

Pengaruh Parameter Geoteknik Hasil Pengeboran terhadap Desain Tambang di PT. Insani Baraperkasa, Kutai Kartanegara

Rahmat Rahman¹, Albertus Juvensius Pontus², Agus Winarno³

^{1,2,3} Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

Korespondensi Penulis : rahmatrahman900@gmail.com

Abstract. Mining with an open pit system is carried out by excavating and removing the overburden to obtain coal. However, before mining, it is important to obtain geotechnical data information. As well as the lithology of the rocks below the surface, it is necessary to carry out geotechnical drilling (full coring). This study can determine the value of slope geometry safety factors and plan safe slope geometry, both individual slopes and overall slopes. Therefore, this was done to determine the influence of GSI geotechnical parameters on the value of static and dynamic slope safety factors. The method used in determining the safety factor and the probability of an avalanche is the Morgenstern-Price boundary equilibrium method with the Generalized Hoek-Brown collapse criterion in static and dynamic slope conditions. The input parameters used in the analysis were natural density, compressive strength value (UCS), geological strength index (GSI), disturbance factor (D), intact rock constant (m_i), as well as seismic load factor, and groundwater level. The optimal geometry on the Highwall slope is the configuration of the Highwall slope with a height of 74 m and an angle of 23°, supported by a single slope of 5-10 meters, a berm of 7 meters with an angle of 40°. Seam D Claystone lithology with GSI 50, Siltstone with GSI 70, Sandstone with GSI 70, and Seam E Claystone lithology with GSI 50, Siltstone with GSI 40, Sandstone with GSI 75. Can be applied within a safe limit where FK Static 1.7 PK Static 0% and FK Dynamic 1.4 PK Dynamic 6%.

Keywords: Slope Stability, Safety Factor, Geological Strength Index (GSI), Landslide Probability, Morgenstern-Price, Generalized Hoek-Brown

Abstrak. Penambangan dengan sistem penambangan terbuka (Open Pit) dilakukan dengan cara penggalian dan pemindahan lapisan penutup (overburden) untuk memperoleh batubara. Akan tetapi, sebelum dilakukan penambangan, penting untuk memperoleh informasi data geoteknik. Serta litologi batuan yang ada di bawah permukaan, maka perlu dilakukan pengeboran geoteknik (*full coring*). Penelitian ini dapat menentukan nilai faktor keamanan geometri lereng dan merencanakan geometri lereng yang aman, baik lereng individual maupun lereng keseluruhan. Oleh karena ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter geoteknik GSI terhadap nilai faktor keamanan lereng statis dan dinamis. Metode yang digunakan dalam menentukan faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran yaitu metode kesetimbangan batas *Morgenstern-Price* dengan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* pada kondisi lereng statis dan dinamis. Parameter masukan yang digunakan dalam analisis yaitu natural density, nilai kuat tekan (UCS), *geological strength index* (GSI), *disturbance factor* (D), konstanta batuan utuh (m_i), serta faktor kegempaan (*seismic load*), dan muka air tanah. Geometri optimal pada lereng *Highwall* yaitu konfigurasi lereng *Highwall* dengan tinggi 74 m dan sudut 23°, ditunjang dengan lereng tunggal 5-10 meter, berm 7 meter dengan sudut 40°. Seam D litologi Claystone dengan GSI 50, Siltstone dengan GSI 70, Sandstone dengan GSI 70, dan pada Seam E Litologi Claystone dengan GSI 50, Siltstone dengan GSI 40, Sandstone dengan GSI 75. Dapat diaplikasikan dalam batas yang masih aman dimana FK Statis 1,7 PK Statis 0% dan FK Dinamis 1,4 PK Dinamis 6%.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, *Geological Strength Index* (GSI), Probabilitas Kelongsoran, *Morgenstern-Price*, *Generalized Hoek-Brown*

1. PENDAHULUAN

PT. Insani Baraperkasa merupakan perusahaan yang bergerak pada industri tambang batubara di Indonesia yang terletak pada daerah Loa Janan, Kutai Kartanegara, Kalimantan timur. Penambangan dengan sistem penambangan terbuka (Open Pit) Sistem ini dilakukan dengan cara penggalian dan pemindahan lapisan penutup (overburden) untuk memperoleh batubara. Akan tetapi, sebelum dilakukannya penggalian, penting untuk memperoleh informasi keterdapatan batubara di bawah permukaan. Informasi mengenai keterdapatan dan sebaran

batubara di bawah permukaan dapat diperoleh melalui tahapan eksplorasi meliputi pengeboran (*Full Coring*) dan metode *well logging*.

Geoteknik pertambangan berkaitan erat dengan pemahaman tentang struktur geologi yang ada di lokasi tambang dan bagaimana sifat-sifat tanah serta batuan tersebut dapat mempengaruhi desain, pelaksanaan, dan keselamatan operasional tambang. Salah satu tantangan utama dalam pertambangan adalah mengelola stabilitas lereng, penurunan tanah, serta dampak terhadap lingkungan sekitar yang sering terjadi akibat proses ekstraksi material. Parameter geoteknik, seperti kekuatan geser, kohesi, porositas, permeabilitas, dan kepadatan tanah dan batuan, memegang peranan penting dalam menilai potensi risiko geoteknik yang dapat timbul selama proses pertambangan. Misalnya, stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh sifat tanah dan batuan yang ada, serta tekanan yang diberikan oleh aktivitas pertambangan.

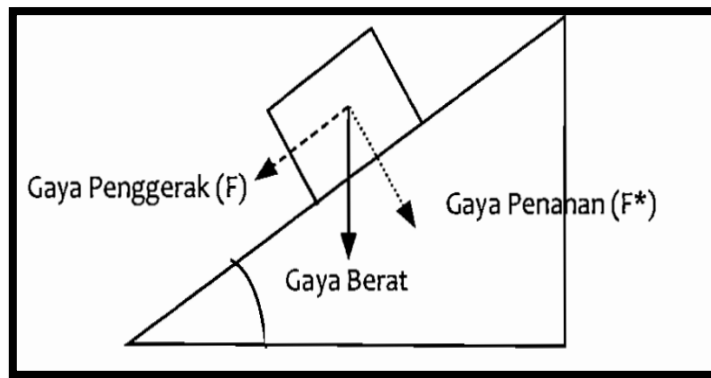
Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dapat menentukan nilai faktor keamanan berdasarkan geometri lereng dan merencanakan geometri lereng yang aman, baik lereng individual maupun lereng keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter geoteknik GSI (*Geological Strength Index*) terhadap nilai faktor keamanan lereng statis dan dinamis sesuai standar pada kepmen ESDM 1827 K/30/MEM/2018.

2. KAJIAN PUSTAKA

Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah yang memiliki kemiringan tertentu dan membentuk sudut terhadap bidang horizontal (Das, 2007). Lereng dapat terbentuk secara alami maupun akibat aktivitas manusia. Berdasarkan jenisnya, lereng terbagi menjadi tiga, yaitu: (a) lereng alami yang terbentuk akibat proses alam, seperti lereng di pegunungan dan perbukitan; (b) lereng yang dibuat pada tanah asli, misalnya hasil penggalian untuk pembangunan jalan dan saluran irigasi; serta (c) lereng yang dibangun dari tanah yang dipadatkan, seperti tanggul atau bendungan dari timbunan tanah.

Kestabilan Lereng



Gambar 1 Faktor Keamanan Sederhana (Arif, 2016)

Gambar 1 dapat dilihat bahwa gaya yang bekerja pada suatu lereng adalah gaya berat, kemudian dihasilkan gaya penggerak dan gaya penahan. Untuk menjaga agar benda di lereng tidak jatuh (failure), diperlukan perhitungan terhadap kemiringan sesuai dengan faktor keamanan yang diinginkan. Apabila nilai FK untuk suatu lereng $> 1,0$ (gaya penahan $>$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Namun apabila harga $F < 1,0$ (gaya penahan $<$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsor pada lereng tersebut (Arif, 2016).

Sifat Fisik Batuan dan Mekanik Batuan

Menurut Rai, dkk (2013) tanah dan batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui yang dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Paramater umum pada sifat fisik adalah kadar air, bobot isi, berat jenis, porositas, dan void ratio. Sedangkan untuk sifat mekanik parameternya berupa kuat tekan, kohesi, dan sudut geser dalam. Pertama-tama adalah penentuan sifat fisik batuan yang merupakan uji tanpa merusak (*non destructive test*). Adapun menurut Hardiyatmo (2002), antara lain :

Uji Kuat Geser Langsung (*Direct shear Test*)

Menurut Budi (2011) pada pengujian *direct shear* kekuatan geser tanah diperoleh dengan cara menggeser contoh tanah yang diberi beban normal (N). Hubungan antara besarnya gaya geser (T) dan beban normal (N) dipresentasikan dalam grafik untuk menentukan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ). Agar diperoleh hasil yang akurat, maka pengujian dilakukan minimum 3 kali dengan beban normal yang berbeda-beda.

UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Uji tekan dilakukan untuk mengukur kuat tekan uniaksial (*Unconfined Comprehensive Strength Test – UCS Test*) dari sebuah contoh batuan berbentuk silinder dalam satu arah (uniaksial). Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dan dalam pembebanannya mengikuti standar dari International Society For Rock Mechanics

(ISRM, 1981) (Arif, 2016).

Longsor Busur (*Circular Failure*)

Bentuk sebenarnya dari permukaan longsor busur dipengaruhi oleh kondisi geologi lereng tersebut. Contohnya, pada lereng homogen yang lunak atau pada batuan lapuk, atau lereng timbunan, longosran cenderung dangkal dan luas radius permukaan longsor melebar dari *tension crack* pada bagian belakang *crest* hingga kaki lereng tersebut. Hal tersebut berkebalikan dengan longsor pada kohesi yang tinggi dengan sudut geser dalam rendah seperti pada lempung dimana permukaan longosran dapat lebih dalam dengan radius longosran yang lebih kecil hingga kaki lereng (Wyllie dan Mah, 2004).

Pengeboran Geoteknik

Pengeboran geoteknik dilakukan untuk mengetahui strata atau per lapisan tanah dan batuan dibawah permukaan bumi, jenis, serta kondisi tanah dan batuan pada daerah yang akan diteliti (Arif, 2021).

Rock Quality Designation (RQD)

RQD (*Rock Quality Designation*) dikemukakan oleh Deere (1964) sebagai nilai dari kualitas massa batuan pada inti logbor. RQD (*Rock Quality Designation*) dihitung dengan mengukur panjang semua bagian inti dalam lintasan bor dengan panjang lebih dari 100 mm, mengurangi fraktur akibat pengeboran. Panjang ini kemudian dijumlahkan dan dinyatakan sebagai persentase total panjang kemajuan pengeboran (Zhang, 2016).

Geological Strength Index (GSI)

Menurut Marinos dkk (2005), *Geological Strength Index* (GSI) merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai massa batuan dengan penilaian visual di lapangan yang didasarkan pada parameter litologi, struktur, dan kondisi permukaan diskontinuitas. Penilaian secara visual dapat dilakukan pada singkapan, penggalian permukaan, dan inti bor. Penilaian Geolo *Geological Strength Index* (GSI), menggabungkan 2 (dua) parameter utama, yaitu struktur dari sifat blok dan kondisi permukaan berdasarkan dari pengamatan struktur (ukuran blok dan bentuk) dan kondisi permukaan diskontinuitas (pelapukan, derajat kekerasan, dan alterasi).

Kriteria Keruntuhan

Teori ini disuguhkan oleh *Mohr* pada tahun 1980 tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Jadi, hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan (Braja, 1985).

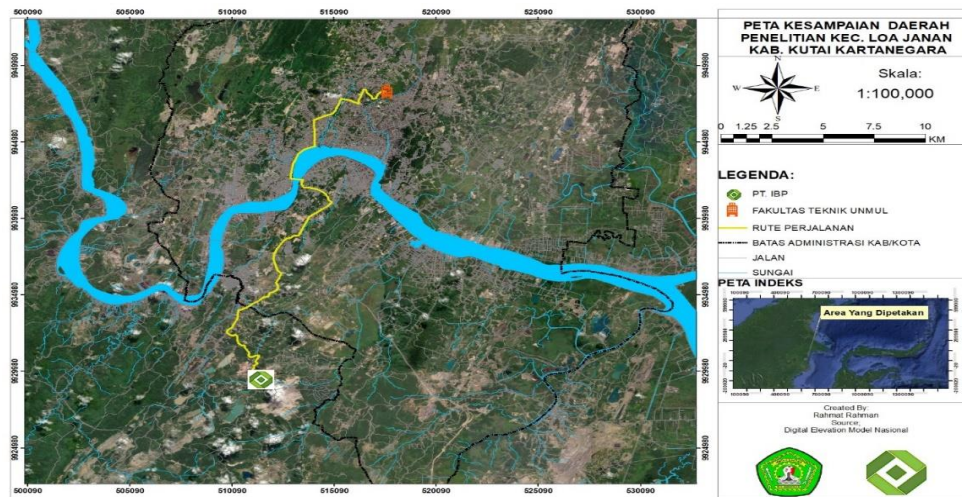
3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada 19 November 2024 sampai dengan 17 Januari 2025. penelitian ini dilakukan di PT. Insani Baraperkasa dan berlokasi di Desa Tani Bakti, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

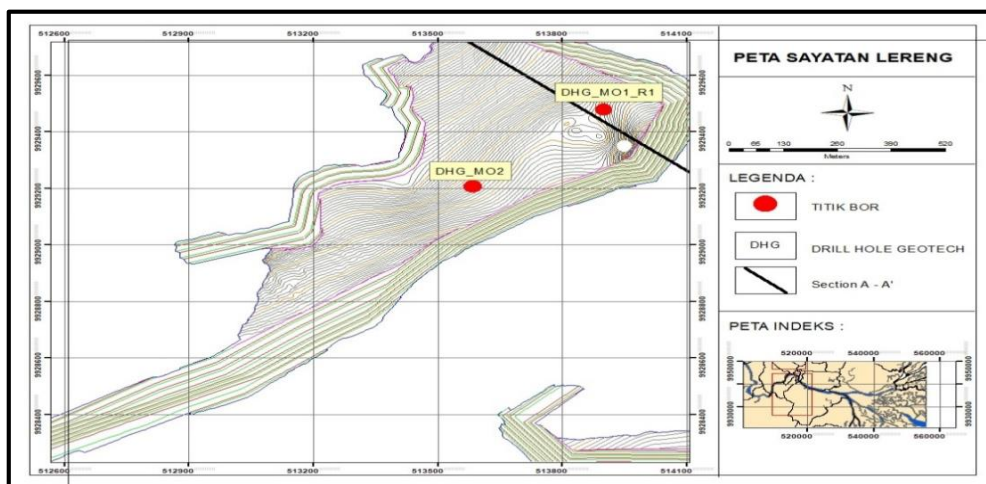
Secara geografis, Lokasi Kerja di PT. Insani Baraperkasa Terletak pada posisi $00^{\circ} 38' 13.64''$ - $00^{\circ} 39' 33.86''$ Lintang Selatan dan $117^{\circ} 05' 52.71''$ - $117^{\circ} 07' 34.63''$ Bujur Timur. Untuk menuju lokasi PT. Insani Baraperkasa, dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat dari kota Samarinda dengan akses jalan darat. Jarak yang ditempuh untuk mencapai lokasi PT. Insani Baraperkasa, yaitu ± 20 km dengan lama perjalanan ± 50 menit. Peta kesampaian daerah PT. Insani Baraperkasa tercantum pada Gambar

Gambar 2 Peta Kesampaian Daerah



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampang



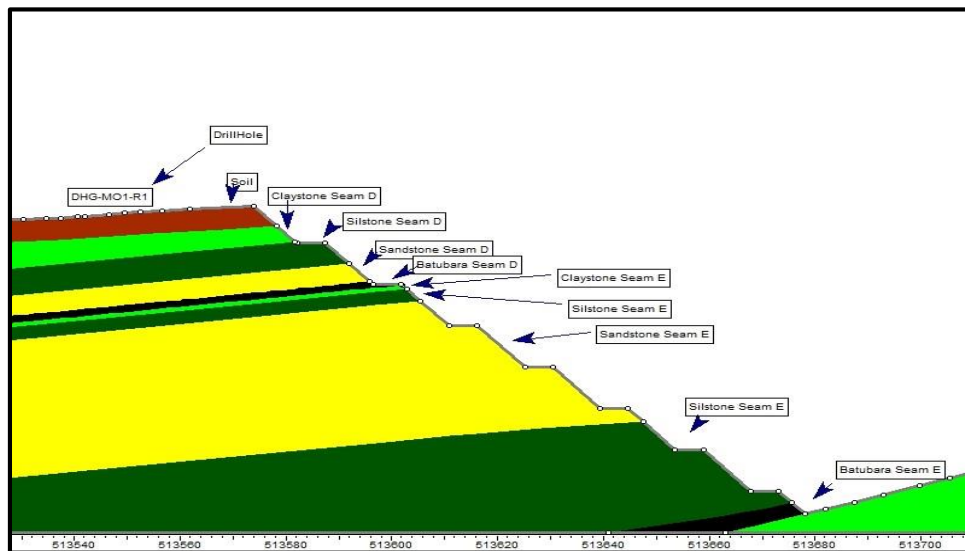
Gambar 3 Peta Sayatan Lereng

Stratigrafi batuan pada masing-masing penampang dimodelkan dengan bantuan

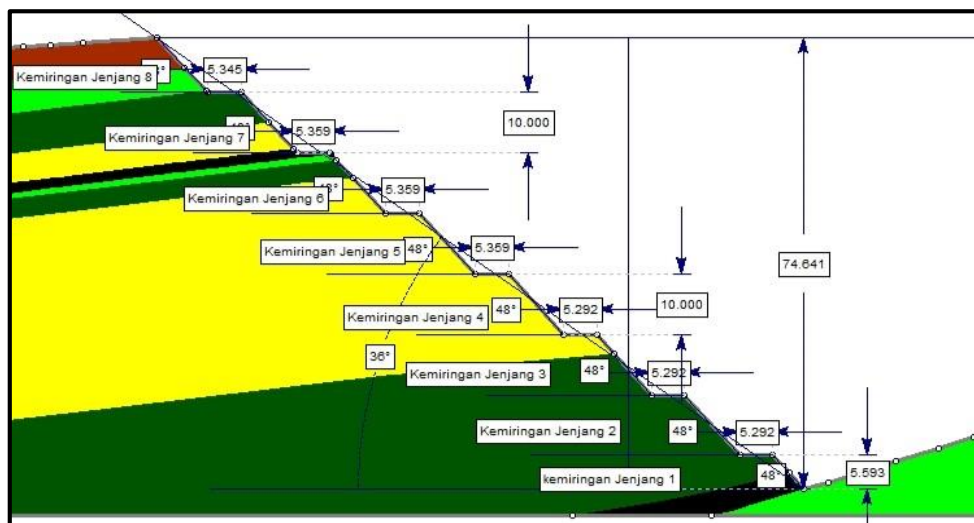
software berdasarkan sebaran titik bor eksplorasi dan titik bor geoteknik terdekat dengan garis penampang yang dikorelasikan antar titik bor satu dengan lainnya. Dalam pemodelan lereng digunakan hasil pemodelan final pit dari Engineering Department PT. Insani Baraperkasa. Stratigrafi sepanjang penampang menerus sesuai dengan korelasi stratigrafi antar lubang bor. Penampang stratigrafi dapat menggambarkan kondisi litologi pada pit mahakam secara vertikal sehingga dapat terlihat batas topografi, lereng desain pit, dan kondisi perlapisan batuan. Penampang yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng *highwall* A-A' Penarikan garis penampang dapat dilihat pada Gambar 2 Peta Sayatan Lereng.

Geometri Lereng

Geometri Hasil dari stratigrafi penampang seperti pada Gambar 4 maka selanjutnya diketahui geometri aktual lereng *highwall* pada Gambar 5.



Gambar 4 Stratigrafi Penampang A-A'



Gambar 5 Geometri lereng *highwall* section A-A'

Pada Gambar 4 merupakan geometri aktual lereng *highwall* pada *section* A-A'

Diketahui tinggi jenjang pertama 5 meter dan memiliki tinggi 5-10 meter dan jenjang berikutnya memiliki tinggi yang sama dengan tinggi lereng keseluruhan 75 meter. Lebar *berm* pada jenjang juga sama yaitu meter. Kemiringan lereng tunggal pada section A-A' yaitu 50° dan lereng keseluruhan sebesar 36° .

Tabel 1 Geometri Lereng *Highwall*

Section	Geometri Single Slope			Geometri Overall slope	
	Tinggi(m)	Lebar Berm(m)	Sudut($^\circ$)	Tinggi(m)	Sudut($^\circ$)
A-A'	5-10	5	50	75	36

Parameter Analisis

Dalam analisis kestabilan lereng Dalam analisis kestabilan lereng *highwall* dan metode yang digunakan yaitu metode Morgenstren-Price dengan kriteria keruntuhan batuan *Generalized Hoek - Brown* dan *Mohr-coulumb*. Parameter masukan yang digunakan dalam kriteria keruntuhan *Generalized Hoek- Brown* dan *Mohr-coulumb* yaitu sifat fisik berupa bobot isi natural dan bobot isi jenuh, sifat mekanik batuan berupa nilai uji kuat tekan (*Unconfined Compressive Strength/UCS*), *geological strength index* (GSI), *disturbance factor* (D), konstanta batuan utuh (mi).

Sifat Fisik Batuan

Data sifat fisik batuan diperoleh dari hasil laboratorium PT Quantus Consultants Indonesia pada tahun 2022. Material batuan penyusun lereng yang dilakukan pengujian laboratorium berupa sampel batupasir, batulanau, batulempung dan batubara, hasil uji laboratorium secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil Uji Laboratorium PT Quantus Consultants Indonesia.

Sifat mekanik Batuan

Pengujian sifat mekanik pada material batupasir, batulempung, batulanau, dan batubara yaitu menggunakan (*unconfined compressive strength/ UCS*). Adapun nilai (*unconfined compressive strength/ UCS*). Tiap litologi terdapat pada lampiran B.

Tabel 2 Nilai UCS (*unconfined compressive strength*) Untuk Seam D & E

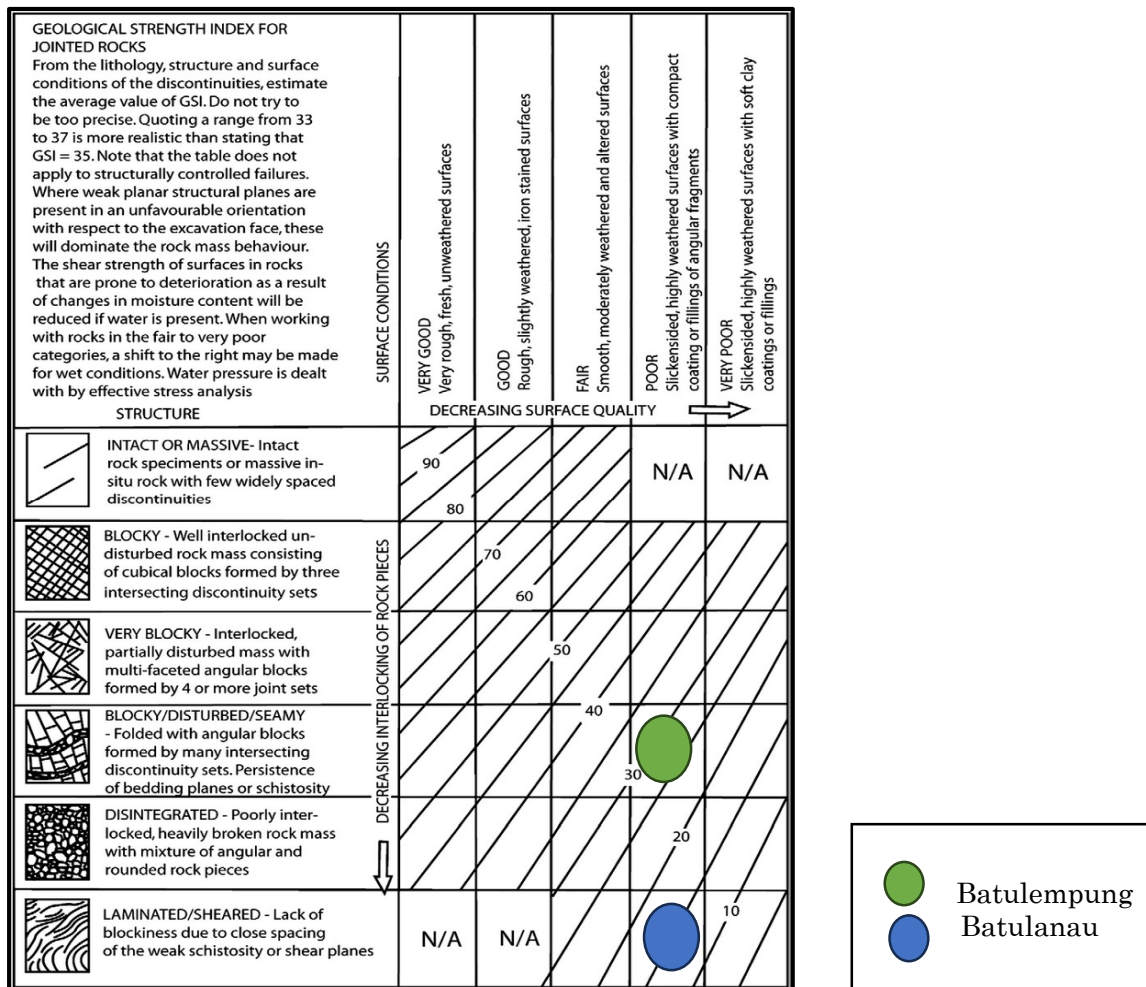
	Litologi	UCS(Mpa)	Ucs (Kpa)
Seam D	Claystone	2,917	2917
	Silstone	2,6345	2634
	Sandstone	0,063	63
Seam E	Claystone	2,6345	2634
	Silstone	2,113	2113
	sandstone	0,86	860

Parameter Geological Strenght Index (GSI)

Geological Strength Index (GSI) merupakan suatu parameter geoteknik yang digunakan untuk memperkirakan kekuatan batuan di lapangan dalam kondisi geoteknik tertentu. Nilai GSI berkisar dari 0 hingga 100. Semakin tinggi nilai GSI, maka kekuatan batuan akan semakin baik.

Adapun nilai GSI pada batupasir, batulempung, dan batulanau yaitu sebagai berikut:

- Berdasarkan pengamatan di lapangan, pada batupasir (*sandstone*) saat melakukan pengeboran geoteknik full coring terjadi coreloss sepanjang lubang bor terkhusus pada batupasir (*sandstone*)
- Pada batulempung (*claystone*) berdasarkan pengamatan dilapangan struktur yang terlihat berbentuk very blocky terdapat beberapa joint set pada batuan dengan kondisi permukaan batuan yang baik hingga sedang (tidak lapuk) diperoleh nilai GSI bervariasi dari 45-55.
- pada batulanau (*Silstone*) berdasarkan pengamatan dilapangan struktur yang terlihat berbentuk laminasi permukaan batuan yang sedang(tidak lapuk) diperoleh GSI 20-30.



Gambar 6 Nilai *Geological Strength Index* (GSI)

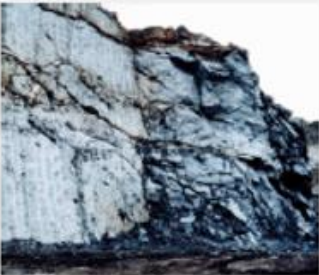


Dalam memudahkan penentuan nilai GSI pada setiap jenis litologi, maka diperoleh

rata- rata nilai GSI pada lubang bor DH-MO1-RI yaitu 20, 30, 40 untuk keseluruhan material baik *claystone*, *siltstone*, dan *sandstone*. Penentuan nilai GSI lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Parameter Faktor Ketergangguan / *Disturbance Factor* (D)

Nilai faktor ketergangguan atau *disturbance factor* (D) mengacu pada tabel Hoek dan Marinos (2000), di mana nilai D memiliki rentang 0 hingga 1. Nilai ketergangguan ditentukan dengan melihat proses pemberaian material menggunakan peledakan dan peralatan mekanis. Adapun penentuan nilai faktor *disturbance factor* (D) pada Tabel 3

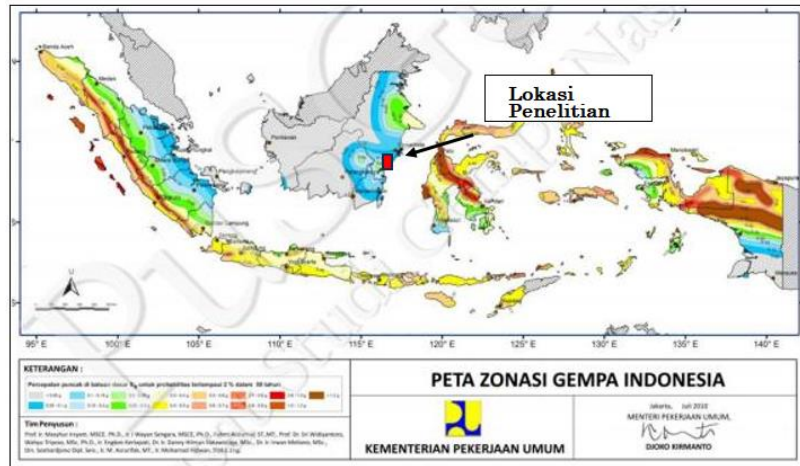
Tabel 3 Nilai Faktor Ketergangguan/ *Disturbance Factor* (D)

	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D=0.7 Good Blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.	D=1.0 Production Blasting
	In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D=0.7 Mechanical Excavation

Berdasarkan Tabel 3 yang ditandai dengan kotak berwarna merah tersebut menunjukkan kondisi pemberaian material pada lereng tambang terbuka dengan menggunakan peralatan mekanis memiliki nilai faktor ketergangguan/ *disturbance factor* sebesar 0,7. Pada lokasi penelitian di Pit Mahakam Site PT. Insani Baraperkasa proses pemberaian material menggunakan peralatan mekanis berupa excavator dan bulldozer.

Nilai Koefisien Gempa (*seismic load*)

Pada analisis kestabilan lereng untuk mengetahui faktor keamanan pada kondisi dinamis digunakan parameter koefisien gempa (*seismic load*). Acuan nilai *seismic load* berdasarkan Peta Zona Gempa Indonesia pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Nilai Koefisien Gempa

Muka Air Tanah (MAT)

Pada analisis kestabilan lereng, untuk mengetahui pengaruh air maka pada model ditunjukkan dengan garis muka air tanah. Pengaruh air pada massa batuan yaitu menambah massa jenis batuan sehingga beban yang harus diterima oleh lereng akan bertambah dan air menyebabkan menurunnya kekuatan massa batuan karena memperbesar tekanan air pori. Tabel acuan penentuan muka air tanah berdasarkan tabel Hoek and Bray (1981) berikut pada Chart No. 5.

Tabel 4 Kondisi Muka Air Tanah

Ground water flow conditions	Chart number
Fully drained slope	1
Surface water 8x slope height behind toe of slope	2
Surface water 4x slope height behind toe of slope	3
Surface water 2x slope height behind toe of slope	4
Saturated slope subjected to heavy surface recharge	5

Tidak melakukan pengukuran level muka air tanah ketika melakukan pengeboran, jadi yang digunakan jenuh secara keseluruhan (kondisi ekstrem). $R_u = 0,3$ yang digunakan pada penelitian ini, dikarenakan tempat penelitian yaitu pengeboran geoteknik berada di lokasi sawit.

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (*single slope*)

Analisis kestabilan lereng tunggal menggunakan 3 asumsi untuk nilai GSI untuk lereng tunggal, yaitu 30, 40, dan 50. Analisis lereng tunggal dilakukan dengan memodelkan geometri lereng pada seluruh material penyusunnya, yaitu batulempung (*claystone*), batupasir (*sandstone*), batulanau (*siltstone*) dan batubara (*coal*), kemudian dilakukan dengan sudut lereng 50°. Data laboratorium yang digunakan untuk pemodelan lereng tunggal adalah nilai *Direct Shear* dan *Unconfined Compressive Strength* (UCS) .

Ambang batas yang dapat diterima untuk kestabilan lereng tunggal berdasarkan Kepmen ESDM 1827 K/MEM/2018 yaitu FK Statis 1,1 dan probabilitas kelongsoran maksimal pada 25-50%, dalam analisis ini probabilitas kelongsoran maksimum lereng tunggal yang digunakan yaitu 25%. Secara lengkap hasil analisis kestabilan lereng tunggal dapat dilihat pada Lampiran D Ringkasan analisis lereng tunggal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5 Claystone Seam D & E Desain Tambang Berdasarkan GSI sudut kemiringan 50°

Claystone Seam D									
Tinggi	Sudut(°)	Lebar Berm(m)	GSI	FK(Mean) Statis	PK Statis	Kondisi	FK(Mean) Dinamis	PK Dinamis	Kondisi
10m	50	5	30	2	10%	Stabil	1	32%	kritis
			40	2	7,00%	Stabil	1,2	23,00%	Stabil
			50	1,785	3%	Stabil	1,398	1,56%	Stabil

Tabel 6 Siltstone Seam D & E Desain Tambang Berdasarkan GSI Sudut Kemiringan 50°

Claystone Seam E									
Tinggi	Sudut(°)	Lebar Berm(m)	GSI	FK(Mean) Statis	PK Statis	Kondisi	FK(Mean) Dinamis	PK Dinamis	Kondisi
10m	50	5	30	2	0%	Stabil	1	56%	Tidak Stabil
			40	2	0,00%	Stabil	1,3	0,00%	Stabil
			50	2,8	0%	Stabil	1,4	0,00%	Stabil

Tabel 7 Sandstone Seam E Desain Tambang Berdasarkan GSI Dan Sudut Kemiringan 50°

Siltstone Seam D									
Tinggi	Sudut(°)	Lebar Berm(m)	GSI	FK(Mean) Statis	PK Statis	Kondisi	FK(Mean) Dinamis	PK Dinamis	Kondisi
10m	50	5	30	1	12%	Stabil	1	100%	Tidak Stabil
			40	2	2,60%	Stabil	0,7	100,00%	Tidak Stabil
			50	1,6	0%	Stabil	0,8	96,00%	Tidak Stabil

Siltstone Seam E									
Tinggi	Sudut(°)	Lebar Berm(m)	GSI	FK(Mean) Statis	PK Statis	Kondisi	FK(Mean) Dinamis	PK Dinamis	Kondisi
10m	50	5	30	2	1%	Stabil	1	79%	Tidak Stabil
			40	2	0,00%	Stabil	1	45,00%	Tidak Stabil
			50	2,2	0%	Stabil	1,2	20,80%	Stabil

Sandstone Seam E									
Tinggi	Sudut(°)	Lebar Berm(m)	GSI	FK(Mean) Statis	PK Statis	Kondisi	FK(Mean) Dinamis	PK Dinamis	Kondisi
10m	50	5	30	1	0%	Stabil	1	100%	Tidak Stabil
			40	2	0,00%	Stabil	0,8	100,00%	Tidak Stabil
			50	2	0%	Stabil	0,9	100,00%	tidak Stabil

Berdasarkan Tabel 5, 6, dan 7 di atas, hasil analisis menunjukkan sudut lereng pada desain tambang dengan 50° tidak dapat diaplikasikan pada desain tambang karena pengaruh

GSI rendah menunjukkan kondisi kritis, dan pada sudut lereng lebih landai.

Analisis Kestabilan lereng *Highwall*

Analisis kestabilan lereng *highwall* menggunakan section A-A' dalam kondisi statis dan dinamis. Ambang batas nilai faktor keamanan lereng keseluruhan yaitu 1,3 dan probabilitas kelongsoran <10% berdasarkan kriteria keparahan longsor kategori Menengah Kepmen ESDM 1827K Tahun 2018. Faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran lereng awal sebelum dilakukan perbaikan desain yaitu sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan Highwall Desain Tambang

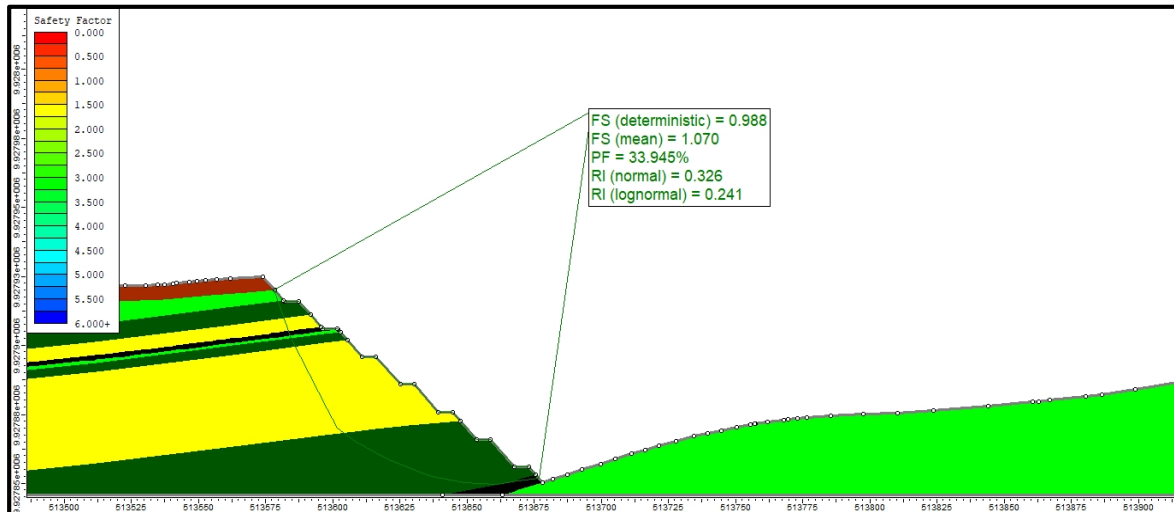
Kondisi Lereng Desain												
SECTION A-A'												
Litologi	GSI	Geometri Single Slope			Geometri Overall slope							
		Tinggi (m)	Berm(m)	Sudut(°)	Tinggi (m)	Sudut(°)	FK Statis	PK Statis	Kondisi	FK Dinamis	PK Dinamis	Kondisi
Seam D	Claystone	50	5-10	5	75	36	1	33%	Tidak Stabil	1	47%	Tidak Stabil
	Siltstone	70										
	Sandstone	70										
Seam E	Claystone	50										
	Siltstone	30										
	Sandstone	75										
Seam D	Claystone	50					1,2	16%	Kritis	1,1	24%	Tidak Stabil
	Siltstone	70										
	Sandstone	70										
Seam E	Claystone	50										
	Siltstone	40										
	Sandstone	75										
Seam D	Claystone	50					1,5	6%	Stabil	1,3	12%	Kritis
	Siltstone	70										
	Sandstone	70										
Seam E	Claystone	50										
	Siltstone	50										
	Sandstone	75										

Berdasarkan Tabel 8, kondisi awal menunjukkan lereng pada section A-A' dalam kondisi kritis dan tidak stabil sehingga perlu dilakukan perbaikan agar lereng tetap dalam kondisi stabil.

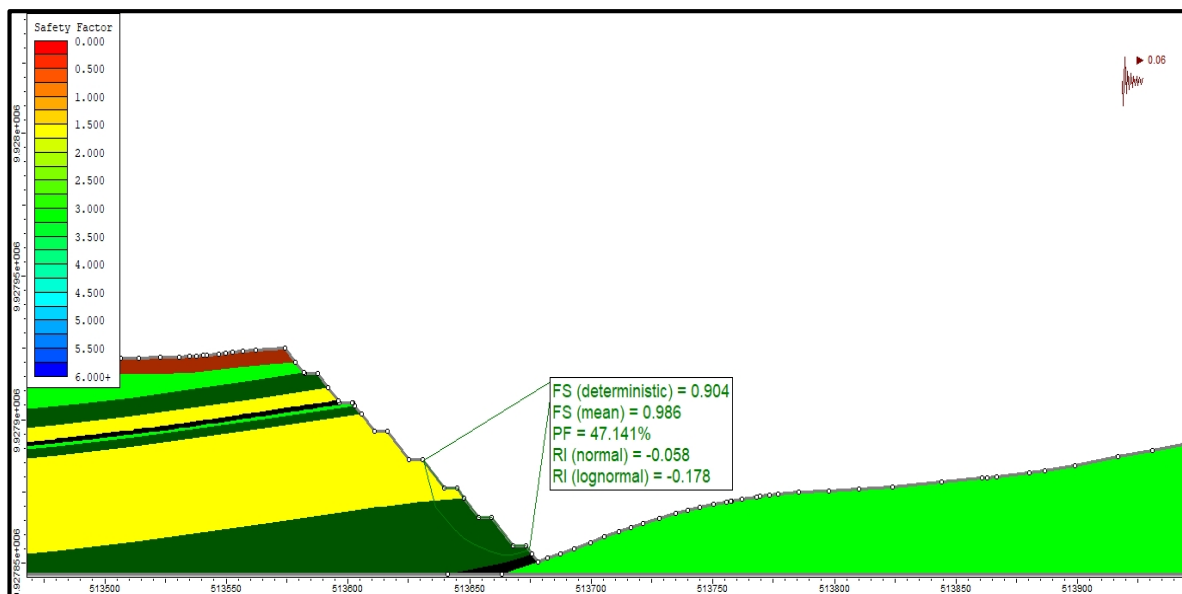
Adapun hasil analisis section desain awal yaitu sebagai berikut:

Hasil Analisis Pada Section A-A'

Dilakukan analisis faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran pada desain lereng tambang section A-A' dalam kondisi statis dan dinamis dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 8 FK dan PK Section A-A' Desain Awal pada Kondisi Statis



Gambar 9 FK dan PK Section A-A' Desain Awal pada Kondisi Dinamis

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9, diketahui bahwa geometri lereng pada section A-A' memiliki tinggi lereng keseluruhan yaitu 75 meter dengan sudut lereng keseluruhan 36° , geometri tersebut ditunjang dengan lereng tunggal dengan tinggi 5-10 meter, sudut lereng tunggal 48° dan lebar berm 5 meter. Section A-A' pada kondisi statis diperoleh nilai faktor keamanan statis sebesar 1 dengan probabilitas kelongsoran 33% dan pada kondisi dinamis diperoleh nilai FK sebesar 0,986 dengan nilai PK 47%. Berdasarkan kriteria tingkat keparahan longsor kategori tinggi Kepmen ESDM 1827K 2018, section A-A' menunjukkan kondisi tidak stabil sehingga diperlukan perbaikan geometri untuk memperoleh kondisi aman dan stabil.

Rekomendasi Lereng Single Slope

Perbaikan desain lereng tunggal dengan tinggi 10 meter dengan variasi sudut 35° , 40° , 45° dan lebar berm 5 meter dan GSI yang bervariasi 30, 40 dan 50. Secara lengkap hasil analisis

perbaikan geometri lereng tunggal dapat dilihat pada Lampiran D.

Rekomendasi Lereng Keseluruhan *Highwall*

Tabel 9 Rekomendasi Geometri Lereng Keseluruhan Highwall dengan
Tinggi Lereng Tunggal 5-10 m

Setelah perbaikan Lereng Desain																							
SECTION A-A'																							
Litologi		GSI	Geometri Single Slope			Geometri Overall slope																	
			Tinggi (m)	Berm(m)	Sudut(°)	Tinggi (m)	Sudut(°)	FK Statis	PK Statis	Kondisi	FK Dinamis	PK Dinamis	Kondisi										
Seam D	Claystone	50	5-10	7	40	74	23	1,4	8%	Stabil	1,2	20%	Kritis										
	Siltstone	70																					
	Sandstone	70																					
Seam E	Claystone	50																					
	Siltstone	30																					
	Sandstone	75																					
Seam D	Claystone	50								5-10				7	40	74	23	1,7	0%	Stabil	1,4	6%	Stabil
	Siltstone	70																					
	Sandstone	70																					
Seam E	Claystone	50																					
	Siltstone	40																					
	Sandstone	75																					
Seam D	Claystone	50	5-10	7	40	74	23	1,9	0%		Stabil	1,7	0%							Stabil			
	Siltstone	70																					
	Sandstone	70																					
Seam E	Claystone	50																					
	Siltstone	50																					
	Sandstone	75																					

Perbaikan desain lereng keseluruhan pada *highwall* ditunjang oleh lereng tunggal tinggi 10 meter dengan sudut 40° dan lebar berm 7 meter. Secara lengkap hasil analisis perbaikan geometri lereng *highwall* dapat dilihat pada Lampiran E

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai GSI pada lubang bor DHG-MO1-R1 bervariasi, yaitu pada kedalaman 5,50-64 meter untuk Batulempung (Claystone) sebesar 45-55, kedalaman 18,45-20,05 meter untuk Batubara (Coal) sebesar 50-60, dan kedalaman 21,30-66,65 meter untuk Batulanau (Siltstone) sebesar 15-30. Desain tambang untuk single slope memiliki sudut 50°, tinggi 10 meter, dan berm 5 meter dengan variasi GSI 30, 40, dan 50. Untuk Batulempung (Claystone), Seam D memiliki FK statis berkisar 1,6-1,7 dan FK dinamis 1-1,3, sedangkan Seam E memiliki FK statis 2-2,8 dan FK dinamis 1,1-1,4. Pada Batulanau (Siltstone), Seam D memiliki FK statis 1,3-1,6 dan FK dinamis 0,6-0,8, sementara Seam E memiliki FK statis 1,8-2,2 dan FK dinamis 0,9-1,2. Untuk Batupasir (Sandstone), Seam E memiliki FK statis 1,3-2 dan FK dinamis 0,6-0,9. Geometri optimal untuk lereng Highwall adalah tinggi 74 meter dengan sudut 23°, tinggi lereng tunggal 5-10 meter, berm 7 meter, dan sudut 40°. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan metode lain seperti kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb atau metode Finite Element, serta memastikan core recovery >90% dalam pengeboran geoteknik agar kondisi batuan lebih akurat. Selain itu, pemantauan

pergerakan lereng secara berkelanjutan perlu dilakukan guna mencegah kecelakaan akibat longsoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). *Geoteknik tambang*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Braja, M. D. (1985). *Mekanika tanah (Jilid 2)*. The University of Texas.
- Budi, G. S. (2011). *Pengujian tanah di laboratorium: Penjelasan dan panduan*. Graha Ilmu.
- Das, B. M. (2007). *Fundamentals of geotechnical engineering* (3rd ed.). Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika tanah I*. Gadjah Mada University Press.
- Marinos, V., Marinos, P., & Hoek, E. (2005). The geological strength index: Applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(1), 55–65. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0270-5>
- Rai, M. A., Suseno, K., & Ridho, K. W. (2014). *Mekanika batuan*. Institut Teknologi Bandung.
- Satyana, A. H., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1999). Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: Major dissimilarities in adjoining basins. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, 99–122. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(98\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(98)00036-4)
- Steffen, O. K. H., Contreras, L. F., Terbrugge, P. J., & Venter, J. (2008). A risk evaluation approach for pit slope design. *Proceedings of the 42nd US Rock Mechanics Symposium and 2nd US-Canada Rock Mechanics Symposium*, San Francisco.
- Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis kestabilan lereng metode Morgenstern-Price studi kasus Diamond Hill Citraland. *Jurnal Tekno*, 15(67), 1–10.
- Wesley, L. D. (2010). *Mekanika tanah untuk tanah endapan dan residu* (Terj. Laurence D. W.). Penerbit Andi.
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock slope engineering: Civil and mining* (4th ed.). Spon Press.
- Zhang, L. (2016). Determination and applications of rock quality designation (RQD). *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(3), 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.03.003>