



|Research Article

Desain Lereng Tambang Optimal Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas di Kecamatan Sebulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Roni Marudut Situmorang¹, Hendra Santoso²✉¹PT Primacon Explorindo, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Samarinda

ARTICLE INFO

Article history:

Received: August 8, 2023

Accepted: November 21, 2023

Published: Desember 7, 2023

Keywords:kemantapan lereng
geoteknik
faktor keamanan
metode bishop
probabilitas kelongsoran**Corresponding author:**

Hendra Santoso

Email: hendrasantoso@umkt.ac.id**Read online:**Scan this QR code
with your smart
phone or mobile
device to read online.

Copyright © 2023 Authors

This work is
licensed under
a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0 International
License.

ABSTRAK

Penentuan faktor keamanan kelongsoran lereng pada wilayah pertambangan di Desa Mekar Jaya perlu dilakukan untuk menjamin kestabilan lereng yang tersusun atas batuan sangat lemah dan batuan lemah. Batuan penyusun lereng bervariasi dari batuserpih gelap, batupasir lanauan, batulempung gelap, dan batugamping kalkarenit. Faktor keamanan ditentukan pada lereng majemuk menggunakan analisis deterministik dan probabilistik. Pada desain lereng digunakan batas nilai faktor keamanan (FK) statis, dinamis, dan probabilitas kelongsoran (PK) yang mengacu pada Kepmen ESDM No.1827 tahun 2018. Perhitungan dilakukan pada dua lereng yang diperuntukkan sebagai lereng *highwall* dan lereng jalan tambang. Batuan di daerah penyelidikan berdasarkan pengujian kuat tekan batuan utuh (UCS) berada pada kisaran 0,53 -12,46 Mpa pada kategori R0 (*extremely weak rock*) hingga R2 (*weak rock*). Hasil rekomendasi penentuan geometri lereng keseluruhan dari desain rencana tambang yaitu: (1) GT01 dikategorikan stabil dengan litologi batupasir lanauan, batulempung, dan batuserpih dengan tinggi desain 50.94-53.18 meter memiliki nilai FK statis 2.23-1.65, FK dinamis 1.34 - 1.77, dan PK 0%, dan (2) Titik GT02 dikategorikan stabil dengan litologi batuserpih, kalkarenit, dan batulempung dengan tinggi desain 50.9 meter dimana nilai FK statis 1.46-1.49, FK dinamis 1.29-1.48, dan PK 0.8-3.7. Analisis deterministik dan analisis probabilistik pada perencanaan desain tambang dapat dilakukan bersamaan untuk menjadi komparasi dalam pemberian rekomendasi desain tambang batubara agar hasil pengukuran semakin akurat dan aman untuk keselamatan penambangan.

ABSTRACT

Determining safety factors for slope failures in mining areas in Mekar Jaya Village must be done to ensure the stability of slopes composed of very weak rocks. The rocks that make up the slopes vary from dark shale, silty sandstone, dark mudstone, and calcarenite. The factor of safety is determined on compound slopes using deterministic and probabilistic analysis. In slope design, static, dynamic safety factor (FK) and landslide probability (PK) limit values refer to ESDM Ministerial Decree No. 1827 of 2018. Two slopes—the mine road slope and the highwall slope—are used for the computations. According to intact rock compressive strength (UCS) testing, the rocks in the study area fall into one of two categories: R0 (extremely weak rock) to R2 (weak rock), with values ranging from 0.53 to 12.46 MPa. The following are the recommendations based on the mine plan design for determining the overall slope geometry: (1) GT01 is classified as stable with a lithology of siltstone, claystone, and shale with a design height of 50.94–53.18 meters, a static FK value of 2.23–1.65, a dynamic FK of 1.34–1.77, and a PK of 0%; and (2) Point GT02 is classified as stable with a lithology of shale, calcarenite, and mudstone with a design height of 50.9 meters, a static FK value of 1.46–1.49, a dynamic FK of 1.29–1.48, and PK of 0.8–3.7, respectively. Deterministic and probabilistic analysis in mine design planning can be carried out simultaneously to provide comparisons in coal mine design recommendations so that measurement results are more accurate for mining safety.

How to cite: Situmorang, R. M. dan Santoso, H. (2023). Desain lereng tambang optimal menggunakan metode kesetimbangan batas di Kecamatan Sebulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 5(2), p62-69. <https://doi.org/10.56099/ophi.v5i2.p62-69>

1 Pendahuluan

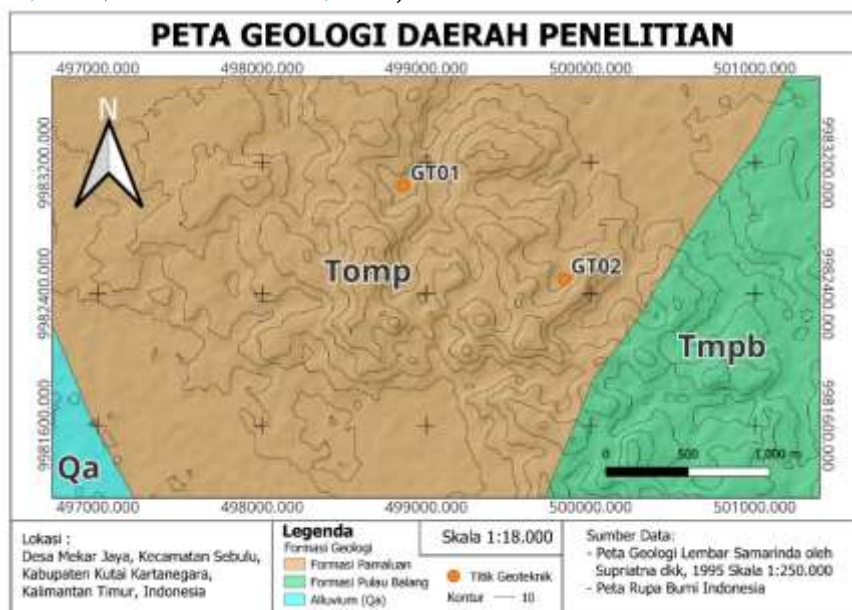
Kelongsoran lereng umumnya bergerak pada suatu bidang tertentu yang disebut bidang gelincir (*slip surface*) (Price dan Morgenstern, 1968). Berdasarkan konsep kesetimbangan batas (*limit equilibrium*), kemantapan lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada bidang gelincir tersebut (Komadja dkk., 2021). Gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan kelongSORAN, sedangkan gaya penahan adalah gaya yang melawan kelongSORAN. Perbandingan antara total gaya penahan dengan total gaya penggerak disebut faktor keamanan (FK). Probabilitas kelongSORAN adalah ukuran seberapa mungkin terjadinya kelongSORAN di lokasi tambang. Faktor-faktor seperti geologi, tipe batuan, dan metode penambangan dapat memengaruhi probabilitas kelongSORAN (Amrullah dkk., 2019). Pendekatan deterministik dan probabilistik digunakan dalam perencanaan desain tambang untuk meminimalisir risiko kelongSORAN (Bathurst dan Naftchali, 2023, Ghadrddan dkk., 2020).

Faktor keamanan kelongSORAN di Formasi Pamaluan, daerah Sebulu perlu dilakukan untuk menjamin kemantapan lereng pada daerah dengan litologi batuan lemah (Zulfahmi dkk., 2023, Martin dan Stacey, 2018). Kemantapan lereng dapat dianalisis sesuai dengan jenis kelongSORAN yang direpresentasikan dalam bentuk bidang gelincir (Hoek dan Bray, 1981). Material pembentuk lereng pada lokasi penambangan terdiri dari variasi litologi. Pada lokasi tiap titik bor, litologi yang dominan diasumsikan sebagai penyusun tubuh batuan utama, dan diambil sebagai sampel analisis properti keteknikan pada laboratorium mekanika tanah dan batuan (Kormu dkk., 2022, Wroth dan Wood, 1978).

Hasil analisis laboratorium selanjutnya digunakan sebagai parameter masukan untuk menganalisis kemantapan lereng (Duncan dkk., 2014). Parameter-parameter geoteknik yang diperlukan adalah sifat fisik dan mekanik batuan yang menyusun material penutup *overburden*, *interburden*, maupun batuan dasar, yang hasilnya diperlukan untuk menentukan tinggi dan sudut lereng yang mantap untuk penambangan maupun penimbunan (Azizi dkk., 2013, Gurocak dkk., 2008). Parameter sifat fisik meliputi: berat isi tanah (jenuh, kering dan natural), porositas, ukuran butir, batas-batas *atterberg* (meliputi batas plastis, batas cair, dan indeks plastisitas) sedangkan parameter sifat mekanik yang dianalisis adalah kuat tekan, kohesi, dan sudut geser dalam (Li dkk., 2011). Kegunaan parameter yang diperoleh dari pengujian, khususnya dalam rancangan tambang terbuka (Martin dan Stacey, 2018) untuk analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilitas kelongSORAN (Griffiths dan Fenton, 2007, Abramson dkk., 2001).

2 Kondisi Geologi dan Geologi Teknik Daerah Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Samarinda Kalimantan (Supriatna dkk., 1995) lima titik lokasi penelitian berada pada Formasi Pamaluan (Tomp) (Gambar 1). Hasil pengeboran geoteknik yang telah dilakukan, menunjukkan daerah penelitian tersusun atas batulempung, batulanau, batupasir dengan ukuran pasir sangat halus hingga sedang, Sebagian kecil batugamping dan batubara dengan struktur sedimen dominan laminasi. Pemilihan lima titik tersebut pada Formasi Pamaluan dimaksud agar dapat menganalisis stabilitas lereng pada formasi yang sama.



Gambar 1 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Supriatna dkk., 1995)

Berdasarkan aspek geologi teknik, daerah penelitian terbagi atas tanah, serpih (*shale*), batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, batugamping kalkarenit, dan batubara. Lingkungan batubara di Formasi Pamaluan disebutkan pernah mengalami perubahan muka air laut berupa susut laut (Winantris dkk., 2006). Pembagian tersebut berdasarkan pada karakteristik kekerasan batuan, dimana kekuatan batuan di daerah penelitian beragam mulai dari S1 (*very soft clay*) hingga R2 (*weak rock*) berdasarkan Klasifikasi ISRM (1979b). Batuan di daerah penelitian didominasi kekerasan batuan sangat lemah dan batuan lemah. Batuan sangat lemah memiliki kekerasan antara 0-5 Mpa, sedangkan batuan lemah berkisar 5-25 MPa (ISRM, 1979b).

3 Metode

Tahapan penyelidikan geoteknik terdiri dari pekerjaan lapangan dan laboratorium. Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pemetaan geologi teknik diikuti pengeboran geoteknik. Pekerjaan pengeboran dilakukan untuk mendapatkan dan mengambil sampel tidak terganggu untuk pengujian laboratorium mekanika tanah dan batuan. Pengujian yang dilakukan terhadap sampel tanah dan batuan ini terdiri atas: Uji sifat fisik untuk mendapatkan parameter-parameter dry density (γ_{dry}), saturated density (γ_{sat}), porositas (n), dan derajat kejenuhan (S) mengacu pada standar uji ISRM (1979a).

Uji kuat tekan uniaksial, untuk mendapatkan parameter kuat tekan uniaksial (σ_c), modulus elastisitas (E), dan Poisson's ratio (μ) mengacu pada standar uji ISRM (Bieniawski dan Bernede, 1979). Uji kuat geser langsung untuk mendapatkan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) mengacu pada standar uji ISRM (Muralha dkk., 2014). Sedangkan uji triaksial pada kondisi (Unconsolidated Undrained),

untuk mendapatkan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) mengacu pada standar uji ASTM (1995).

Penelitian ini menentukan geometri lereng yang stabil dalam bentuk rekomendasi tinggi dan sudut kemiringan lereng. Analisis ini dilakukan pada lima lokasi yang berbeda di Desa Mekar Jaya, Kecamatan Sebulu, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur pada periode September – Desember 2022. Adapun lima lokasi tersebut telah dilakukan kegiatan pengeboran geoteknik serta pengambilan sampel untuk pengujian kuat tekan batuan utuh (UCS) dan *point load test* yang digunakan pada penentuan metode penggalian. Klasifikasi kekuatan batuan mengacu pada standar ISRM (1979b) berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi kuat massa batuan mengacu pada nilai kuat tekan batuan (ISRM, 1979b)

Kuat Tekan Uniaksial (MPa)	Kondisi Massa Batuan
> 250	Sangat kuat Sekali
100 – 250	Sangat Kuat
50 – 100	Kuat
25 – 50	Sedang
5 – 25	Lemah
0 – 5	Sangat lemah

Hasil pengujian pada laboratorium mekanika tanah dan batuan tersebut digunakan untuk analisis kestabilan lereng dengan menggunakan konsep kesetimbangan batas. Penelitian ini menggunakan standar ambang batas nilai faktor keamanan (FK) pada metode deterministik (FK statis), metode probabilistik (FK dinamis) serta probabilitas kelongsoran, berdasar Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018, dimana untuk lereng keseluruhan dengan keparahan longsor tinggi, batas nilai FK statis 1.3, nilai FK dinamis minimal 1.1, dan stabilitas PK maksimal 5% (Tabel 2).

Tabel 2 Standar faktor keamanan statis, dinamis, dan probabilitas longsor oleh Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/CoF)	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) PoF (FK \leq 1) (Max.)
Lereng tunggal <i>Inter-ramp</i>	Rendah s.d. tinggi	1.1	Tidak ada	25-50%
	Rendah	1.15-1.2	1.0	25%
	Menengah	1.2-1.3	1.0	20%
Lereng keseluruhan	Tinggi	1.2-1.3	1.1	10%
	Rendah	1.2-1.3	1.0	10%
	Menengah	1.3	1.05	10%
	Tinggi	1.3-1.5	1.1	5%

Metode deterministik yang dilakukan khususnya metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*), dengan menggunakan metode Bishop.

Metode Bishop dipilih karena dua pertimbangan yaitu: (1) lapisan penutup terdiri dari beberapa material yang berbeda-beda sifatnya, (2)

menghasilkan angka faktor keamanan yang lebih teliti karena memperhitungkan harga kuat geser dari tiap lapisan tanah yang ada. Untuk mempermudah analisis, penelitian ini menggunakan perangkat lunak *rockscience Slide V.6.0*. Perhitungan dilakukan untuk mengkaji lereng tunggal, lereng penggalian keseluruhan, dan lereng timbunan. Metode ini mempertimbangkan kesetimbangan gaya secara vertikal dan horizontal, serta momen. Tipe keruntuhan yang digunakan adalah Kriteria Mohr Coulomb untuk batuan lemah dan tanah (Rafiei Renani dan Martin, 2020, Hoek, 1990).

4 Hasil dan Pembahasan

Analisis kestabilan lereng majemuk dilakukan pada 2 titik bor, GT01 dan GT02 dengan karakteristik stratigrafi dan pada topografi yang seragam (Gambar 1). Setelah pengambilan sampel dan pengujian laboratorium, didapatkan nilai kohesi, sudut geser dalam dan bobot isi. Pengujian parameter ini dilakukan pada tiap titik dengan analisis deterministik dan probabilistik.

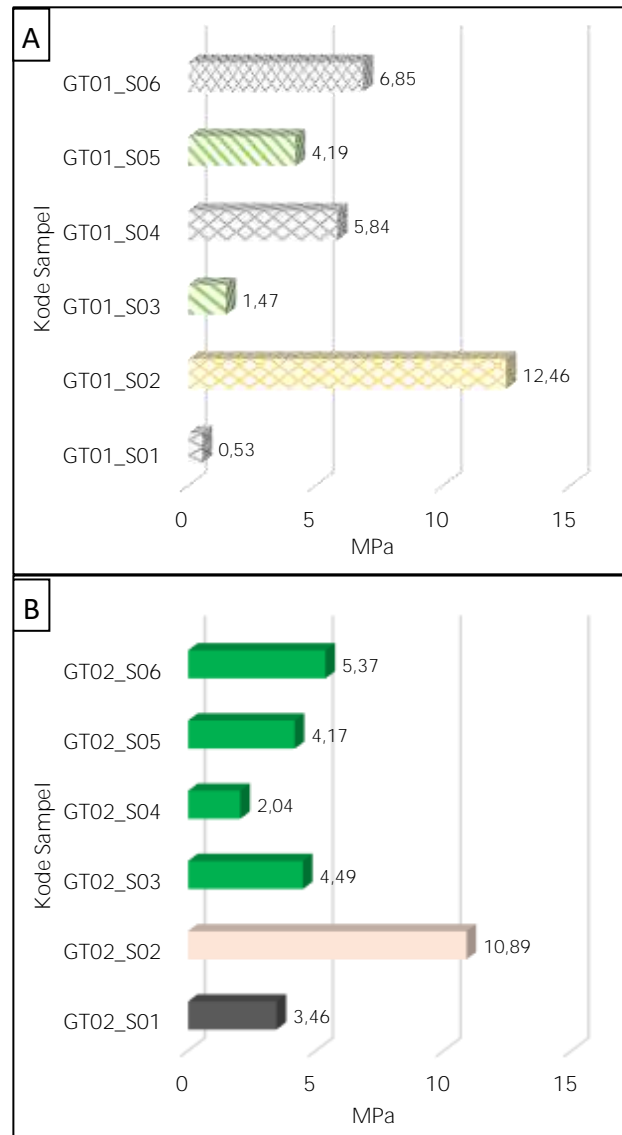
4.1 Nilai Kuat Tekan Batuan Utuh

Batuan overburden dan interburden di daerah penelitian secara berurutan didominasi oleh batulempung, batupasir dan batulanau, dengan beberapa lapisan serpih batubara. Struktur batuan dari lapisan atas hingga ke bawah memiliki pola laminasi, perlapisan, hingga masif. Kemiringan batuan berdasarkan pengamatan visual dari struktur geologi yang terlihat pada bor inti (sambungan, bidang kontak atau bidang perlapisan) berkisar antara 10° hingga 25°. Batuan di daerah penyelidikan berdasarkan pengujian kuat tekan batuan utuh berada pada kisaran 0,53 - 12,46 Mpa. Batuan terkeras adalah batupasir lanauan (12,46 MPa) dan terluak adalah batulempung berwarna gelap pada kedalaman 4 meter pada titik bor GT01 (0,53 MPa) (Gambar 2A). Batuan pada daerah penelitian termasuk pada kategori R0 (*extremely weak rock*) hingga R2 (*weak rock*). Berdasarkan grafik kedalaman dan nilai kuat tekan batuan utuh (Gambar 2B), dapat diketahui bahwa faktor kedalaman di daerah penelitian tidak terlalu berhubungan dengan tingkat kekerasan batuan.

4.2 Analisis Deterministik

Kedalaman muka airtanah yang diperhitungkan pada GT01 adalah 2 meter dengan asumsi terjadi penurunan muka airtanah selama pembukaan lubang tambang. Potensi bidang longsor yang terjadi adalah longsor busur. Titik GT01 memiliki lapisan batuan dengan kekuatan massa batuan keras hingga sangat keras. Faktor pengontrol yang dapat menyebabkan longsor nonbusur adalah adanya bidang-bidang diskontinuitas. Bidang-bidang

diskontinuitas dari hasil pengeboran tidak dapat diketahui secara persis mengingat akurasi dari pembacaan hasil pengeboran yang tidak akurat. Ini disebabkan oleh proses mekanis selama pengeboran dan pengambilan sampel inti bor yang dapat menyebabkan sampel menjadi patah bahkan hancur. Bidang diskontinuitas yang diperhitungkan dalam analisis kestabilan lereng adalah hanya bidang perlapisan antar batuan saja.










Gambar 2 Hasil pengujian kuat tekan batu utuh di Titik GT01 (A) dan titik GT02 (B). Pada GT01, Garis silang abu-abu adalah batuserpih gelap, garis silang jingga adalah batupasir lanauan, dan garis diagonal hijau adalah batulempung gelap. Pada GT02, abu-abu gelap adalah batuserpih gelap, warna liat adalah kalkarenit, dan warna hijau adalah batulempung gelap. Pengujian dilakukan pada November 2022

Pada GT02, asumsi dan parameter kuat geser tanah dan batuan yang digunakan adalah parameter residual pada kondisi batuan lapuk. Kedalaman muka air tanah maksimal di atas lereng dan seluruhnya






teraliri dengan pembebanan yang diijinkan pada lereng maksimal sebesar 500 kPa. Parameter untuk analisis deterministik pada titik GT01 dan GT02

menggunakan data masukan berupa litologi batuan, bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam yang disajikan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

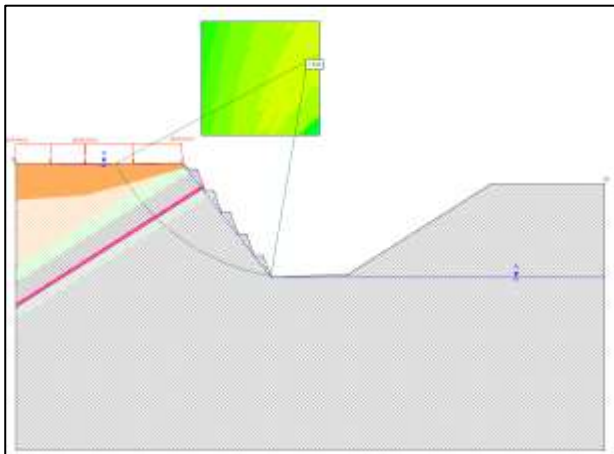
Tabel 3 Hasil uji parameter analisis deterministik titik bor GT01

Tipe Material	Simbol	Bobot isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut geser (°)
Tanah		22,19	291,1	32,5
Batupasir lanauan		22,38	226,1	46,1
Batulempung gelap		21,62	44	35,8
Batuserpih gelap		23,06	396,4	37,6
Batulempung gelap_2		22,46	352,5	38,2
Batuserpih gelap_2		22,28	449	39,9
Material hilang		23,06	44,03	32,46

Tabel 4 Hasil uji parameter analisis deterministik titik bor GT02

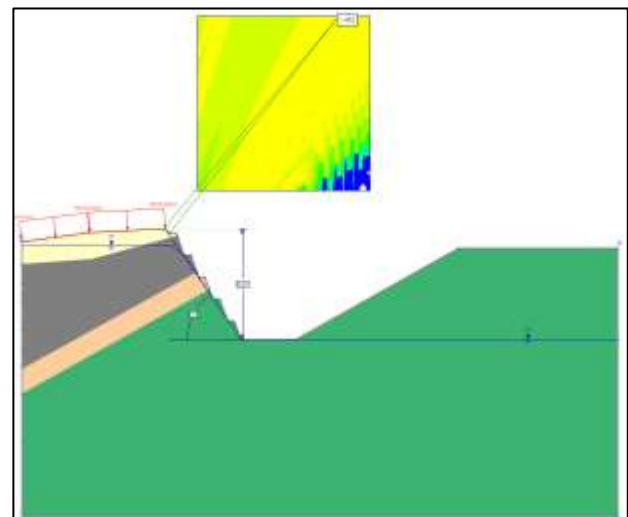
Tipe Material	Simbol	Bobot isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut geser (°)
Tanah		13,73	55,3	18,35
Batuserpih gelap		21,3	377,56	39,8
Kalkarenit		22,52	724,71	39,93
Batulempung gelap		22,6	111,47	35,36
Batulempung gelap_2		23,02	223,59	48,78

Hasil analisis deterministik pada GT01 menggunakan parameter kohesi dan sudut geser dalam residual dengan parameter pada tabel di bawah ini. Hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 3** dengan ketinggian berkisar 50°-53° meter faktor keamanan lereng pada kondisi stabil dengan nilai FK 1,65 - 2,23 (**Tabel 5**).



Gambar 3 Perhitungan faktor keamanan pada lereng highwall di titik bor GT01

Begitu halnya pada analisis deterministik titik GT02 (**Gambar 4**) menunjukkan bahwa lereng dengan ketinggian 50,9 meter dengan variasi sudut lereng keseluruhan 41°-55° termasuk aman, dimana FK berkisar antara 1,46-1,49 (**Tabel 5**).



Gambar 4 Perhitungan faktor keamanan pada lereng highwall di titik bor GT02

Tabel 5 Geometri lereng optimal berdasarkan variasi tinggi dan kemiringan lereng yang menghaikkan FK statis 1,15 – 2,23

Kode	Tinggil (m)	Slope (°)	Overall slope (°)	FK Statis
GT01	50,94	50	41	2,23
	52,4	60	46	2,05
	52,94	70	52	1,84
GT02	53,18	80	59	1,65
	50,9	50	41	1,49
	50,9	60	48	1,47
	50,9	70	55	1,46
	50,9	80	63	1,15

4.3 Analisis Probabilistik

Berdasarkan karakteristik properties material dan klasifikasi kekerasan batuan, seluruh sampel di daerah penelitian didominasi oleh batuan sedang (R1-R2) berdasarkan klasifikasi (ISRM, 1979a). Untuk

menentukan nilai karakteristik agar dapat dilakukan analisis probabilistik dari suatu populasi material sehingga dapat dilakukan pendekatan statistik. Berdasarkan analisis statistik didapatkan nilai-nilai parameter pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Tipe dan fungsi distribusi parameter masukan pada analisis probabilistik GT01 dan GT02






No	Nama Material	Parameter	Distribusi	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Maks.
GT01							
1	Tanah	Kohesi	Normal	309,81	42	19,5	19,5
2	Tanah	Phi	Normal	38,34	5	3	3
3	Tanah	Berat Jenis	Normal	22,19	3	3	3
4	Keseluruhan	Kohesi	Normal	554,63	1	3	3
5	Keseluruhan	Phi	Normal	43,11	1	3	3
6	Keseluruhan	Berat Jenis	Normal	22,52	1	3	3
GT02							
1	Tanah	Kohesi	Normal	13,73	1,87	5,61	5,61
2	Tanah	Phi	Normal	23,74	3,22	9,66	9,66
3	Tanah	Berat Jenis	Normal	66,75	9,1	27,3	27,3
4	Keseluruhan	Kohesi	Normal	22,67	3,08	9,24	9,24
5	Keseluruhan	Phi	Normal	43,27	5,9	17,7	17,7
6	Keseluruhan	Berat Jenis	Normal	408,64	55,57	166,71	166,71

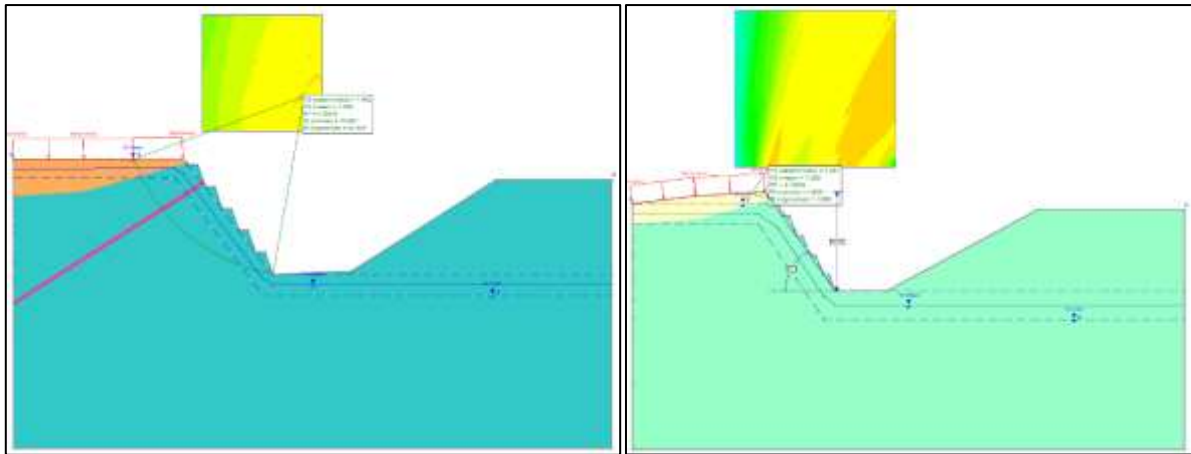
Analisis probabilistik pada titik GT01 dengan asumsi distribusi normal dengan parameter kuat geser pada Tabel 8 dengan asumsi desain tambang yang sama, didapatkan nilai FK dinamis lereng berkisar 1,34 – 1,77 (**Gambar 5**), yang artinya seluruh geometri lereng yang diajukan adalah stabil. Nilai PK pada titik GT01 yaitu 0%.

Hasil analisis probabilistik pada lereng GT02 dengan parameter kuat geser yang digunakan sebagaimana yang tercantum pada **Tabel 7**. Nilai parameter kuat geser yang digunakan adalah kuat geser residual. Hasil analisis menunjukkan lereng stabil pada ketinggian 50,9 meter dan sudut lereng

keseluruhan berkisar 41-55° dimana FK dinamis lereng berkisar 1,29-1,48, sedangkan nilai PK berkisar 0,8-3,7%. Lereng titik GT03 tidak aman apabila dapat disimpulkan sudut lereng keseluruhan yang aman sebesar 55° dan tinggi 50.9 meter, dimana nilai FK dinamis batas maksimal 1.29 dan PK batas maksimal 3.7% (**Gambar 5**) menggunakan sudut lereng keseluruhan sebesar 63° pada ketinggian 50.9 meter. berdasar analisis probabilistik dapat disimpulkan sudut lereng keseluruhan yang aman sebesar 55° dan tinggi 50.9 meter, dimana nilai FK dinamis batas maksimal 1.29 dan PK batas maksimal 3.7% (**Tabel 8**).

Tabel 7 Nilai parameter masukan yang digunakan pada analisis probabilistik titik GT01 dan GT02

Titik GT01					
Tipe Material	Simbol	Bobot isi (kN/m ³)	Bobot isi Jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut geser (°)
Tanah		22,19	22,29	291,1	32,5
Material hilang		23,06	-	44,03	32,46
Keseluruhan		22,52	22,62	293,19	38,35
Titik GT02					
Tipe Material	Simbol	Bobot isi (kN/m ³)	Bobot isi Jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut geser (°)
Tanah		13,73	-	55,3	18,35
Keseluruhan		22,67	-	256,54	39



Gambar 5 Perhitungan faktor keamanan dinamis dan probabilitas kelongsoran pada (A) GT01 dan (B) GT02

Tabel 8 Geometri lereng optimal berdasarkan variasi tinggi dan kemiringan lereng yang menghasilkan FK dinamis 1,16 – 1,77 diikuti PK pada kisaran 0 – 12,8%

Kode	Tinggi (m)	Slope (°)	Overall slope (°)	FK Dinamis	PK (%)
GT01	50,94	50	41	1,77	0
	52,4	60	46	1,64	0
	52,94	70	52	1,46	0
	53,18	80	59	1,34	0
GT02	50,9	50	41	1,48	0,8
	50,9	60	48	1,37	1,3
	50,9	70	55	1,29	3,7
	50,9	80	63	1,16	12,8

5 Kesimpulan

Desa Mekar Jaya, Kecamatan Sebulu, Kalimantan Timur tersusun atas dominasi batuan batupasir lanauan, batulempung gelap, dan batuserpih gelap. Adapun titik GT01 dirancang untuk menjadi *highwall*, dimana beban yang dirancang pada bagian atas lereng dengan kekuatan beban permukaan 500kN/m^2 .

Referensi

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. & Boyce, G. M. 2001. *Slope Stability and Stabilization Methods* (2 ed.). New York, John Wiley & Sons.
- Amrullah, M. F., Zakaria, Z., Sophian, R. I. & Tunggal, J. 2019. Optimisasi Kestabilan Lereng Tunggal Lapisan Overburden Rencana Tambang Mahayung Dengan Pendekatan Probabilistik. *Geoscience Journal*, 3(6), pp. 480-488.
- ASTM 1995. D2850-03a: Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. PA USA, ASTM Volume 04.08, ICS Code: 93.020. <https://doi.org/10.1520/D2850-23>
- Azizi, M. A., Kramadibrata, S., Wattimena, R. K. & Sidi, I. D. 2013. Probabilistic Analysis of Physical Models Slope Failure. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, pp. 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.054>
- Bathurst, R. J. & Naftchali, F. M. 2023. Influence of uncertainty in geosynthetic stiffness on deterministic and probabilistic analyses using analytical solutions for three reinforced soil problems. *Geotextiles and Geomembranes*, 51(1), pp. 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2022.10.002>
- Bieniawski, Z. T. & Bernede, M. J. 1979. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining*

- Sciences & Geomechanics Abstracts, 16(2), pp. 138-140. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91451-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91451-7)
- Duncan, J. M., Wright, S. G. & Brandon, T. L. 2014. *Soil Strength and Slope Stability* (2 ed.). New York, Wiley.
- Ghadrdan, M., Dyson, A. P., Shaghghi, T. & Tolooiyan, A. 2020. Slope stability analysis using deterministic and probabilistic approaches for poorly defined stratigraphies. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 7(1), pp. 4. <https://doi.org/10.1007/s40948-020-00189-3>
- Griffiths, D. V. & Fenton, G. A. 2007. *Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering*. Vienna, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-73366-0>
- Gurocak, Z., Alemdag, S. & Zaman, M. M. 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey. *Engineering Geology*, 96(1-2), pp. 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.08.005>
- Hoek, E. 1990. Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from the Hoek-Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 27(3), pp. 227-229. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)94333-o](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)94333-o)
- Hoek, E. & Bray, J. D. 1981. *Rock Slope Engineering*. London, The Institution of Mining and Metallurgy. <https://doi.org/10.1201/9781482267099>
- ISRM 1979a. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 16(2), pp. 143-151. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91452-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91452-9)
- ISRM 1979b. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 16(2), pp. 319-368. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91476-1](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91476-1)
- Kepmen ESDM 2018. No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik.
- Komadja, G. C., Pradhan, S. P., Oluwasegun, A. D., Roul, A. R., Stanislas, T. T., Laïbi, R. A., Adebayo, B. & Onwuaju, A. P. 2021. Geotechnical and geological investigation of slope stability of a section of road cut debris-slopes along NH-7, Uttarakhand, India. *Results in Engineering*, 10, pp. 100227. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100227>
- Kormu, S., Sorsa, A., Amena, S. & Bahubalendruni, M. V. A. R. 2022. Correlation of Unconfined Compressive Strength (UCS) with Compaction Characteristics of Soils in Burayu Town. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1155/2022/1548272>
- Li, A. J., Merifield, R. S. & Lyamin, A. V. 2011. Effect of rock mass disturbance on the stability of rock slopes using the Hoek-Brown failure criterion. *Computers and Geotechnics*, 38(4), pp. 546-558. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.03.003>
- Martin, D. & Stacey, P. 2018. *Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks*. New York, CRC Press.
- Muralha, J., Grasselli, G., Tatone, B., Blümel, M., Chryssanthakis, P. & Yuqing, J. 2014. ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: Revised Version. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(1), pp. 291-302. <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0519-z>
- Price, V. E. & Morgenstern, N. R. 1968. The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces. *Géotechnique*, 18(3), pp. 393-394. <https://doi.org/10.1680/geot.1968.18.3.393>
- Rafiei Renani, H. & Martin, C. D. 2020. Slope Stability Analysis using Equivalent Mohr-Coulomb and Hoek-Brown criteria. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53(1), pp. 13-21. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01889-3>
- Supriatna, S., Sukardi & Rustandi, E. 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan*. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Winantris, Syafri, I. & Rinawan, R. 2006. Kandungan mikrofosil dalam formasi pembawa batubara dari daerah perian kecamatan muara muntai, kabupaten kutai kertanegara, kalimantan timur. *Bulletin of Scientific Contribution*, 4(1), pp. 8-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/bsc%20geology.v4i1.8109>
- Wroth, C. P. & Wood, D. M. 1978. The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15(2), pp. 137-145. <https://doi.org/10.1139/t78-014>
- Zulfahmi, Z., Sarah, D., Novico, F. & Susilo, R. B. 2023. Assessment of Rock Slope Stability in a Humid Tropical Region: Case Study of a Coal Mine in South Kalimantan, Indonesia. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 38(2), pp. 109-125. <https://doi.org/10.17794/rgn.2023.2.8>