

Kajian Geoteknik Lereng untuk Menentukan Nilai Ambang Batas Getaran Hasil Peledakan pada Lereng High Wall Blok 24 & 26 Pit Gunung Turak PT Antareja Mahada Makmur di Site MHU, Kecamatan Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Iqbal Haryoto A *, Iswandaru, Yunus

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*iqbalharyoto20@gmail.com, iswandaru@unisba.ac.id, yunus@unisba.ac.id

Abstract. This study aims to assess slope stability at Pit Gunung Turak, PT Antareja Mahada Makmur, located at the MHU Site, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan, and to determine safe blast-induced vibration threshold values for Block 24 and Block 26. The main objectives include analyzing the physical and mechanical properties of slope-forming rocks, classifying rock mass to identify failure tendencies, calculating safety factors and landslide probabilities, and identifying potential types of slope failure. The methods used include probabilistic slope failure analysis, limit equilibrium methods, stereographic projection, and discontinuity mapping through scanline techniques. Probabilistic approaches account for geotechnical and geological uncertainties, while limit equilibrium methods evaluate static slope stability. Stereographic analysis and discontinuity mapping help identify weak planes that may trigger slope failure. The results indicate that the safe vibration threshold for Block 24 ranges between 0.006–0.009, and for Block 26 between 0.05–0.08. These thresholds serve as guidelines for designing safe blasting operations, as vibrations exceeding these limits may lead to slope instability or failure. Overall, this study contributes significantly to safe blast design in open-pit mining, emphasizing slope stability and the sustainability of mining operations.

Keywords: *slope stability, blasting, vibration threshold, probabilistic method, discontinuity mapping.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengkaji kestabilan lereng di Pit Gunung Turak, PT Antareja Mahada Makmur, Site MHU, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, serta menentukan nilai ambang batas getaran peledakan yang aman pada Blok 24 dan 26. Tujuan utama meliputi analisis sifat fisik dan mekanik batuan, klasifikasi massa batuan, perhitungan faktor keamanan dan probabilitas longsor, serta identifikasi jenis longsoran yang mungkin terjadi. Metode yang digunakan mencakup pendekatan probabilitas longsor, kesetimbangan batas, analisis stereografi, dan pemetaan bidang diskontinu menggunakan teknik scanline. Pendekatan probabilistik digunakan untuk mempertimbangkan ketidakpastian data geoteknik dan geologi. Metode kesetimbangan batas menganalisis stabilitas lereng secara statik, sementara analisis stereografi dan pemetaan diskontinu mengidentifikasi bidang lemah yang berpotensi menyebabkan keruntuhan. Hasil menunjukkan nilai ambang batas getaran aman pada Blok 24 berkisar antara 0,006–0,009, dan Blok 26 antara 0,05–0,08. Nilai ini penting sebagai acuan dalam merancang peledakan yang aman agar tidak mengganggu kestabilan lereng. Penelitian ini memberikan kontribusi bagi perencanaan peledakan yang lebih aman di tambang terbuka, dengan mengedepankan keselamatan dan keberlanjutan operasional pertambangan.

Kata Kunci: *kestabilan lereng, peledakan, ambang batas getaran, metode probabilitas, pemetaan diskontinu.*

A. Pendahuluan

Kajian geoteknik merupakan aspek penting dalam kegiatan penambangan terbuka, khususnya dalam metode strip mining. Geoteknik dalam konteks ini mencakup analisis terhadap sifat-sifat fisik dan mekanik tanah maupun batuan, serta bagaimana sifat-sifat tersebut memengaruhi kestabilan lereng, fondasi jalan tambang, dan struktur pendukung lainnya. Fokus utama dari studi geoteknik di tambang adalah menjaga keseimbangan antara keselamatan kerja, efisiensi operasional, dan kelestarian lingkungan.

Dalam metode strip mining, kegiatan pengupasan tanah penutup dan penggalian dilakukan secara horizontal dan progresif, sehingga membentuk lereng-lereng yang berubah seiring waktu. Setiap lereng yang terbentuk, baik sementara (interim slope) maupun akhir (final slope), harus didesain dengan mempertimbangkan kekuatan geser tanah atau batuan, tekanan air pori, serta kondisi hidrogeologi setempat. Ketidakstabilan lereng dapat menimbulkan keruntuhan massa tanah yang berisiko tinggi terhadap pekerja, alat berat, serta kelangsungan produksi tambang. Aspek-aspek teknis dalam kajian geoteknik meliputi pengumpulan data geologi teknik, uji sifat fisik tanah dan batuan (seperti uji kuat tekan, uji geser langsung, dan analisis butiran), serta pemodelan kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak atau metode manual. Analisis dilakukan untuk menentukan faktor keamanan lereng (safety factor), yaitu rasio antara kekuatan penahan dan gaya penggerak pada suatu lereng. Nilai ini menjadi indikator utama dalam menilai apakah suatu desain lereng dapat dikategorikan aman atau berisiko tinggi.

Dalam penelitian ini, pendekatan geoteknik dilakukan untuk mengevaluasi kondisi aktual lereng tambang yang terbentuk di lapangan, dengan tujuan memberikan rekomendasi teknis terhadap rancangan geometri lereng yang lebih stabil. Data lapangan dikumpulkan melalui pengamatan visual, pemetaan geologi permukaan, serta pengambilan sampel tanah atau batuan untuk diuji di laboratorium. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan tambang dan pengendalian risiko longsor. Sebagaimana disampaikan oleh Wyllie dan Mah (2004), analisis kestabilan lereng tidak hanya mempertimbangkan parameter teknis semata, tetapi juga harus memperhitungkan faktor lingkungan, curah hujan, serta kondisi operasional tambang. Oleh karena itu, kajian geoteknik di lokasi penelitian dilakukan secara menyeluruh untuk menjamin bahwa desain lereng memenuhi standar keamanan dan keberlanjutan yang berlaku.

Kajian geoteknik merupakan aspek penting dalam kegiatan penambangan terbuka, khususnya dalam metode strip mining. Geoteknik dalam konteks ini mencakup analisis terhadap sifat-sifat fisik dan mekanik tanah maupun batuan, serta bagaimana sifat-sifat tersebut memengaruhi kestabilan lereng, fondasi jalan tambang, dan struktur pendukung lainnya. Fokus utama dari studi geoteknik di tambang adalah menjaga keseimbangan antara keselamatan kerja, efisiensi operasional, dan kelestarian lingkungan. Dalam metode strip mining, kegiatan pengupasan tanah penutup dan penggalian dilakukan secara horizontal dan progresif, sehingga membentuk lereng-lereng yang berubah seiring waktu. Setiap lereng yang terbentuk, baik sementara (interim slope) maupun akhir (final slope), harus didesain dengan mempertimbangkan kekuatan geser tanah atau batuan, tekanan air pori, serta kondisi hidrogeologi setempat.

Ketidakstabilan lereng dapat menimbulkan keruntuhan massa tanah yang berisiko tinggi terhadap pekerja, alat berat, serta kelangsungan produksi tambang. Aspek-aspek teknis dalam kajian geoteknik meliputi pengumpulan data geologi teknik, uji sifat fisik tanah dan batuan (seperti uji kuat tekan, uji geser langsung, dan analisis butiran), serta pemodelan kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak atau metode manual. Analisis dilakukan untuk menentukan faktor keamanan lereng (safety factor), yaitu rasio antara kekuatan penahan dan gaya penggerak pada suatu lereng. Nilai ini menjadi indikator utama dalam menilai apakah suatu desain lereng dapat dikategorikan aman atau berisiko tinggi.

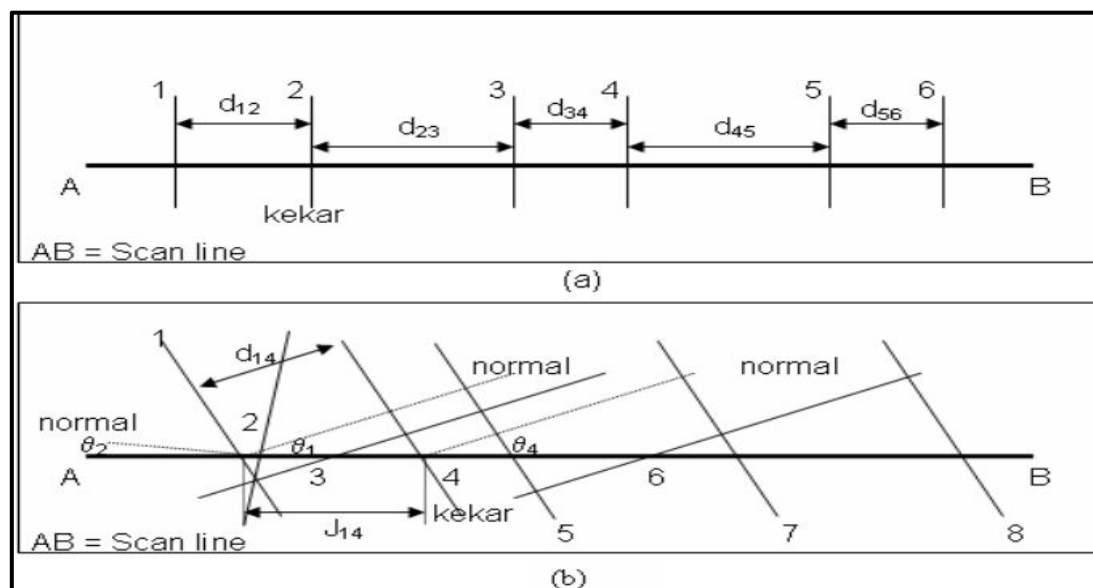
Dalam penelitian ini, pendekatan geoteknik dilakukan untuk mengevaluasi kondisi aktual lereng tambang yang terbentuk di lapangan, dengan tujuan memberikan rekomendasi teknis terhadap rancangan geometri lereng yang lebih stabil. Data lapangan dikumpulkan melalui pengamatan visual, pemetaan geologi permukaan, serta pengambilan sampel tanah atau batuan untuk diuji di laboratorium. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan tambang dan pengendalian risiko longsor. Sebagaimana disampaikan oleh Wyllie dan Mah (2004), analisis kestabilan lereng tidak hanya mempertimbangkan parameter teknis semata, tetapi juga harus memperhitungkan faktor lingkungan, curah hujan, serta kondisi operasional

tambang. Oleh karena itu, kajian geoteknik di lokasi penelitian dilakukan secara menyeluruh untuk menjamin bahwa desain lereng memenuhi standar keamanan dan keberlanjutan yang berlaku.

Metode scanline mapping merupakan salah satu teknik pemetaan geologi teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur sifat-sifat diskontinuitas pada massa batuan. Diskontinuitas yang dimaksud meliputi kekar, bidang perlapisan, sesar kecil, rekahan, maupun bidang geser, yang semuanya berpengaruh langsung terhadap kestabilan lereng dalam kegiatan penambangan terbuka. Dalam penelitian ini, metode scanline digunakan untuk memperoleh data spasial dan geometrik dari bidang-bidang diskontinuitas yang muncul pada lereng tambang. Data yang diperoleh akan dianalisis untuk menentukan arah dominan kekar, jarak antar kekar (spacing), panjang kekar, kondisi pengisian, kekasaran bidang, dan sudut kemiringan. Informasi ini penting sebagai input dalam penilaian kestabilan lereng serta klasifikasi massa batuan menggunakan metode empiris seperti RMR (Rock Mass Rating) atau Q-System.

Scanline mapping dilakukan dengan menarik satu garis lurus tetap (scanline) sepanjang permukaan singkapan batuan atau lereng tambang yang representatif. Garis ini dapat dibuat secara fisik menggunakan pita ukur, atau ditandai pada bidang pengukuran. Setiap diskontinuitas yang memotong garis tersebut diukur dan dicatat atributnya. Panjang garis pengamatan disesuaikan dengan kebutuhan, namun umumnya berkisar antara 5 hingga 20 meter. Menurut ISRM (International Society for Rock Mechanics, 1978), metode scanline merupakan salah satu cara paling sistematis dan kuantitatif untuk mengkarakterisasi diskontinuitas pada batuan, dan memberikan hasil yang lebih objektif dibandingkan metode observasi visual biasa.

Dalam penelitian ini, metode scanline mapping dilakukan di beberapa titik lereng tambang aktif untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang kondisi bidang discontinu. Data yang diperoleh digunakan untuk mendukung analisis geoteknik, terutama dalam penentuan potensi bidang gelincir dan rekomendasi sudut lereng aman berdasarkan orientasi dominan kekar yang teramati.



Gambar 1. Metode Scanline

Sumber: Ragen, 1973

Rock Quality Designation (RQD) adalah parameter indeks yang digunakan secara luas untuk menilai kualitas massa batuan berdasarkan tingkat rekahannya. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Deere et al. (1967) sebagai bagian dari upaya klasifikasi teknis batuan untuk kepentingan rekayasa geoteknik.

RQD mengukur persentase panjang inti bor batuan yang utuh dalam satu meter panjang pengeboran, dengan potongan-potongan batuan yang memiliki panjang lebih dari 10 cm dihitung sebagai batuan utuh. Nilai RQD dinyatakan dalam persen dan menjadi indikator kuantitatif terhadap kondisi rekahan dan kekompakan massa batuan. Menurut Palmström (1982, 1985), RQD dari hasil pengamatan scanline dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RQD = 100 \times \left(1 - \frac{Jv}{Jvcrit}\right) \quad (1)$$

Keterangan:

Jv = Jumlah total rekahan per meter (joint frequency atau joint volumetric count)

Jvcrit = Nilai kritis rekahan (umumnya 10–15/m)

Namun, cara paling umum yang disederhanakan dalam praktik lapangan scanline adalah dengan menghitung langsung panjang segmen batuan utuh (tanpa rekahan) yang lebih panjang dari 10 cm, dengan rumus:

$$RQD = \frac{\sum Li(> 10 \text{ cm})}{Ltotal} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

Li = Panjang potongan batuan yang utuh (>10 cm) antara dua rekahan

Ltotal = Total panjang garis scanline yang diukur

Tabel 1. Interpretasi Nilai RQD

Nilai RQD (%)	Kualitas Massa Batuan
0–25	Sangat Buruk (Very Poor)
25–50	Buruk (Poor)
50–75	Sedang (Fair)
75–90	Baik (Good)
90–100	Sangat Baik (Excellent)

Pengukuran dimensi lereng high wall dilakukan pada berbagai blok di Pit Gunung Turak, dengan fokus utama pada Blok 24. Data ini mencakup tinggi bench, sudut face bench, lebar berm, dan jenis material yang menyusun lereng. Variasi tinggi bench di setiap blok menunjukkan adanya perbedaan stratigrafi dan desain jenjang di lapangan, yang penting untuk analisis stabilitas. Demikian pula, variasi sudut face bench dan lebar berm mencerminkan karakteristik geoteknik lokal dan upaya desain untuk menjaga kestabilan pada setiap jenjang. Input material yang di masukan kedalam model seperti tebal dan kemiringan perlapisan di dapatkan dari pengambilan data bor, Material penyusun lereng yang didominasi oleh lempung, batubara, dan batupasir juga mengindikasikan adanya perbedaan sifat mekanik dan respons terhadap peledakan di setiap zona lereng.

Tabel 2. Geometri Lereng

Block	Zona	Tinggi Bench (H)	Sudut Face Bench (θ)	Lebar Berm (B)	Material
24	1	23 m	48°	110 m	Lempung, Batubara
	2	8.4 m	46°	4.3 m	Batupasir
	3	10.7	59°	4.1 m	Batupasir, Lempung, Batubara
	4	1.9	51°	5.1	Lempung
26	1	8.5 m	57°	23.4 m	Lempung, Batubara
	2	11.5	54°	2 m	Lempung
	3	8.5	5.6°	5.7 m	Batupasir
	4	10.7	46°	1.4 m	Lempung, Batubara

Pengamatan bidang-bidang diskontinuitas pada lereng tambang dilakukan menggunakan

metode scanline mapping, dengan bentangan 30m yang diterapkan di highwall Blok 24. Metode ini dipilih karena mampu mendeskripsikan sifat-sifat diskontinuitas secara sistematis sepanjang garis pengamatan yang representatif. Data ini berperan penting dalam mengevaluasi karakteristik massa batuan serta potensi ketidakstabilan lereng. Pengukuran dilakukan pada satu titik scanline dengan panjang total 30 meter yang ditempatkan pada elevasi sekitar 32 meter dari dasar pit. Lokasi tersebut dipilih karena menunjukkan eksposur batuan yang cukup baik dan mewakili kondisi geologi lokal Blok 24.

Selama pelaksanaan pengukuran, digunakan beberapa peralatan seperti kompas geologi untuk menentukan orientasi bidang, pita ukur untuk mengukur spasi dan panjang, palu geologi untuk mengidentifikasi kekasaran dan isian, serta formulir data lapangan untuk pencatatan. Parameter yang dicatat pada setiap bidang diskontinuitas yang memotong garis scanline meliputi orientasi, spasi, kekasaran, bukaan, isian, panjang bidang (persistence), serta kondisi air tanah. Rincian hasil pengamatan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Orientasi: Bidang perlapisan utama yang diamati memiliki arah strike sebesar 62° dan kemiringan (dip) sebesar 70° , menunjukkan bidang miring curam yang berpotensi sebagai bidang gelincir planar apabila arah kemiringannya searah lereng.
2. Spasi (spacing): Jarak rata-rata antar bidang diskontinuitas dalam satu set terukur sebesar 1,2 meter. Nilai ini mencerminkan tingkat keterpecahan massa batuan yang sedang hingga tinggi.
3. Kekasaran (roughness): Permukaan diskontinuitas secara kualitatif diamati sebagai halus bergelombang (smooth undulating) Jika dikonversikan ke dalam parameter JRC (Joint Roughness Coefficient), nilai rata-ratanya sebesar 2-4.
4. Bukaan (aperture): Rata-rata bukaan bidang diskontinuitas terukur sebesar 3 mm, mengindikasikan rekahan terbuka dengan potensi untuk menjadi jalur pergerakan air tanah atau reduksi kekuatan geser.
5. Isian (infilling): Material yang mengisi sebagian besar rekahan teridentifikasi sebagai lempung berwarna [opsional: sebutkan warna], dengan ketebalan rata-rata sebesar 3 mm. Kehadiran lempung sebagai isian dapat mengurangi kekuatan geser bidang dan meningkatkan risiko pelongsoran.
6. Panjang (persistence): Rata-rata panjang bidang yang teramati sepanjang scanline adalah sekitar 1 meter, menunjukkan diskontinuitas berskala sedang dengan kemungkinan keterhubungan antar potongan yang cukup tinggi.
7. Kondisi air tanah: Berdasarkan hasil pengamatan lapangan pada highwall Blok 24, kondisi air tanah dikategorikan sebagai lembab atau rembesan ringan, sesuai dengan klasifikasi kondisi air tanah menurut Hoek dan Bray (1981). Beberapa bidang diskontinuitas menunjukkan adanya kelembaban atau bekas rembesan lama, namun tidak terdapat aliran aktif atau genangan air pada permukaan lereng.

B. Metode

Sistematika penulisan dalam pembuatan laporan skripsi ini mengacu pada Buku Pedoman Tugas Akhir yang telah dikeluarkan oleh Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung. Bab pendahuluan menguraikan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, anggapan dasar, serta metodologi penelitian. Bab ini akan mengenalkan serta menguraikan mengenai pentingnya objek penelitian yang dikaji. Bab tinjauan umum menguraikan semua informasi yang berkaitan dengan lokasi penelitian, baik mengenai keadaan geologi, topografi, kondisi tambang, dan yang lain sebagainya. Bab landasan teori mengemukakan kiranya teori apa saja yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas serta dapat menjadi dasar dan mendukung topik penelitian yang diamati.

Bab prosedur dan hasil penelitian mengemukakan bagaimana langkah - langkah kerja yang dilakukan dalam mengumpulkan serta mengolah data untuk mendapatkan hasil olahan data yang sesuai dengan yang diinginkan. Bab pembahasan mengemukakan hasil analisis data yang telah diolah serta menjelaskan hubungan antar variabel yang digunakan dalam penelitian untuk menjawab tujuan penelitian yang telah dibuat sebelumnya. Bab kesimpulan dan saran mengemukakan mengenai jawaban masalah penelitian secara singkat, padat, dan juga jelas sesuai dengan hasil penelitian. Apabila terdapat hal – hal

yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut atau belum sempat dikerjakan, maka akan dituangkan pada saran.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pemilihan parameter geoteknik dalam analisis probabilistik menjadi aspek penting untuk menggambarkan ketidakpastian kondisi lereng di lapangan. Dibandingkan pendekatan deterministik, metode probabilistik yang digunakan dalam penelitian ini—yakni simulasi Monte Carlo—memungkinkan karakteristik alami dari masing-masing material, seperti variasi kohesi dan sudut geser dalam, untuk dimodelkan secara statistik. menunjukkan bahwa lereng tersusun dari beberapa litologi dominan, yaitu claystone, sandstone, siltstone, coal, serta soil. Claystone memiliki nilai kohesi sedang dan berat isi yang relatif seragam, tetapi nilai deviasi standar pada parameter kohesi dan sudut geser menunjukkan adanya keragaman material di lapangan. Sandstone menunjukkan karakteristik yang paling kaku dan kuat, terlihat dari tingginya nilai ϕ dan kohesi, meskipun tetap terdapat penyebaran nilai akibat kondisi lapangan. Siltstone menunjukkan variabilitas tertinggi dengan deviasi standar kohesi mencapai 64,22 kN/m². Hal ini menandakan bahwa siltstone di lokasi penelitian sangat heterogen, yang dapat meningkatkan ketidakpastian terhadap kestabilan lereng. Sementara itu, coal dan soil menunjukkan nilai kekuatan geser yang relatif rendah, namun karena parameter dimasukkan dalam bentuk distribusi normal, efek fluktuasi tetap dapat dikaji dalam simulasi.

Geometri lereng merupakan salah satu faktor fundamental dalam analisis kestabilan lereng, karena dimensi seperti tinggi bench (H), sudut face bench (θ), dan lebar berm (B) secara langsung mempengaruhi distribusi tegangan dan potensi longsor. Dalam penelitian ini, fokus utama diberikan pada Blok 24 sebagai representasi lereng paling kritis, serta dilakukan perbandingan terhadap blok-blok lain, khususnya Blok 26 dan 28 sebagai perbandingan.

Pada Blok 24, terdapat empat zona dengan variasi geometri yang cukup signifikan:

Zona 1 memiliki tinggi bench tertinggi yaitu 23 m dengan sudut lereng 48° dan lebar berm 110 m. Kombinasi ini memberi kesan lereng landai secara global, namun tinggi yang besar tetap menyimpan potensi ketidakstabilan terutama jika dikombinasikan dengan material lempung dan batubara yang cenderung lemah.

Zona 2 hingga 4 memiliki tinggi yang lebih rendah namun dengan sudut face bench yang lebih curam (46°–59°) dan lebar berm yang lebih kecil (sekitar 4–5 m), yang dapat meningkatkan risiko ketidakstabilan lokal.

Perbandingan dengan Blok 26 menunjukkan bahwa meskipun tinggi bench cenderung lebih rendah (±8,5–11,5 m), sudut kemiringan bench lebih curam (hingga 57°) dan lebar berm lebih kecil, khususnya di Zona 2 dan 4 (2 m dan 1,4 m). Hal ini membuat Blok 26 juga patut diperhitungkan dalam kajian stabilitas.

Sementara itu, blok-blok lain seperti Blok 28 hingga Blok 38 umumnya menunjukkan konfigurasi geometri dengan tinggi yang bervariasi namun sudut lereng dan lebar berm yang lebih konservatif. Sebagian besar dari blok-blok ini juga menunjukkan material dominan berupa lempung dan batupasir, yang secara umum memiliki kestabilan lebih baik dibanding kombinasi lempung-batubara.

Dengan mengacu pada data ini, dapat disimpulkan bahwa Blok 24 memiliki geometri yang relatif ekstrim pada Zona 1 (tinggi besar) dan Zona 3 (sudut curam dengan lebar berm sempit), yang mengonfirmasi statusnya sebagai blok kritis. Analisis lanjutan terhadap pengaruh geometri terhadap nilai factor of safety (FK) dan probabilitas kegagalan (PF) dilakukan pada bagian berikutnya. Metode scanline mapping diterapkan pada lereng highwall Blok 24 untuk memperoleh informasi mendetail mengenai kondisi bidang diskontinuitas yang dapat memengaruhi kestabilan lereng. Lokasi pengamatan dipilih pada elevasi sekitar 32 meter dari dasar pit, dengan panjang garis pengamatan 30 meter. Lokasi ini dipilih karena memiliki keterpaparan batuan yang cukup baik dan representatif terhadap kondisi geologi lokal Blok 24.

Dari hasil pengamatan lapangan, bidang perlapisan utama memiliki orientasi strike sebesar 62° dan kemiringan (dip) 70°, yang tergolong curam. Orientasi ini menunjukkan potensi sebagai bidang gelincir planar, terutama apabila arah kemiringannya sejalan dengan arah kemiringan lereng. Jarak antar bidang diskontinuitas atau spasi rata-rata tercatat sebesar 1,2 meter, mengindikasikan

tingkat keterpecahan massa batuan yang sedang hingga tinggi.

Secara visual, permukaan rekahan dideskripsikan sebagai halus bergelombang (smooth undulating) dengan nilai Joint Roughness Coefficient (JRC) berkisar antara 2 hingga 4. Rata-rata bukaan rekahan mencapai 3 mm, yang termasuk dalam kategori rekahan terbuka dan berpotensi menjadi jalur pergerakan air tanah. Material isian rekahan teridentifikasi sebagai lempung dengan ketebalan rata-rata 3 mm. Kehadiran lempung sebagai isian dapat menurunkan kekuatan geser bidang diskontinuitas, sehingga meningkatkan risiko ketidakstabilan lereng. Rata-rata panjang bidang (persistence) sekitar 1 meter, menunjukkan bahwa rekahan memiliki potensi keterhubungan antar bidang yang cukup tinggi. Adapun kondisi air tanah pada saat pengamatan diklasifikasikan sebagai lembab, dengan rembesan ringan namun tanpa adanya aliran aktif atau genangan. Kondisi ini masih tergolong tidak terlalu berisiko terhadap kestabilan.

Dalam upaya mengkuantifikasi kondisi massa batuan, digunakan pendekatan Rock Mass Rating (RMR) berdasarkan klasifikasi Bieniawski (1989). Nilai RMR dasar yang diperoleh pada Blok 24 adalah sebesar 59, yang termasuk dalam kategori Fair Rock. Nilai ini menunjukkan bahwa massa batuan memiliki kualitas sedang—cukup stabil namun tetap memerlukan perhatian, terutama karena nilai Uniaxial Compressive Strength (UCS) yang relatif rendah (5–25 MPa) dan adanya isian lempung pada bidang rekahan. Parameter lain seperti Rock Quality Designation (RQD) yang tinggi (90–100%) dan spasi rekahan yang jarang (0,6–2 m) memberikan kontribusi positif terhadap stabilitas lereng. Selain itu, kondisi rekahan yang tergolong kasar dengan gauge tipis serta kondisi air tanah yang lembab mendukung klasifikasi ini.

Analisis orientasi 32 bidang diskontinuitas yang diamati mengindikasikan keberadaan beberapa kelompok orientasi dominan. Kelompok pertama memiliki orientasi mendekati barat-timur (strike $\pm 80^{\circ}$ – 95°) dengan kemiringan antara 29° hingga 45° , dan kemungkinan merupakan bidang perlapisan yang sejajar lereng. Kelompok kedua memiliki arah strike antara 100° – 125° dengan kemiringan lebih curam (60° – 79°), yang diduga merupakan sistem rekahan sekunder atau hasil aktivitas tektonik lokal. Terdapat pula bidang-bidang lain dengan orientasi acak, namun jumlahnya relatif sedikit. Distribusi orientasi ini penting untuk mengevaluasi potensi pelongsoran. Bidang dengan orientasi sejajar lereng dapat memicu planar failure, sementara perpotongan antara dua sistem rekahan dapat menghasilkan potensi pelongsoran irisan (wedge failure).

Hasil analisis scanline ini memberikan gambaran bahwa lereng Blok 24 memiliki kondisi geoteknik yang cukup kompleks, dengan bidang-bidang diskontinuitas yang secara orientasi, spasi, dan isian memiliki potensi menjadi bidang gelincir aktif. Oleh karena itu, zona ini dianggap sebagai lereng paling kritis di antara blok lainnya, dan dijadikan fokus utama dalam analisis probabilistik kestabilan lereng.

D. Kesimpulan

Karakteristik Geoteknik Lereng High Wall Pit Gunung Turak. Hasil identifikasi dan analisis karakteristik geoteknik pada lereng high wall Pit Gunung Turak menunjukkan bahwa kondisi geologi didominasi oleh tiga litologi utama, yaitu batupasir (sandstone), lanau (claystone), dan batubara (coal). Setiap litologi memiliki sifat fisik dan mekanik yang khas, yang mempengaruhi perilaku kestabilan lereng secara keseluruhan.

Parameter mekanik dari uji laboratorium menunjukkan bahwa: Sandstone memiliki kohesi rata-rata $92,21 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser dalam sebesar $43,58^{\circ}$, yang menunjukkan batuan ini cukup kuat dan stabil secara mekanik. Claystone, meskipun lebih lemah dibanding sandstone, masih memiliki sifat geser yang layak, dengan kohesi $78,60 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser $33,94^{\circ}$. Batubara merupakan litologi terlemah, dengan kohesi $34,00 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser $37,00^{\circ}$, serta berat jenis yang rendah ($\sim 13 \text{ kN/m}^3$), berpotensi menjadi zona lemah dalam lereng.

Struktur geoteknik massa batuan ditandai oleh diskontinuitas yang cukup signifikan, dengan hasil scanline mapping menunjukkan: Strike/dip utama adalah $62^{\circ}/70^{\circ}$, yang dapat membentuk bidang gelincir planar apabila searah dengan arah lereng. Spasi rekahan sebesar 1,2 meter mencerminkan batuan terfragmentasi sedang–tinggi. Permukaan rekahan umumnya halus bergelombang (JRC 2–4) dan diisi oleh material lempung setebal 3 mm, yang berpotensi menurunkan kekuatan geser bidang. Rata-rata panjang (persistence) rekahan sekitar 1 meter, yang menunjukkan kemungkinan konektivitas diskontinuitas yang cukup tinggi. Kondisi air tanah lembab atau rembesan ringan,

sehingga belum menjadi faktor pelemah utama namun tetap berperan dalam perhitungan kestabilan.

Penilaian kualitas massa batuan berdasarkan sistem klasifikasi RMR (Rock Mass Rating) memberikan total skor RMR = 59, yang termasuk kategori Fair Rock atau batuan berkualitas sedang. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun massa batuan secara umum cukup stabil, terdapat potensi ketidakstabilan lokal terutama jika dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti aktivitas peledakan.

Dengan demikian, karakteristik geoteknik lereng High Wall Pit Gunung Turak menunjukkan bahwa secara umum lereng memiliki kestabilan yang moderat, namun sangat bergantung pada orientasi diskontinuitas dan perubahan kondisi tegangan akibat aktivitas tambang, terutama peledakan. Analisis hubungan antara kestabilan lereng dan tingkat getaran akibat peledakan dilakukan dengan pendekatan koefisien beban dinamik horizontal (K_h) dan hasil pengolahan nilai PPV (Peak Particle Velocity) dari kegiatan peledakan. Evaluasi dilakukan pada dua lereng kritis, yaitu Lereng Kode 24 dan Lereng Kode 26. Pada analisis kestabilan lereng menggunakan software Slide dengan metode Morgenstern-Price, dilakukan simulasi iteratif dengan menambahkan beban seismik (dynamic load) dalam bentuk horizontal seismic coefficient (K_h) hingga diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) $\leq 1,3$ sebagai batas aman sesuai Kepmen ESDM. Hasilnya sebagai berikut, Lereng 24: FK menjadi $\leq 1,3$ pada nilai $K_h = 0,09$, Berdasarkan hubungan $K_h = a_{maks} / g \rightarrow a_{maks} = 0,8829 \text{ m/s}^2$, Dari nilai a_{maks} , diperoleh PPV sebesar 19,45 mm/s. Lereng 26: FK menjadi $\leq 1,3$ pada $K_h = 0,08$, maka $a_{maks} = 0,7848 \text{ m/s}^2$, Dikonversi menjadi PPV sebesar 17,28 mm/s.

Data rekapan nilai FK terhadap variasi K_h menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai K_h (semakin besar getaran), maka nilai FK semakin menurun. Sebagai contoh: Pada Lereng 24, FK awal sebesar 1,573 menurun menjadi 1,288 saat $K_h = 0,1$, dan terus menurun menjadi 0,912 saat $K_h = 0,3$, Tren serupa juga terlihat di Lereng 26, di mana FK turun dari 1,564 ($K_h = 0,001$) menjadi 1,267 ($K_h = 0,1$) dan 1,042 ($K_h = 0,2$).

Hal ini membuktikan adanya korelasi antara intensitas getaran (PPV) dan kestabilan lereng (FK). Semakin tinggi getaran yang ditimbulkan dari aktivitas peledakan, semakin besar pengaruhnya terhadap penurunan kestabilan lereng.

Dari hasil ini, nilai PPV ambang batas untuk menjaga FK tetap $\geq 1,3$ dapat direkomendasikan pada kisaran 17–19 mm/s, tergantung kondisi geoteknik masing-masing lereng. Nilai ini menjadi referensi penting dalam pengendalian peledakan, agar tidak menyebabkan potensi longsor pada high wall. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan pendekatan numerik metode Morgenstern-Price pada perangkat lunak Slide v6, serta didukung oleh data geoteknik dan getaran aktual, diperoleh nilai ambang batas getaran (PPV) yang dapat diterima oleh lereng di area high wall Pit Gunung Turak.

Analisis dilakukan dengan input beban dinamik (seismicload) secara iteratif, tanpa memperhitungkan pengaruh tekanan air pori atau beban lainnya. Batas kestabilan lereng ditentukan mengacu pada nilai faktor keamanan (FK) minimum sebesar 1,3 sesuai dengan ketentuan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018.

Dari simulasi tersebut, diketahui bahwa: Lereng Blok 24 menunjukkan penurunan nilai FK hingga mencapai batas minimum 1,3 saat nilai koefisien horizontal dinamik (k_h) = 0,09, yang ekuivalen dengan PPV sebesar 19,445252 mm/s pada lereng. Lereng Blok 26 mencapai ambang FK = 1,3 pada nilai $k_h = 0,08$, yang setara dengan PPV sebesar 17,28466845 mm/s pada lereng.

Ucapan Terimakasih

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan atas segala limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini.

Terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan segala upaya dan jerih payah yang tiada tara kepadaku anakmu ini.

Terima kasih kepada keluarga besar yang menyemangati penyusun dari awal hingga akhir masa perkuliahan.

Dan terima kasih kawan seperjuangan yang telah menemani dan menyemangati penyusun dari awal hingga akhir masa perkuliahan. Dimanapun kalian berada jangan pernah saling melupakan dan tetap menjadi keluarga tambanga 2020.

Daftar Pustaka

- Embun Alicia Amoret, Yunus Ashari, & Dono Guntoro. (2024). Evaluasi K3 dengan Metode Analytic Hierarchy Process pada PT. Silva Andia Utama. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 116–124. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5213>
- Muhammad Fawwaz Mursyid, Noor Fauzi Isniarno, & Zaenal. (2024). Kajian Teknis Dimensi Sump dan Kebutuhan Pompa pada Penyaliran Tambang Terbuka PT. XYZ. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 171–182. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5282>
- Rosdiana, H., Ashari, Y., & Fauzi Isniarno, N. (2025). *Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kegiatan Pemompaan pada Sump Berdasarkan Water Balance di PT XYZ A B S T R A K*. <https://journal.sbpubliher.com/index.php/minetech>
- Hoek, E., & Bray, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering* (3rd ed.). London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E., & Brown, E.T. (1997). *Practical Estimates of Rock Mass Strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), 1165– 1186.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. New York: Wiley-Interscience.
- Rocscience Inc. (2022). *Slide v6.0 – Limit Equilibrium Slope Stability Analysis Software – User Manual*. Toronto, Canada: Rocscience Inc.
- (Digunakan untuk metode Morgenstern-Price, input seismic load/kh, dan model kestabilan lereng).
- Dowding, C.H. (1985). *Blast Vibration Monitoring and Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. (Sumber utama teori PPV dan hubungannya dengan jarak dan muatan bahan peledak per delay).
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., & Dowding, C.H. (1980). *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*. U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 8507.
- ISRM (1978). *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15(6), 319–368.
- (Digunakan untuk parameter scanline mapping dan RQD). ASTM D6032-02. (2014). *Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- (Digunakan untuk pendekatan RQD pengukuran diskontinuitas)
- Singh, B. & Goel, R.K. (1999). *Rock Mass Classification: A Practical Approach in Civil Engineering*. Elsevier.

- SNI 7571-2010. (2010). Perencanaan Teknis Peledakan Tambang Terbuka dan Terowongan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. (2018). Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Londe, P. (1973). Seismic Stability of Embankment Dams. Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, ASCE.