



Penerapan Klasifikasi Massa Batuan dan Metode Kestimbangan Batas Terhadap Kestabilan Lereng Tambang PT. Ifishdeco, Sulawesi Tenggara

Jenly Oksteming¹, Wd Rizky Awaliah^{1✉}, Erwin Anshari¹

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: October 3, 2023

Accepted: August 14, 2023

Published: August 30, 2023

Keywords:

faktor keamanan
optimalisasi lereng
longsor baji
nikel laterit
ifishdeco

Corresponding author:

Wd Rizky Awaliah

Email: wdkiki.awaliah@uho.ac.id

Read online:



Scan this QR code
with your smart
phone or mobile
device to read online.

Copyright © 2024 Authors



This work is
licensed under
a Creative Commons

Attribution-ShareAlike 4.0 International
License.

ABSTRAK

PT. Ifishdeco seringkali mengalami masalah dalam menjalankan aktivitas penambangannya yang bersumber pada masalah geoteknik, yakni adanya longsor. Penelitian ini bertujuan untuk merekomendasikan nilai parameter lereng agar tetap stabil dan aman dengan mempertimbangkan pengaruh struktur geologi dan jenis kelongsoran pada Pit Jey Blok Selatan PT. Ifishdeco Tbk. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode Bishop dengan kriteria Mohr-Coloumb berdasarkan hasil uji kuat geser langsung dan klasifikasi massa batuan. Hasil analisis geometri lereng aktual pada lereng A dan Lereng B diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,79 dan 0,83 dengan kondisi tidak stabil yang disebabkan karena adanya pengaruh dari keterdapatan bidang diskontinuitas yang mengurangi kekuatan penyusun lereng. Berdasarkan hasil analisis kinematik, jenis longsor yang terdapat pada lereng A dan lereng B tergolong dalam jenis longsor baji. Optimalisasi geometri lereng diperlukan sebagai rekomendasi desain geometri lereng. Diperlukan optimalisasi pada tinggi lereng dan kemiringan jenjang penangkap.

ABSTRACT

PT Ifishdeco often experiences problems in its mining activities, which originate from geotechnical issues, such as landslide events. This study aims to recommend the value of slope parameters to remain stable and safe by considering the influence of geological structures and types of landslides in the South Block Jey Pit of PT Ifishdeco Tbk. Slope stability analysis using the Bishop method with Mohr-Coloumb criteria based on direct shear strength test results and rock mass classification. The results of the study show that the safety factor value of the actual slope geometry on slope A and slope B obtained safety factor values of 0.79 and 0.83 with unstable conditions caused by the influence of the presence of discontinuity planes that reduce the strength of the slope constituent. Based on the kinematic analysis results, the landslide types found on slopes A and B are classified as wedge failures. Optimization of slope geometry is required as a recommendation for slope geometry design. Optimization of the slope height and bench slope is necessary.

How to cite: Oksteming, J., Awaliah, W. D. R., dan Anshari, E. (2024). Penerapan Klasifikasi Massa Batuan dan Metode Kestimbangan Batas Terhadap Kestabilan Lereng Tambang PT. Ifishdeco, Sulawesi Tenggara. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 6(1), p36-41. <https://doi.org/10.56099/ophi.v6i1.p36-41>

1 Pendahuluan

Kegiatan penambangan seringkali mengalami permasalahan yang bersumber pada masalah geoteknik pada lereng penambangan (Azizi dkk., 2019). Penggalian pada suatu massa tanah dan batuan akan menyebabkan terjadinya perubahan distribusi tegangan pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan pada akhirnya dapat menyebabkan longsor (Yanuardian dkk., 2018). Untuk mengantisipasi hal tersebut, sangat dibutuhkan suatu kajian analisis geoteknik pada dinding penambangan nikel pada Pit Jey Blok Selatan PT. Ifishdeco Tbk agar menciptakan kondisi kerja yang lebih aman dengan memperhatikan pengaruh struktur geologi serta jenis kelongsoran agar tidak terjadi kelongsoran serta dapat mengoptimalkan dan memberikan rekomendasi geometri lereng yang aman dan stabil kepada perusahaan.

Beberapa pendekatan metode dapat digunakan pada evaluasi kestabilan lereng tambang. Beberapa teknik analisis cukup populer digunakan seperti penggunaan klasifikasi massa batuan pada lereng tambang (Zakaria dkk., 2012) dan yang paling populer adalah perhitungan faktor keamanan lereng dengan metode kesetimbangan batas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada pit penambangan PT. Ifishdeco yang tersusun atas profil nikel laterit. Pendekatan terintegrasi digunakan pada penelitian ini dengan mengkombinasikan beberapa teknik analisis. Optimalisasi lereng tidak stabil juga dilakukan dengan penentuan faktor keamanan yang paling optimal.

1.1 Rock Mass Rating (RMR)

Klasifikasi massa batuan menggunakan sistem RMR dapat dibagi menjadi 5 parameter, yaitu (Askari dkk., 2017) kuat tekan batuan utuh, Rock Quality Designation (RQD), jarak spasi kekar, kondisi kekar, dan kondisi air tanah (Bieniawski, 1989).

Menurut Rai dkk. (2014), penentuan nilai kuat tekan (UCS) dapat diperkirakan di lapangan dengan menggunakan pukulan palu geologi dan menggores pisau lipat pada batuan.

Jika menggunakan metode *scanline* (survey garis pindai), terlebih dahulu harus menentukan frekuensi diskontinuitas/kekar. Frekuensi diskontinuitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan oleh Priest (1993)

$$\text{Frekuensi } (\lambda) = 1/\text{spasi kekar} \quad (1)$$

Setelah diketahui nilai frekuensi kekar atau diskontinuitas, nilai tersebut digunakan untuk menghitung RQD dengan persamaan (2) oleh Priest (1993)

$$\text{RQD} = 100e^{-0,1\lambda(0,1\lambda+1)} \quad (2)$$

Jarak diskontinuitas dapat diartikan sebagai jarak rekahan bidang-bidang yang tidak sejajar dengan bidang lemah lainnya. Sedangkan, spasi rekahan adalah jarak antar bidang yang diukur secara tegak lurus dengan bidang diskontinuitas.

Menurut Delgado-Reivan dkk. (2023), Bieniawski (1989) terdapat lima karakteristik bidang diskontinuitas yang meliputi: kemenerusan (persistensi), jarak antar permukaan bidang diskontinuitas atau celah (*separation*), kekasaran permukaan bidang diskontinuitas (*roughness*), material pengisi (*infilling/gouge*), dan tingkat pelapukan (*weathering*).

Pengamatan kondisi air tanah pada bidang diskontinuitas dilakukan dengan memperhatikan kondisi umum dengan kategori kering, basah, lembap, menetes, dan mengalir.

1.2 Metode Bishop

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini, yakni besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Persamaan 3 menunjukkan perhitungan faktor keamanan dengan Metode Bishop (Muhammad dkk., 2020, Amrullah dkk., 2019).

$$FS = \frac{\sum \left[\frac{c \cdot \cos \alpha_n + W_n \cdot \tan \phi}{\cos \alpha_n + \frac{\sin \alpha_n \cdot \tan \phi}{FS}} \right]}{\sum W_n \cdot \sin \alpha_n} \quad (3)$$

1.3 Analisis Kinematika Longsoran

Analisis kinematika dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi longsoran batuan. Prinsip metode ini adalah terdapat korelasi geometris antara kedudukan diskontinuitas terhadap orientasi muka lereng (Idris dkk., 2019) yang dapat menyebabkan beberapa tipe longsoran. Longsoran bidang (*plane failure*): merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang lurus (Finanti dan Kuenaryo, 2020). Longsoran baji (*wedge failure*) merupakan longsoran yang terjadi apabila dua bidang diskontinuitas berpotongan (Metriani dkk., 2019). Longsoran guling (*topping failure*) terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras dengan bidang-bidang diskontinuitas hampir tegak atau tegak. Longsoran busur (*circular failure*) hanya akan terjadi pada tanah atau material yang bersifat lunak dengan kuat geser yang sangat rendah (Gurocak dkk., 2008).

2 Metode Penelitian

Kestabilan lereng tambang dinyatakan dalam kualitas massa batuan dan nilai faktor keamanan lereng. Digunakan beberapa data pendukung berupa

data struktur geologi, data arah dan kemiringan lereng, data orientasi bidang diskontinuitas, serta property fisis dan mekanis sampel profil laterit yang terdiri dari kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan bobot isi (γ). Selain itu, juga digunakan data peta topografi detail, data batas IUP.

Pengumpulan data diawali dengan interpretasi data struktur geologi melalui pola kelurusan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografi. Dilanjutkan dengan inventarisasi diskontinuitas menggunakan metode survey garis pindai. Pengambilan sampel laterit dilakukan secara langsung di lapangan berdasarkan variasi profil laterit yang mewakili litologi penyusun lereng tambang dengan menggunakan tabung (*shelby tube*). Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 5 titik, dengan elevasi yang beragam. Uji laboratorium terhadap variasi sampel nikel laterit dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Halu Oleo.

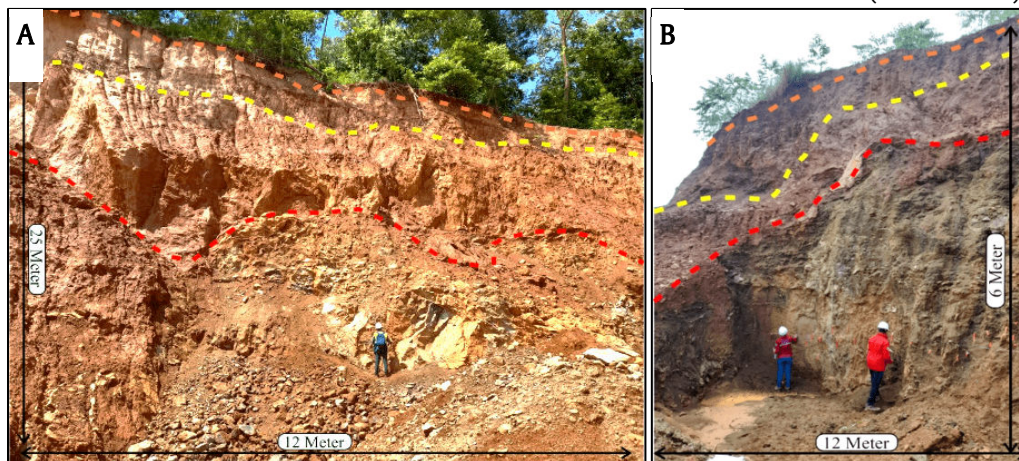
Pengolahan data mencakup identifikasi tipe longsoran menggunakan analisis kinematika (Masri dan Sadisun, 2019), dilanjutkan dengan penentuan kelas massa batuan dengan RMR (Pangaribuan dan Retongga, 2023). Kestabilan lereng dinyatakan dalam nilai faktor keamanan dengan nilai ambang berdasarkan Kepmen ESDM (2018). Pada lereng tambang aktual dengan nilai faktor keamanan di bawah nilai ambang, dilakukan optimalisasi geometri lereng. Optimalisasi berfokus pada perubahan tinggi lereng dan sudut kemiringan jenjang lereng.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Lereng Tambang

Terdapat dua lereng yang menjadi fokus pada penelitian ini (**Gambar 1**). Kedua lereng merupakan lereng tambang produksi yang berada pada blok selatan. Lereng A Pit Jey Blok Selatan berarah N157°E/80° dengan arah kemiringan lereng N247°E (berarah baratlaut). Lereng tersebut memiliki tinggi ± 25 meter dengan lebar jenjang kerja 12 meter, dan sudut kemiringan lereng 70°. Lereng A tersusun atas empat lapisan profil endapan nikel laterit yang terdiri atas *topsoil* dengan kenampakan fisik berwarna coklat tua kemerahan dengan ketebalan 2 meter. Lapisan sedimen yang terdiri atas material berukuran pasir kasar dan lempung dengan ketebalan 4 meter. Lapisan limonit dengan warna kuning kemerahan dengan ketebalan 8 meter. Lapisan saprolit dengan warna merah ataupun kehijauan dengan ketebalan 11 meter.

Lereng B berarah N110°E/89° dengan kemiringan muka lereng berarah baratlaut. Lereng tersebut memiliki tinggi ± 6 meter, lebar jenjang kerja 12 meter, dan sudut kemiringan lereng 85°. Lereng tersebut terdiri atas tiga profil endapan nikel laterit yang terdiri dari lapisan sedimen dengan material berukuran pasir kasar berwarna coklat kemerahan dengan ketebalan 0,5 meter. Lapisan limonit berwarna kuning kemerahan dengan ketebalan 2,5 meter serta lapisan saprolit berwarna merah atau kehijauan yang memiliki ketebalan 3 meter (**Gambar 1B**).



Gambar 1 Geometri dan profil laterit pada Lereng dan Lereng B. Terlihat kedua lereng memiliki profil yang berbeda

3.2 Kualitas Massa Batuan Lereng dengan RMR

Pada analisis ini, hasil pengukuran di lapangan terhadap parameter RMR seperti kuat tekan batuan utuh (UCS), Rock Quality Designation (RQD), spasi rekahan, kondisi rekahan, serta kondisi umum air tanah pada bidang diskontinuitas diberikan bobot sesuai dengan klasifikasi massa batuan Rock Mass Rating (RMR).

Pengamatan dan pencatatan terhadap orientasi diskontinuitas dilakukan dengan cara sistematis dengan menggunakan metode *scanline* sampling. Pada lereng A, jumlah bidang diskontinuitas yang dijumpai sepanjang garis bentangan *scanline*, yakni sebanyak 112 bidang kekar dengan panjang *scanline* 20 meter. Jadi, total keseluruhan bobot nilai dari parameter RMR pada lereng A Pit Jey Blok Selatan

adalah 60,8 yang termasuk dalam kelas massa batuan III dengan kualitas sedang.

Pada lereng B, jumlah bidang diskontinuitas yang dijumpai sepanjang garis bentangan *scanline*, yakni sebanyak 110 bidang kekar dengan panjang *scanline* 20 meter. Jadi, total keseluruhan bobot nilai RMR pada lereng A Pit Jey Blok Selatan adalah 50,3 yang termasuk dalam kelas massa batuan III juga dengan kualitas sedang (Tabel 1).

Tabel 1 Rekapitulasi kelas massa batuan lereng dengan RMR

Parameter RMR	Lereng A	Lereng B
UCS	1,8	3
RQD	13	13
Spasi Rekahan	8	8
Kondisi Rekahan	23	19
Air Tanah	15	10
Total RMR	60,8	50,3

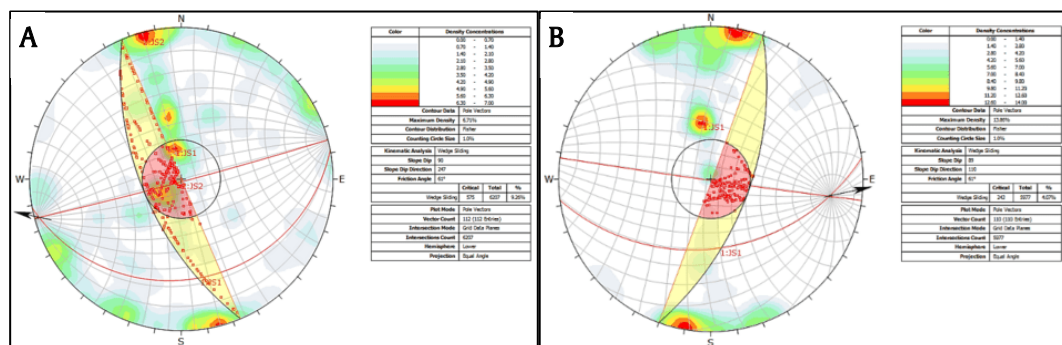
3.3 Analisis Kinematika Longsoran

Analisis jenis longsoran dengan metode stereografi digunakan untuk membantu

mengidentifikasi jenis keruntuhan atau longsoran yang mungkin akan terjadi pada suatu lereng tanah maupun lereng batuan.

Pada Lereng A, arah jurus dan kemiringan diskontinuitas menunjukkan arah tegasan utama yang didominasi pada arah baratdaya - timurlaut. Berdasarkan pola-pola diskontinuitas dan kedudukan lereng pada analisis kinematik (**Gambar 2A**), menunjukkan adanya potensi tipe longsoran baji yang dibentuk oleh dua set diskontinuitas yang saling berpotongan, yaitu JS1 dan JS2. Dimana kedudukan umum JS1 N79°E/23°, dan kedudukan umum JS2 N75°E/88°, dengan kedudukan lereng N157°E/80°.

Pada Lereng B, arah jurus dan kemiringan diskontinuitas berarah dominan baratlaut – tenggara. Berdasarkan pola-pola diskontinuitas dan kedudukan lereng pada analisis kinematik (**Gambar 2B**), menunjukkan adanya potensi longsoran baji yang dibentuk oleh dua set diskontinuitas yang saling berpotongan, yaitu JS1 dan JS2. Dimana kedudukan umum JS1 N82°E/41°, kedudukan umum JS2 N98°E/89°, dengan kedudukan lereng N110°E /89°.



Gambar 2 Analisis kinematika pada Lereng A dan Lereng B dengan potensi kehadiran longsoran baji

3.4 Faktor Keamanan Lereng Tambang

Material penyusun, baik pada Lereng A dan Lereng B, umumnya adalah endapan laterit dengan sisipan sedimen Molasa Sulawesi (Hasria dkk., 2023). Material lereng tambang dikelompokkan menjadi kelompok profil laterit (limonit dan saprolit, kelompok batuan sedimen (batupasir dan batulempung) ditutupi oleh *topsoil*. Uji laboratorium menunjukkan batulempung memiliki bobot isi terbesar, sedangkan batupasir memiliki nilai kohesi terbesar (Tabel 2).

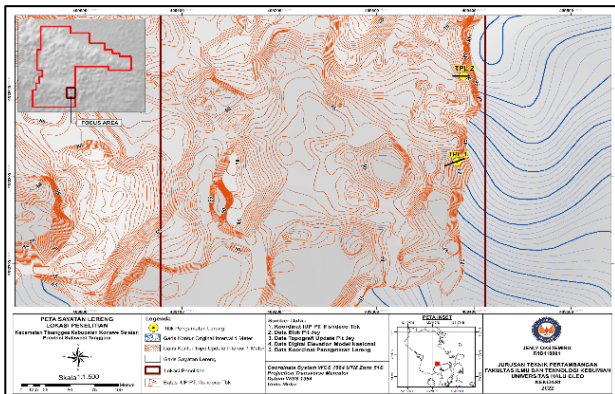
Tabel 2 Hasil pengujian sampel litologi penyusun lereng tambang

Litologi	Kohesi (c) kN/m ²	Bobot Isi (γ) kN/m ³	Sudut Geser Dalam (φ)
Top Soil	28,05	17,16	20,56
Batupasir	29,52	16,38	14,04
Batulempung	5,88	19,52	63,44
Limonit	8,83	17,06	53,97
Saprolit	29,52	15,10	61,93

Pemodelan lereng keseluruhan (*overall slope*) diaplikasikan pada setiap litologi pada lereng B Pit Jey Blok Selatan PT. Ifishdeco Tbk menggunakan Metode Bishop. Metode ini cukup populer pada profil lereng nikel laterit (Arief, 2020). penampang sayatan lereng seperti yang terlihat pada **Gambar 3**. Perhitungan nilai faktor keamanan digunakan kriteria Mohr-Coloumb pada sifat fisik dan mekanik profil lereng dan penambahan parameter beban alat berdasarkan spesifikasi alat gali-muat Excavator Komatsu PC 300 dengan berat 31 ton atau 304 kN/m².

Berdasarkan **Gambar 4**, diperoleh nilai faktor keamanan (FK) pada Lereng A Pit Jey Blok Selatan dengan pendekatan Metode Bishop sebesar 0,791 yang dinyatakan dalam kondisi tidak stabil dan mengakibatkan lereng tersebut berpotensi longsor. Hasil serupa juga dijumpai pada Lereng B Pit Jey dengan nilai faktor keamanan 0,832 yang juga menunjukkan nilai kritis lereng tidak stabil. Kedua nilai ini berada di bawah nilai ambang faktor

keamanan yang dipersyaratkan pada lereng tambang yaitu sebesar 1,2 oleh [Kepmen ESDM \(2018\)](#)



Gambar 3 Arah penampang sayatan lereng mengacu pada peta toografi detail

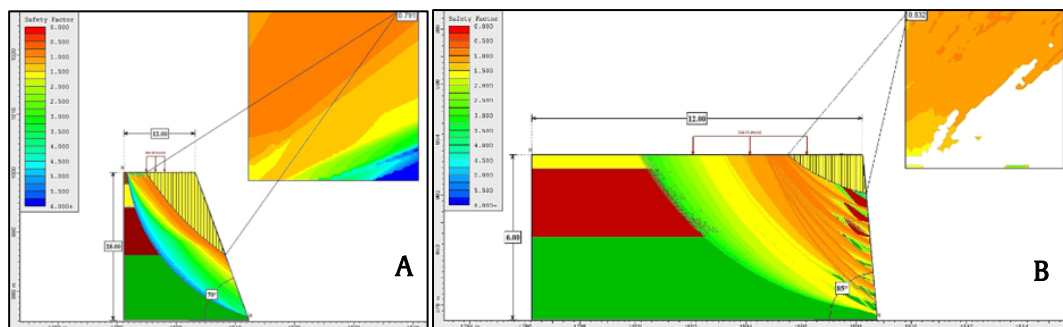
3.5 Optimalisasi Geometri Lereng Tambang

Analisis optimalisasi desain geometri lereng keseluruhan pada kedua lereng tambang diperlukan karena rendahnya nilai faktor keamanan pada lereng tambang aktual. Hasil evaluasi terhadap desain lereng awal menggunakan metode Bishop dengan kriteria Mohr-Coloumb. Optimalisasi geometri lereng

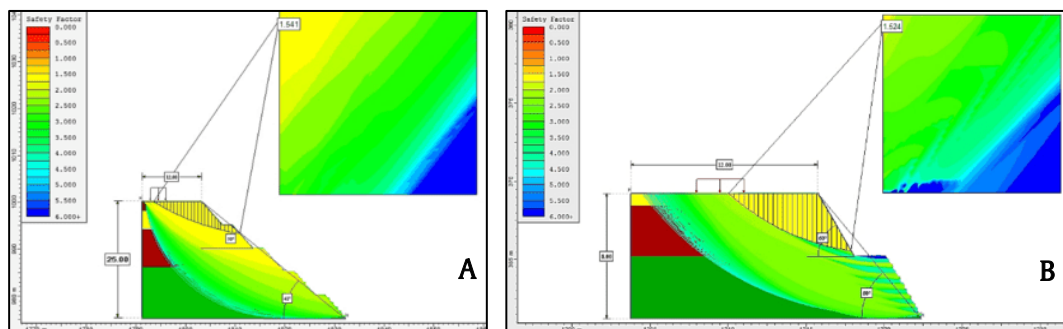
bertujuan untuk memberikan rekomendasi desain geometri lereng yang aman dan stabil. Optimalisasi geometri dapat berupa pembuatan jenjang maupun penyesuaian tinggi lereng.

Berdasarkan nilai faktor keamanan pada Lereng A, diperlukan pengoptimalan geometri lereng dengan cara melakukan *trial and error* untuk mendapatkan lereng yang aman dan stabil. Hasil optimalisasi geometri lereng pada lereng A (**Gambar 5**) menunjukkan bahwa lereng dengan ketinggian dan sudut kemiringan yang bervariasi mulai dari 15 - 30 meter dapat menghasilkan nilai faktor keamanan lereng dalam kondisi aman dan stabil dengan nilai faktor keamanan $\geq 1,3 - 1,5$ yang dibentuk oleh beberapa jenjang penangkap dengan sudut kemiringan (*overall slope*) $37^\circ - 50^\circ$.

Di sisi lain, hasil optimalisasi geometri lereng pada Lereng B (**Gambar 5**) menunjukkan bahwa lereng dengan ketinggian dan sudut kemiringan yang bervariasi mulai dari 8 - 15 meter dapat menghasilkan nilai faktor keamanan lereng dalam kondisi aman dan stabil dengan nilai faktor keamanan $\geq 1,3 - 1,5$ yang dibentuk oleh beberapa jenjang penangkap dengan sudut kemiringan (*overall slope*) $42^\circ - 50^\circ$.



Gambar 4 Faktor keamanan pada lereng actual yang menunjukkan kondisi tidak stabil



Gambar 5 faktor keamanan setelah dilakukan optimalisasi geometri lereng tambang

4 Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Lereng A dan Lereng B Pit jey Blok Selatan diperoleh nilai faktor keamanan (FK) aktual sebesar 0,791 dan 0,832 dimana lereng tersebut dalam kondisi tidak stabil. Hal ini sangat dipengaruhi oleh keterdapatn

diskontinuitas pada muka lereng yang juga memberikan potensi kehadiran longsoran baji. Nilai bobot isi dan kuat geser litologi penyusun lereng juga relatif rendah dan memberi dampak pada perhitungan faktor keamanan. Selain itu, penambahan beban eksternal seperti beban alat yang

bekerja juga turut mempengaruhi kestabilan lereng. Optimalisasi dan rekomendasi geometri lereng yang telah dirancang berdasarkan hasil *trial and error*; untuk Lereng A dengan ketinggian bervariasi mulai dari 15 - 30 meter dan Lereng B dengan ketinggian

beragam mulai dari 8 - 15 meter diperoleh nilai faktor keamanan melampaui nilai ambang. Selain ketinggian lereng, juga patut dipertimbangkan kemiringan jenjang lereng dengan nilai yang direkomendasikan berkisar antara 37° - 45°.

Referensi

- 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.
- Arief, M. Z. 2020. Studi Pengaruh Geometri Lereng pada Analisis Kemantapan Lereng 2D dan 3D Dengan Metode Kesetimbangan Batas. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 2(1), pp. 51-56. <https://doi.org/10.36986/impj.v2i1.27>
- Azizi, M. A., Hakim, R. N. & Nugraha, A. D. 2019. Optimalisasi Geometri Lereng Tambang Nikel Menggunakan Metode Probabilistik Pada Hill Pit 05 PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(2), pp. 92-100. <https://doi.org/10.33536/jg.v7i2.344>
- Bieniawski, Z. T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. Ottawa, John Wiley & Sons.
- Delgado-Reivan, X., Paredes-Miranda, C., Loaiza, S., Echeverria, M. D. P. V., Mulas, M. & Jordá-Bordehore, L. 2023. Stability Analysis of Rocky Slopes on the Cuenca-Girón-Pasaje Road, Combining Limit Equilibrium Methods, Kinematics, Empirical Methods, and Photogrammetry. *Remote Sensing*, 15(3), pp. 862. <https://doi.org/10.3390/rs15030862>
- 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>
- Hasria, Ahdiarno, L. O. M., Masri, Muliddin & Azzaman, M. A. 2023. Lingkungan Pengendapan Formasi Eemoiko Daerah Palangga Selatan, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(4), pp. 215-224. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i4.694>
- Idris, S. R., Muslim, D., Sulaksana, N. & Burhannudinnur, M. 2019. Karakteristik kestabilan lereng daerah Jatigede Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat berdasarkan analisis kinematik. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), pp. 89-96. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no2.2019.1009>
- Kepmen ESDM 2018. No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik.
- Masri & Sadisun, I. A. 2019. Analisis kestabilan lereng terhadap potensi longsoran guling menggunakan Continuous Slope Mass Rating (C-SMR) pada ruas jalan Tawaeli-Toboli km 42-52, Sulawesi Tengah. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 1(1), pp. 1-9. <https://doi.org/10.56099/ophiolite.v1i1.8986>
- Muhammad, S., Masri, M. & Hasria, H. 2020. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop di Pit ALC-14 Tambang Batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 8(2), pp. 162-170. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i2.621>
- Pangaribuan, M. P. & Retongga, N. 2023. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) untuk Menentukan Faktor Keamanan Lereng Pada Tambang Tuf Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(3), pp. 171-190. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.3.2022.171-190>
- Priest, S. D. 1993. *Discontinuity analysis for rock engineering*. London, Chapman & Hall.
- Rai, M. A., Wattimena, R. K. & Kramadibrata, S. 2014. *Mekanika Batuan* (1 ed.). Bandung, ITB Press.
- Yanuardian, A. R., Indrawan, I. G. B. & Warmada, I. W. 2018. Analisis kestabilan lereng di Desa Terbah dan sekitarnya, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul berdasarkan Slope Stability Probability Classification. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 28(1), pp. 101-101. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2018.v28.745>
- Zakaria, Z. Z., Muslim, D. & Sophian, I. 2012. Koreksi SMR pada desain lereng tambang terbuka batubara pada Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru, Sanga-sanga, Kalimantan Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 7(3), pp. 147-157. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v7i3.115>