak *Global Mapper 22* dan *Autocad Civil 3D*, lalu dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Rocscience: Slide 6.0* untuk dilakukan simulasi kestabilan lereng keseluruhan.

Selain itu, Analisis dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada kondisi statis dan dinamis pada kondisi dengan pembebanan seismik sebesar 0,056 g, yang dimana nilai ini merupakan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) wilayah tambang menurut Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang dikeluarkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional dan Kementerian PUPR (Yulikasari, 2017). Dan beban 201,04 kN/m² sebagai beban excavator komatsu PC 210.



Gambar-4. Penampang Lereng Tunggal dan Keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode penambangan di TK 4488 menggunakan sistem tambang terbuka (*open pit*) dengan tipe endapan timah sekunder (*alluvial*), penambangannya dilakukan dengan Metode (*hydraulicking*) untuk proses *ore getting* atau tambang semprot dengan memanfaatkan air untuk pemberaiaan dan pompa untuk pengangkutannya. Kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup dan penambangan lapisan timah (*ore getting*) dilakukan dengan Excavator Komatsu PC 210. Material lapisan timah yang sudah dikupas selanjutnya dikumpulkan ke *stockpile* untuk langsung dilakukan proses pencucian bijih timah yang diawali dengan material disemprot di front penambangan lalu *slurry* kemudian dipisahkan terlebih dahulu oleh *grizzly* sebelum umpan dilakukan proses pencucian secara konsentrasi gravitasi menggunakan *sluice box*.

Kondisi Sifat Fisik dan Mekanik Material Tanah Daerah Penelitian

Dilakukan pengamatan secara langsung pada kondisi material tanah penyusun lereng di permukaan lereng tambang maupun di laboratorium dengan mengidentifikasi secara megaskopis dan mengukur ketebalan lapisan tanah. Pada penelitian ini dilakukan uji laboratorium, yaitu uji kuat geser langsung, analisis saringan dan analisis batas *Atterberg* yang diperlukan dalam pengklasifikasian tanah. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengklasifikasian tanah menggunakan pedoman SNI 6371: 2015 Tentang "Tata Cara Pengklasifikasian Tanah Untuk Keperluan Teknik Dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah" sebagai pedoman pengklasifikasian tanah penyusun daerah penelitian, dari hasil analisis dibagi ke dalam 6 satuan litologi penyusun [12].

Parameter statistik yang dibutuhkan dalam analisis probabilistik diantaranya yaitu nilai mean, nilai standard deviasi, nilai maksimum dan nilai minimum. Berikut adalah hasil pengolahan statistik untuk masing-masing parameter masukan.

Tabel-2. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Material Penyusun Lereng.

Variabel Litologi	Pasir Lanauan	Pasir Bergradasi Jelek	Pasir Bergradasi Baik	Pasir Bergradasi Buruk dengan Kerikil dan Lempung	Pasir Bergradasi Baik dengan Kerikil dan Lempung	Pasir Bergradasi Baik dengan Lempung
Berat Isi (gr/cm ³)	1,80	1,77	1,81	1,88	1,79	1,80
Kohesi(kPa)	3,48	3,43	5,62	5,93	3,25	3,49
Sudut Geser Dalam (°)	42,61	41,71	40,78	38,83	37,82	36,78
Liquid Limit (%)	28,08	0	0	32,77	37,80	34,65
Plastic Limit (%)	22,06	0	0	22,06	23,82	22,91
Plasticity Index (%)	6,02	0	0	10,71	10,71	11,75
Koefisien Kelengkungan	25	40,98	26,66	220	181,81	23,17
Koefisien Keseragaman	1,84	3,03	2,20	181,81	1,23	2,46

Tabel-3. Hasil Pengujian Statistika Deskriptif Material Penyusun Lereng.

Parameter Statistik	Variabel	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (°)
	Rata-rata	17,76	4,20	39,75
	StDev	0,37	1,22	2,30
	Minimum	17,43	3,25	36,78
	Maksimum	18,49	5,93	42,61

Tabel-4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal.

Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	FK Deterministik	PK (%)	FK Rata-Rata
3	35	2,40	0	2,41
	40	2,12	0	2,13
	45	1,95	0	1,96
	50	1,79	0	1,79
	55	1,62	0,12	1,57
	60	1,47	0,51	1,47
	65	1,37	1	1,38
4	35	2,15	0	2,16
	40	1,92	0	1,92
	45	1,73	0	1,74
	50	1,56	0,31	1,56
	55	1,42	0,50	1,43
	60	1,30	2,10	1,31
5	35	2,00	0	2,01
	40	1,78	0	1,79
	45	1,59	0	1,60
	50	1,45	0,30	1,46
	55	1,32	1,93	1,29
	60	1,19	12,40	1,15
	65	1,12	17,50	1,13
6	35	1,90	0	1,91
	40	1,68	0	1,68
	45	1,49	0,20	1,50
	50	1,34	0,60	1,35
	55	1,24	3,49	1,24
	60	1,10	20,37	1,10
	65	1,02	69,59	0,94

Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

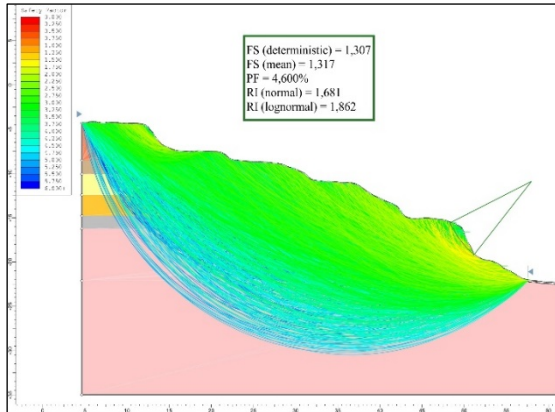
Analisis kestabilan lereng pada geometri lereng tunggal menggunakan analisis deterministik, parameter yang digunakan kekuatan tanah rata-rata, dan untuk analisis probabilistik digunakan parameter statistika deskriptif hasil uji. Analisis dilakukan pada kondisi statis yaitu pada kondisi tanpa dengan pembebanan. Berikut merupakan tabel hasil analisis kestabilan lereng tunggal dengan variasi ketinggian *bench* dari 3-6 m dengan interval 1 m, dan variasi sudut lereng dari 35°-65° dengan interval 5° menggunakan pendekatan Kesetimbangan Batas teori Morgenstern – Price dan Probabilistik Monte Carlo.

Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

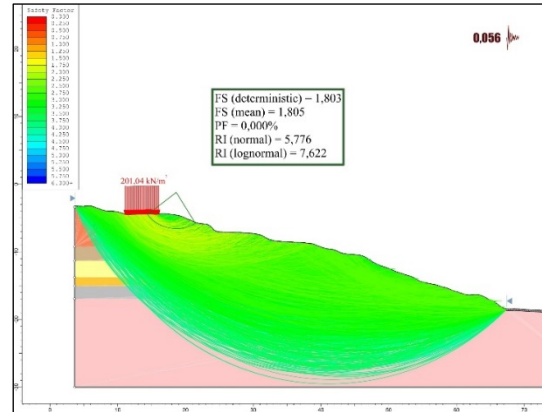
Analisis kestabilan lereng keseluruhan dilakukan pada dua kondisi, yaitu statis dan dinamis serta dilakukan pada kondisi kering. Penampang Lereng A-A' memiliki tinggi lereng 22 m, sudut lereng 21° dan lebar lereng 52,9 m. Tinggi *bench* mulai dari 3-4,5 m dengan sudut *bench* 30°-45° dan lebar *bench* 5-6 m.

Penampang Lereng B-B' memiliki tinggi lereng 26 m, sudut lereng 14° dan lebar lereng 63,7 m. Tinggi *bench* mulai dari 2-3 m dengan sudut *bench* 20°-40° dan lebar *bench* 6-7 m.

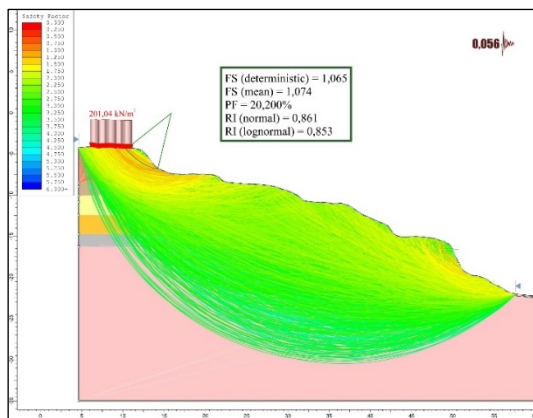
Penampang Lereng C-C' memiliki tinggi 20 m, sudut 12° dan lebar 29 m. Tinggi *bench* mulai dari 2-3,5 m dengan sudut *bench* 25°-55° dan lebar *bench* 5-6 m.



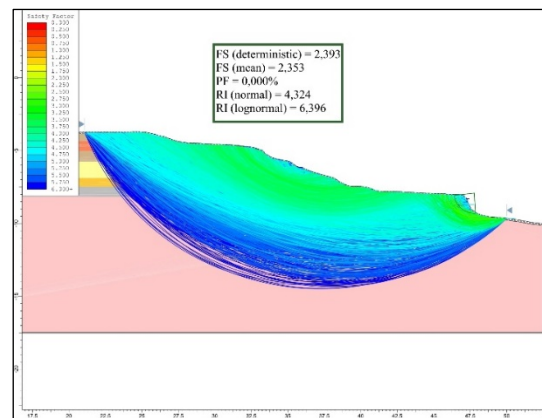
Gambar-5. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Penampang A-A' Kondisi Statis.



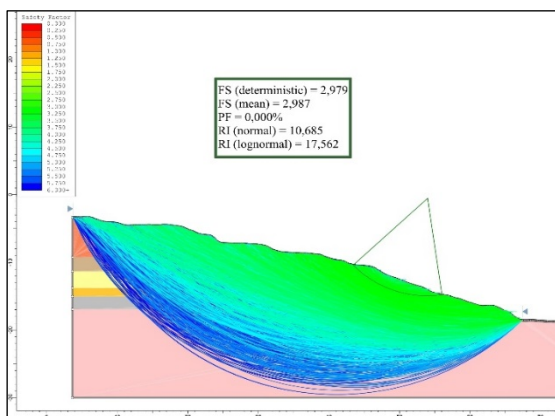
Gambar-8. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Penampang B-B' Kondisi Dinamis.



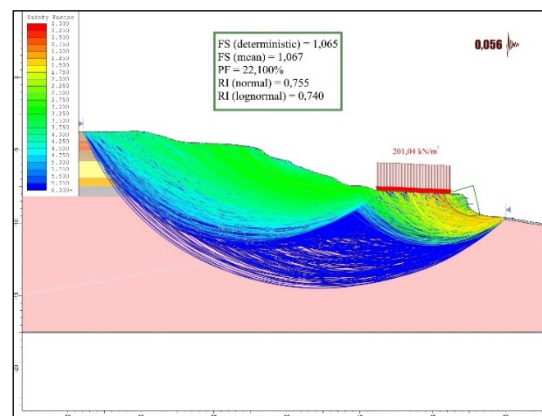
Gambar-6. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Penampang A-A' Kondisi Dinamis.



Gambar-9. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Penampang C-C' Kondisi Statis.



Gambar-7. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Penampang B-B' Kondisi Statis.



Gambar-10. Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Penampang C-C' Kondisi Dinamis.

Hasil Optimasi Pada Lereng Tambang

Geometri lereng hasil optimasi memiliki Tinggi lereng keseluruhan 20,5 m, sudut *bench* menjadi 19° dengan lebar bench 52,9 m.

Setelah dilakukan optimasi dengan mengubah geometri lereng berupa tinggi dan sudut lereng didapatkan FK Deterministik 1,23, PK 0,40% dan FK rata-rata 1,23 pada kondisi dinamis.

Geometri lereng hasil optimasi memiliki tinggi lereng keseluruhan 18 m, sudut *bench* menjadi 11° dengan lebar bench 28,9 m.

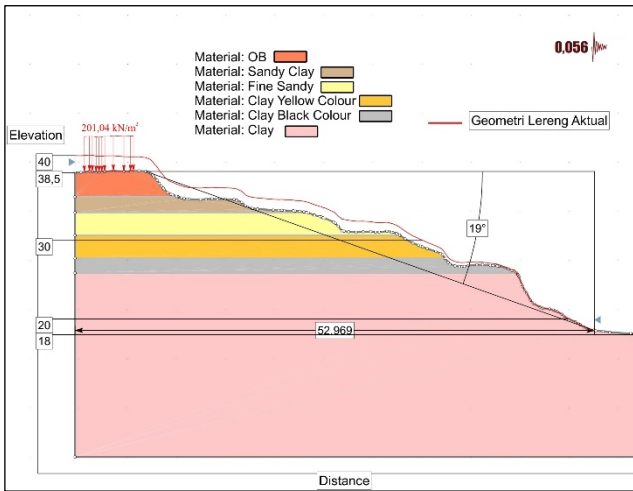
Setelah dilakukan optimasi dengan mengubah geometri lereng berupa tinggi dan sudut lereng didapatkan FK Deterministik 1,26, PK 0,50% dan FK rata-rata 1,27 pada kondisi dinamis.

Zonasi Lereng

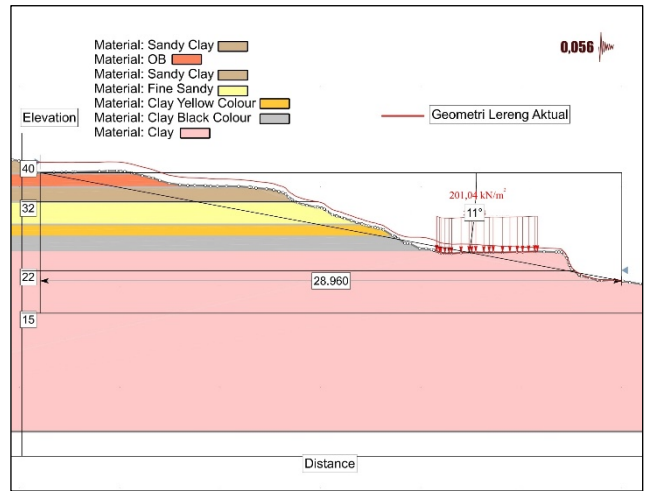
Dilakukan zonasi pada lereng tambang berdasarkan beberapa aspek, yaitu:

1. Nilai faktor keamanan lereng, dari hasil simulasi kestabilan lereng keseluruhan terdapat lereng cenderung stabil, lereng kritis dan lereng labil.
2. Kondisi *bench face*, pada 3 penampang lereng terdapat 3 *bench face* yang mengarah ke utara, selatan, dan timur.
3. Derajat kemiringan lereng, pada masing-masing penampang memiliki kemiringan lereng keseluruhan yaitu 12°-21° yang mengarah ke *front*.

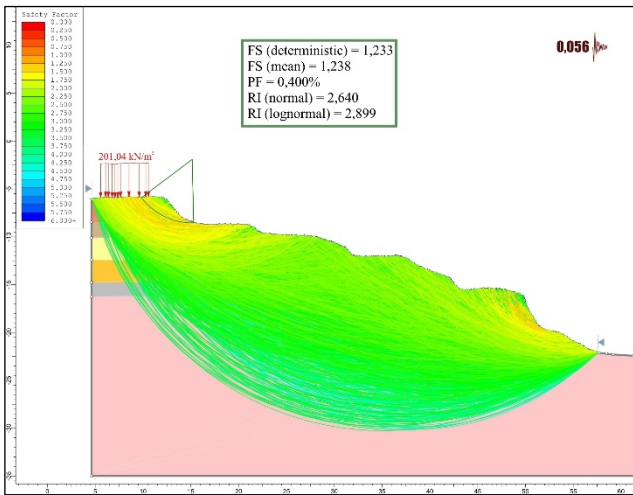
Kondisi kontur, dan *front* penambangan, ketinggian kontur pada lereng tertinggi yaitu pada elevasi 44 mdpl dan terendah pada elevasi 15 mdpl yang mengarah ke *front*.



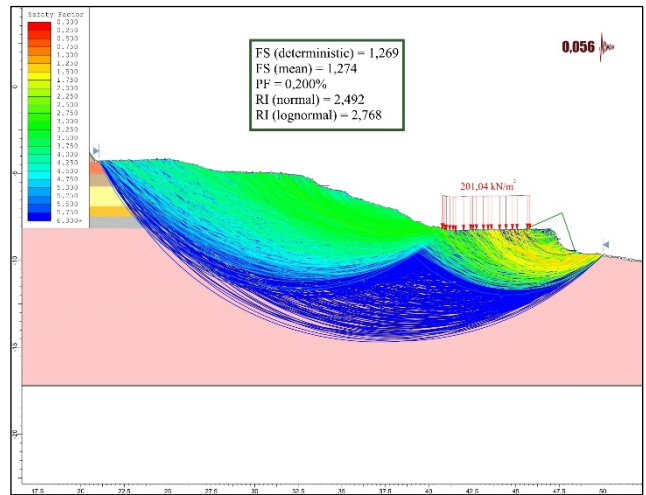
Gambar-11. Geometri Lereng Optimasi Penampang A-A'.



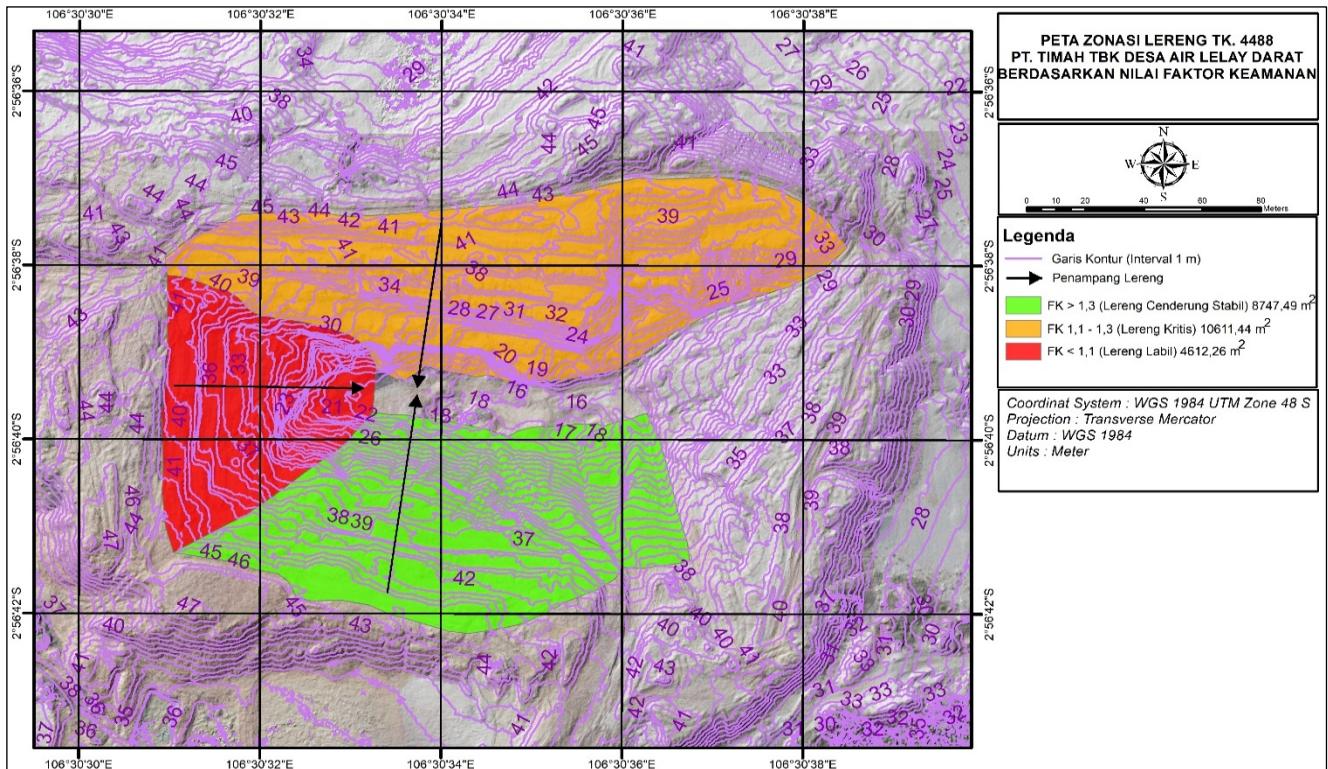
Gambar-13. Geometri Lereng Optimasi Penampang C-C'.



Gambar-12. Hasil Optimasi Kestabilan Lereng Penampang A-A' Kondisi Dinamis.



Gambar-14. Hasil Optimasi Kestabilan Lereng Penampang C-C' Kondisi Dinamis.



Gambar-15. Peta Zonasi Lereng.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini antara lainnya,

1. Kondisi sifat fisik dan mekanik material dibagi kedalam 6 satuan, yaitu: Pasir Lanauan (SM), Pasir Bergradasi Jelek (SP), Pasir Bergradasi Baik (SW), Pasir Bergradasi Buruk dengan Kerikil dan Lempung (SP-SC), Pasir Bergradasi Baik dengan Kerikil dan Lempung (SW-SC), Pasir Bergradasi Baik dengan Lempung (SW-SC).
2. Pada lereng tunggal dilakukan analisis kestabilan lereng dengan asumsi variasi tinggi *bench* dari 3-6 m dan variasi sudut lereng dari 35°-65°. Pada analisis kestabilan lereng keseluruhan kondisi statis maupun dinamis pada penampang A-A' didapati FK deterministik 1,065, PK 20,200% dan FK rata-rata 1,074 kondisi dinamis. Penampang C-C' didapati FK deterministik 1,065, PK 22,100% dan FK rata-rata 1,067 kondisi dinamis.
3. Dilakukan optimasi pada penampang A-A' dan penampang C-C' kondisi dinamis, didapati FK deterministik 1,233, PK 0,400% dan FK rata-rata 1,238 pada penampang A-A'. Sedangkan pada penampang C-C' didapati FK deterministik 1,269, PK 0,200% dan FK rata-rata 1,274.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang terkait dengan penelitian, yaitu:

1. Perlu merubah geometri lereng aktual dengan mempertimbangkan rekomendasi lereng yang diberikan pada penelitian ini terhadap perencanaan mengenai desain lereng, perlu dilakukan pemantauan pada kondisi lereng terkait pergerakan tanah harian untuk meminimalisir resiko bencana kegagalan lereng.

2. Perlu dilakukan pengecekan terhadap kesesuaian geometri lereng di peta dan dilapangan untuk memperoleh nilai faktor keamanan dan probabilitas keamanan yang lebih tepat dan akurat, terutama di musim hujan.
3. Perlu dilakukan pemantauan berdasarkan peta zonasi lereng terkait pergerakan tanah harian untuk meminimalisir resiko bencana kegagalan lereng.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih PT Timah Tbk khususnya UPDB telah membantu dalam penelitian ini, sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua saya yang sudah memberikan yang terbaik kepada anak-anaknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. Timah Tbk., *Laporan Tahun 2022 Annual Report*, PT. Timah Tbk, 2022.
- [2] Arif, I., *Geoteknik Tambang*, Jakarta, Gramedia Pustaka Utama, 2016.
- [3] Amrullah, M. f., Zakaria, Z., Sophian, R. I., dan Tunggal, J., Optimisasi Kestabilan Lereng Tunggal Lapisan Overburden Rencana Tambang Mahayung Dengan Pendekatan Probabilistik. *Geoscience Journal*, 3(6), 2019, pp 480– 488.
- [4] Halawa, A., Analisis Kestabilan Lereng Mine Highwall dengan Metode Bishop dan Software Rockscience Slide Pada Area Penambangan Batubara Di Pit 2a Barat PT. Fontana Resources Indonesia)

- Kab. Barito Utara Kalimantan Tengah. *Jurnal Sains Dan Teknologi ISTP*, 11(1), 2019, pp 35–49.
- [5] Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L., *Soil strength and slope stability*, Amerika. John Wiley & Sons, 2014
- [6] Romana, M., *A geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*, Comprehensive Rock Engineering, Editor: Hudson, J.A. Pergamon, 1993.
- [7] Azizi, M., *Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan)*, Prosiding AVoER ke-3. Oktober 2011 ISBN : 979-587-395-4, 2011.
- [8] Steffen, O. K. H., Contreras, L. F., Terbrugge, P. J., Venter, J., *A risk evaluation approach for pit slope design*. ARMA 08-231, 2008.
- [9] Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, *Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Kementerian ESDM, 2018.
- [10] Hammah, R. E., Yacob, T. E., Curran, J., *The Influence of correlation and distribution truncation on slope stability analysis results*, 2003
- [11] Margono, U., Supandjono, R.J.B. dan Partoyo, E., *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan, Sumatra. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung*, 1995
- [12] SNI 6371, *Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah*, Jakarta: Badan Standar Nasional, 2015.