



**ANALISIS KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA BLOK A SISI TIMUR  
DAERAH TANJUNG LALANG, KECAMATAN TANJUNG AGUNG, KABUPATEN  
MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN**

**Baniarga Prabowo<sup>1</sup>, Hedy Setiawan<sup>2</sup> dan I Gde Budi Indrawan<sup>2</sup>**

Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada <sup>1</sup> dan <sup>2</sup>

baniargaprabowo@mail.ugm.ac.id<sup>1</sup>, hedy.setiawan@ugm.ac.id<sup>2</sup> dan igbindrawan@ugm.ac.id<sup>2</sup>

**Abstrak**

**Latar belakang:** Tambang batubara di Indonesia secara umum menggunakan metode tambang terbuka pada tahap eksploitasi.

**Tujuan penelitian:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng di daerah penelitian berdasarkan metode klasifikasi massa batuan RMR dan GSI, menentukan tingkat kestabilan desain lereng berdasarkan metode kesetimbangan batas dan memberikan rekomendasi optimasi geometri desain lereng di daerah penelitian berdasarkan potensi keruntuhan dan nilai FK yang dihasilkan.

**Metode penelitian:** Pada tahap penelitian ini peneliti melakukan pengumpulan data yang berasal dari data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan sebagai pedoman peneliti adalah data geologi dan geoteknik daerah penelitian.

**Hasil penelitian:** Berdasarkan klasifikasi massa batuan RMR dari data lima titik pemboran, didapatkan hasil bahwa batuan di lokasi penelitian termasuk dalam kategori II-III yaitu *good rock – fair rock*. Nilai GSI di daerah penelitian dikategorikan termasuk dalam *intact rock – very blocky*. Parameter geoteknik didapatkan dengan menggunakan metode *back analysis* dengan menggunakan pendekatan *Generalized Hoek-Brown* didapatkan UCS 1000 kPa,  $m$  0,192161,  $s$  7,91279.e-5,  $a$  0,561101. Berdasarkan analisis kinematika terhadap kelongsoran yang dapat terjadi didapatkan hasil bahwa terdapat potensi *Wedge Sliding* 6,65 % dan *Toppling Sliding* 3,13% .

**Kesimpulan:** Hasil dari empat log bor menunjukkan bahwa *Rock Mass Rating* (RMR) daerah tersebut didominasi kategori II (dua) dengan interpretasi batuan baik dengan nilai perhitungan >60. Kondisi lereng saat penelitian dilakukan telah mengalami keruntuhan dan sebelum terjadi keruntuhan diasumsikan lereng labil. Mitigasi kestabilan lereng tambang terbuka dilakukan dengan cara membuat desain ulang lereng yang memiliki nilai faktor keamanan >1,25.

**Kata kunci:** Tanah, Longsor, LEM, RMR, GSI

**Abstract**

**Background:** Coal mining in Indonesia generally uses the open pit mining method at the exploitation stage.

**Research purposes:** This study aims to determine the level of slope stability in the study area based on the RMR and GSI rock mass classification methods, determine the level of slope design stability based on the boundary equilibrium method and provide recommendations for optimization of slope design geometry in the study area based on the potential for failure and the resulting FK value.

**Research methods:** At this research stage, the researcher collects data from primary and secondary data. The primary data used as a guide for researchers is geological and geotechnical data in the research area.

**Research results:** Based on the RMR rock mass classification from data from five drilling points, it was found that the rocks in the research location were included in categories II-III, namely *good rock – fair rock*. The GSI value in the research area is categorized as *intact rock – very blocky*. Geotechnical parameters obtained using the *back analysis* method using the *Generalized Hoek-Brown* approach obtained UCS 1000 kPa,  $m$  0.192161,  $s$  7.91279.e-5,  $a$  0.561101. Based on the kinematics analysis of the possible slides, the results show that there is a potential for *Wedge Sliding* 6.65% and *Toppling Sliding* 3.13%.

**Conclusion:** The results of the four drill logs indicate that the *Rock Mass Rating* (RMR) of the area is dominated by category II (two) with *good rock* interpretation with a calculated value of >60. The condition of the slope at the time of the study had collapsed and before the collapse

---

*occurred it was assumed that the slope was unstable. The mitigation of the slope stability of the open pit mine is done by redesigning the slope which has a safety factor value of  $> 1.25$ .*

**Keywords:** *Soil, Landslide, LEM, RMR, GSI*

---

Diterima: 26-11-2021; Direvisi: 29-11-2021; Disetujui: 15-1-2022

## PENDAHULUAN

Tambang batubara di Indonesia secara umum menggunakan metode tambang terbuka pada tahap eksploitasi (Nugroho & Yassir, 2017). Permasalahan yang sering terjadi pada tambang terbuka adalah longsor pada dinding lereng tambang (Arif, 2016). Investigasi masalah kegagalan lereng dinding tambang diperlukan agar perusahaan dapat memiliki rasa percaya diri dalam produksi yang memenuhi target produksi (Halidin, 2018). Lereng dinyatakan stabil apabila memenuhi kriteria Bowles (1989) yang menyatakan bahwa lereng dengan nilai faktor keamanan berada pada kondisi stabil/aman (Putra, 2021). Penyelidikan geoteknik terkait kestabilan lereng perlu dilakukan lebih lanjut guna memberikan rasa aman (Bargawa, 2014) serta diharapkan mampu meningkatkan ekonomi tambang (Kuswardani & Anggraini, 2021). Selama proses eksploitasi batubara pada periode tahun 2020 telah terjadi kasus kegagalan lereng pada *sidewall* timur tambang batubara pada periode bulan Mei dan Agustus (Maulidina, 2021). Penelitian ini dilakukan sebagai bentuk upaya mitigasi terhadap longsor yang terjadi pada tambang. Maksud dari penelitian ini adalah menganalisis kestabilan lereng tambang terbuka batubara berdasarkan analisis kesetimbangan batas dan klasifikasi massa batuan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng di daerah penelitian berdasarkan metode klasifikasi massa batuan RMR dan GSI, menentukan tingkat kestabilan desain lereng berdasarkan metode kesetimbangan batas dan memberikan rekomendasi optimasi geometri desain lereng di daerah penelitian berdasarkan potensi keruntuhan dan nilai FK yang dihasilkan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa kajian dan informasi mengenai kestabilan lereng pada tambang terbuka batubara yang dilihat dari nilai faktor keamanan lereng (FK) sehingga akan memberikan informasi potensi keruntuhan lereng dan keamanan lereng tambang dengan rekomendasi yang akan diberikan pada lereng. Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal (Askari et al., 2017). Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia (Pangemanan et al., 2014). Lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng bukit dan tebing sungai (Kopa, 2021), sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan (Hasan & Heriyadi, 2020), tanggul dan dinding tambang terbuka. Pada tambang batubara kestabilan lereng sangat penting karena dapat mempengaruhi nilai produksi dan keselamatan kerja. Kestabilan lereng dapat ditentukan dengan nilai faktor keamanan (FK). Namun, nilai FK saja tidak cukup, karena lereng yang dikatakan stabil juga dapat terjadi longsor jika memiliki nilai probabilitas longsor (PK) yang tinggi. Sehingga, penentuan nilai PK juga sangat penting (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor (KEPMEN ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure)	Kriteria Diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis	Faktor Keamanan (FK) Dinamis	Probabilitas Longsor (Probability of Failure)
Lereng Tunggal	Rendah - Tinggi	1,1	-	25-50%
	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
Inter-ramp	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Lereng dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu lereng alam dan buatan. Lereng alam (*natural slope*) adalah lereng yang terbentuk karena adanya fenomena alam yang terjadi akibat aktifitas geologi. Lereng buatan (*man made slope*) adalah lereng yang dengan sengaja dibentuk untuk suatu keperluan seperti lereng tanah timbunan untuk jalan. Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang berhubungan dengan kestabilan lereng tersebut (Abramson dkk.,2001).

Faktor keamanan (FK) adalah perbandingan antara kekuatan geser yang diperlukan agar setimbang terhadap kekuatan geser yang tersedia. Secara prinsip, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya, yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan, sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak. Lereng akan longsor jika gaya penggeraknya lebih besar dari gaya penahan. Secara matematis kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam bentuk Faktor Keamanan (FK), klasifikasi faktor keamanan (FK) sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya penggerak}} \quad (1)$$

Coulomb pada tahun 1776 memperkenalkan teori geser maksimum (*the maximum shear theory*), yaitu bahwa keruntuhan (*failure*), nilai tekanan pada saat terjadinya perubahan bentuk tetap, terjadi jika tekanan geser yang diberikan mencapai nilai kritis dari kemampuan tanah. Teori ini kemudian disempurnakan oleh Mohr, sehingga kemudian dikenal dengan hukum Mohr-Coulomb (Das,1995). Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh :

- Pada tanah berbutir halus (tanah kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya ikatan kohesi ( $c$ ) atau lekatan antara butir tanah
- Pada tanah berbutir kasar ( tanah non-kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir butir tanah sehingga sering disebut sudut gesek dalam ( $\phi$ )
- Pada tanah campuran antara kohesif dan non kohesif, kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan dan gesekan antara butir tanah.

Kuat geser dinyatakan dalam rumus Mohr-Coulomb :

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2)$$

$\tau$  = kekuatan geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c'$  = kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'$  = tegangan efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi'$  = sudut geser dalam efektif (derajat)

### **Analisis Kestabilan Lereng**

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial, yaitu dengan menghitung besarnya kekuatan geser untuk mempertahankan kestabilan lereng dan menghitung kekuatan geser yang menyebabkan longsor yang kemudian keduanya dibandingkan. Nilai dari hasil analisis kestabilan lereng akan berupa sebuah nilai probabilitas keamanan lereng atau nilai faktor keamanan (FK), dimana nilai aman  $FK > 1,2 - 1,5$ . Lereng dapat terjadi sebuah keruntuhan jika gaya meluncur massa batuan atau tanah melebihi dari gaya penahan tanah atau batuan pada sebuah lereng.

Menurut (Zakaria, 2010) faktor-faktor penyebab lereng rawan longsor meliputi faktor internal (dari tubuh lereng sendiri) maupun faktor eksternal (dari luar lereng), antara lain: kegempaan, iklim (curah hujan), vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat, tingkat kelembapan tanah (moisture), adanya rembesan, dan aktifitas geologi seperti patahan (terutama yang masih aktif), rekahan dan liniasi. Proses eksternal penyebab longsor yang dikelompokkan oleh (Noronha & Arifianto, 2019) diantaranya adalah :

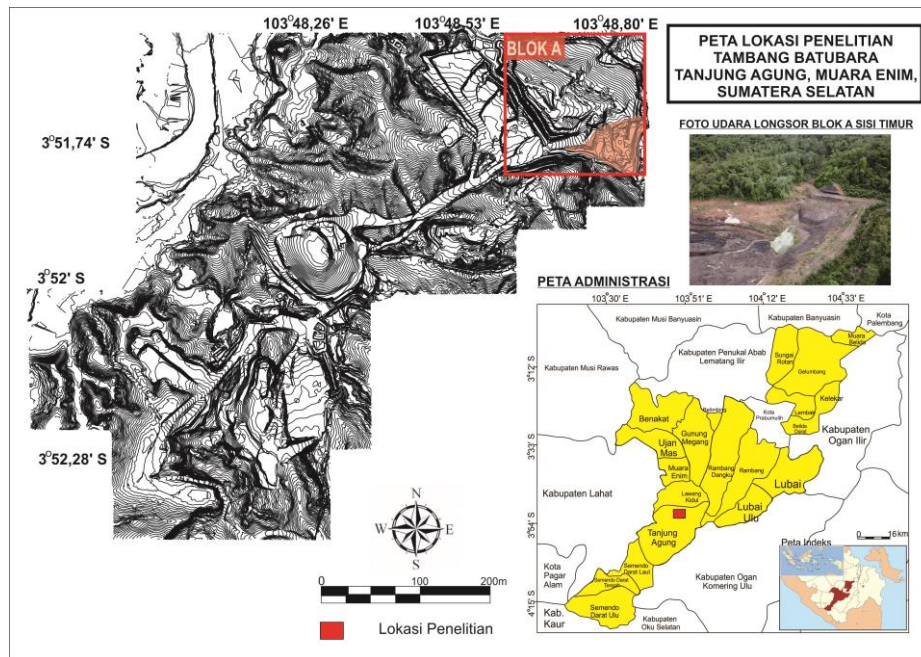
- a. Pelapukan (fisika, kimia dan biologi) dan erosi
- b. Penurunan tanah (*ground subsidence*)
- c. Deposisi (fluvial, glasial dan gerakan tanah)
- d. Getaran dan aktivitas seismik
- e. Jatuhan tepra
- f. Perubahan rejim air.

Pengelolaan lereng tambang dimaksudkan untuk mengurangi, mencegah dan menanggulangi dampak negatif serta meningkatkan dampak positif, berdasarkan studi kelayakan teknik yang mencakup geologi teknik, mekanika tanah dan hidrogeologi. Rekomendasi terhadap keruntuhan sangat penting untuk meningkatkan rasa kepercayaan diri pegawai dan perusahaan, menghilangkan resiko bahaya, dan mendapatkan *income* produksi yang baik. Rekomendasi yang dapat dilakukan untuk mencegah adanya keruntuhan lereng tambang adalah

- a. Mengurangi beban di puncak lereng dengan cara pemangkasan lereng, biasanya digabungkan dengan pengisian/pengurangan atau *fill* di kaki lereng
- b. Membuat dinding penahan atau tanggul
- c. Membuat desain dan teknik penanggulangan sistem air tanah dan air permukaan dengan cara membuat beberapa penyalur air di kemiringan lereng dekat ke kaki lereng. Manfaat drainase tersebut adalah agar muka air tanah yang naik di dalam tubuh lereng akan mengalir ke luar, sehingga muka air tanah turun.

### **METODE PENELITIAN**

Lokasi penelitian berada di Tanjung Lalang, Tanjung Agung, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi penelitian dapat dicapai dengan kendaraan mobil selama empat jam dari kota Palembang dengan jarak  $\pm 215$  km (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

## Geologi Regional

### A. Fisiografi Regional Daerah Penelitian

Sumatera merupakan salah satu pulau besar di Indonesia dan termasuk dalam enam pulau terbesar di dunia dengan luas sekitar 435.000 km<sup>2</sup>. Secara fisiografi, Pulau Sumatera menurut van Bemmelen (1949) terbagi menjadi enam zona, yaitu Jajaran Barisan, Semangko, Pegunungan Tiga Puluh, Kepulauan Busur Luar, Paparan Sunda, dan Dataran Rendah dan Berbukit. Sumatera Selatan memiliki rekam pola tiga sesar utama yaitu Utara-Selatan, Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut – Tenggara. Secara fisiografi lokasi penelitian merupakan bagian dari zona dataran rendah dan berbukit dan termasuk dalam Cekungan Sumatera Selatan. Daerah cekungan ini meliputi daerah seluas 330 x 510 km<sup>2</sup>, dimana sebelah barat daya dibatasi oleh singkapan Pra-Tersier Bukit Barisan, di sebelah timur oleh Paparan Sunda (*Sunda Shield*), sebelah barat dibatasi oleh Pegunungan Tigapuluh dan ke arah tenggara dibatasi oleh Tinggian Lampung.

### B. Struktur Geologi Regional

Cekungan Belakang Busur Sumatera terbentuk pada fase pertama tektonik regangan pada masa Tersier Awal. Sedimentasi awal merupakan sedimentasi dengan lingkungan darat yang diakibatkan pengangkatan blok batuan dasar. Batuan dasar yang tersingkap sekarang di Cekungan Sumatera Selatan berarah Utara-Selatan dan Timur Laut-Barat Daya. Pada Oligosen awal sampai dengan miosen awal terdapat fase transgresi yang menyebabkan sesar dan lipatan sebagai media sistem jebakan pada hidrokarbon. Berdasarkan Miosen tengah terjadi pengangkatan Bukit Barisan menyebabkan regresi muka air laut yang dilanjutkan dengan pengendapan sedimen darat pada Miosen Tengah. Cekungannya menjadi objek dari deformasi baru yang berarah Timur Laut-Barat Daya yang mengaktifkan kembali struktur perlipatan berarah Barat Laut-Tenggara dan sesar mendatar berarah Utara-Selatan juga membentuk struktur struktur bunga.

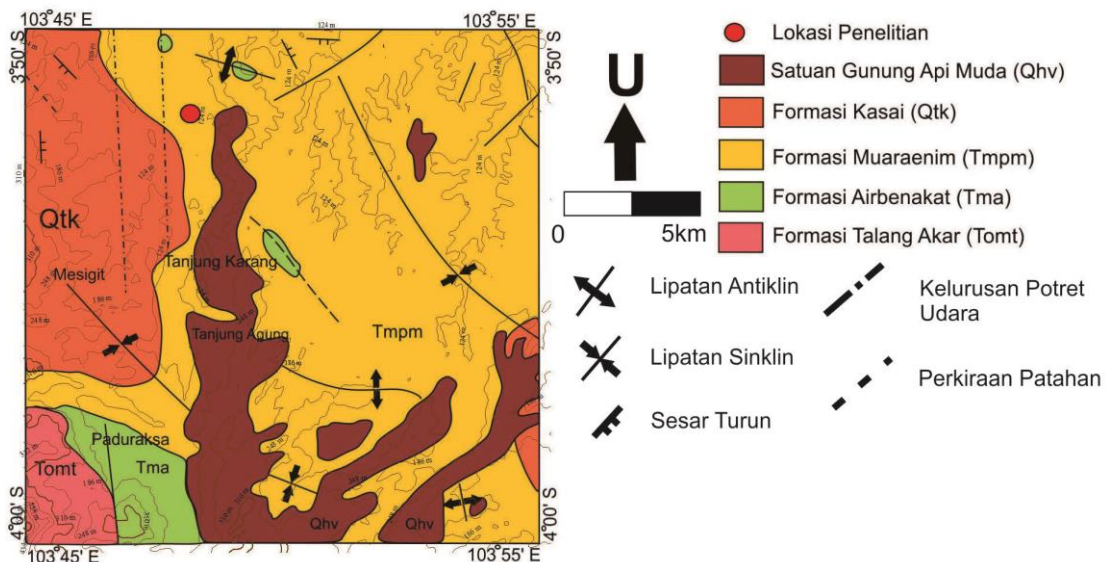
### C. Stratigrafi Regional

Pengamatan stratigrafi daerah penelitian dilakukan untuk mengetahui urutan dan sejarah geologi. Berdasarkan data yang berasal dari peta geologi regional lembar Lahat,



daerah penelitian merupakan formasi Muaraenim. Stratigrafi regional daerah penelitian adalah sebagai berikut (Gambar 2).

- Satuan Gunung Api Muda: Satuan Gunungapi muda terdiri dari breksi dan tuf, sebarannya menempati bagian selatan daerah Kabupaten Muara Enim dengan membentuk morfologi perbukitan tinggi dan menyatu dengan deretan Pegunungan Bukit Barisan.
- Formasi Kasai: Komposisi dari formasi ini terdiri dari batupasir tuffan, lempung dan kerakil dan lapisan tipis batubara. Umur dari formasi ini tidak dapat dipastikan, tetapi diduga Plio-Pleistosen. Lingkungan pengendapannya darat.
- Formasi Muara Enim: Batuan penyusun yang ada pada formasi ini berupa batupasir, batulempung dan lapisan batubara. Jumlah serta ketebalan lapisan-lapisan batubara menurun dari Selatan ke Utara pada cekungan ini. Ketebalan formasi berkisar antara sekitar 450-750 m.



Gambar 2. Bagian Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Gafoer dkk., 1986). Lokasi Penelitian Ditunjukkan Lingkaran Bulat Merah.

Pada tahap penelitian ini peneliti melakukan pengambilan data yang berasal dari data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan sebagai pedoman peneliti adalah data geologi dan geoteknik daerah penelitian. Metode penghimpunan data pada stopsite dilakukan dengan:

- Melakukan pengamatan dan identifikasi pada singkapan batuan yang dijumpai. Identifikasi singkapan dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dimensi, foto, dan sketsa. Melakukan deskripsi singkapan batuan dengan tahapan yaitu melihat bentang arah singkapan dengan melihat kompas, mencatat perkiraan dimensi panjang, tinggi, dan lebar singkapan, melihat kondisi singkapan batuan terhadap lingkungan sekitar, melakukan pengukuran dan pencatatan terhadap bidang perlapisan batuan dan melakukan pengukuran dan pencatatan terhadap bidang diskontinuitas
- Melakukan pengamatan, deskripsi, dan pencatatan terhadap susunan batuan yang tersingkap pada singkapan tersebut secara megaskopis, dimana proses deskripsi batuan tersebut memiliki parameter diantaranya warna, struktur, tekstur, dan komposisi batuan.

Pengamatan pada singkapan batuan dapat memberikan interpretasi tentang stratigrafi daerah penelitian yang dapat tersajikan dalam bentuk kolom stratigrafi. Data geoteknik merupakan data yang dijadikan sebagai salah satu data primer yang diantaranya dilakukan secara mandiri oleh peneliti sebagai data utama dalam penelitian ini. Proses pengumpulan data geoteknik dilakukan dengan cara :

1. *Back analysis*, metode ini adalah metode untuk melihat parameter sebelum terjadinya longsor pada lereng. Metode ini dilakukan dengan menggunakan data geometri lereng sebagai data utama dalam proses analisis. Proses analisis akan menggunakan bantuan *software Slide* yang berbasis *Limit Equilibrium Method* (LEM) dengan metode *trial and error* untuk menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam sebelum lereng mengalami longsor
2. Analisis laboratorium, metode ini dilakukan dengan menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian yang diuji dengan menggunakan alat *Direct Shear Test*. Hasil dari pengujian ini adalah sudut geser dalam, kohesi, dan sifat fisik tanah
3. Analisis kinematika, metode ini dilakukan dengan menggunakan data hasil pengukuran bidang diskontinuitas yang dilakukan di titik pengamatan di lokasi penelitian. Data tersebut akan diolah pada *software Dips* untuk mengetahui jenis kelongsoran yang akan terjadi pada lokasi penelitian dari hasil plot pada stereonet.

Pengumpulan data sekunder adalah proses pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti menggunakan data-data yang telah tersedia sebelumnya. Data yang telah tersaji adalah data hasil pemboran yang dipadankan dengan kondisi batuan dilapangan. Data sekunder yang digunakan adalah data geoteknik, dan didapatkan dengan cara:

1. Analisis *Rock Mass Rating* (RMR), metode ini dilakukan dengan menggunakan data pemboran pada lima titik pemboran yang dilakukan di lokasi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang dihasilkan dari analisis ini adalah mengetahui parameter massa batuan yang dapat mempengaruhi perilaku massa batuan di lokasi penelitian. Pemerian RMR dilakukan dengan melakukan pembobotan pada parameter hasil pemboran menurut pembobotan RMR Bieniawski (1989).
2. Analisis *Geological Strength Index* (GSI), metode ini dilakukan dengan menggunakan data kondisi diskontinuitas, RQD, dan RMR yang sebelumnya telah didapatkan. Hasil dari analisis ini adalah mengetahui parameter massa batuan yang dapat mempengaruhi perilaku massa batuan di lokasi penelitian terkait dengan ketahanan terhadap pelapukan dan struktur geologi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Geologi Daerah Penelitian

Pada pengamatan litologi yang dilakukan dengan melihat *highwall* dan *sidewall* pada area tambang, terlihat susunan batuan dengan kedudukan N 150° E/10° SW. Pengamatan dilakukan pada batuan yang mempresentasikan kondisi batuan yang masih dapat diamati secara megaskopis. Pengamatan litologi dilakukan dengan deskripsi secara megaskopis pada sampel batuan *hand specimen* yang dirasa merepresentasikan kondisi batuan di daerah tambang. Interpretasi stratigrafi daerah penelitian mengacu pada peta geologi regional daerah sekitar yang dipadankan dengan kondisi dilapangan. (Gambar 3).

#### a. Batubara

Batubara pada lokasi penelitian dapat dideskripsikan memiliki warna hitam pekat dengan kilap *bright-dull*. Kilap ini menunjukkan adanya proses pembakaran batubara yang kurang efisien, berdasarkan informasi yang didapatkan bahwa batubara yang terdapat pada lokasi penelitian merupakan jenis batubara sub-bituminus. Batubara pada

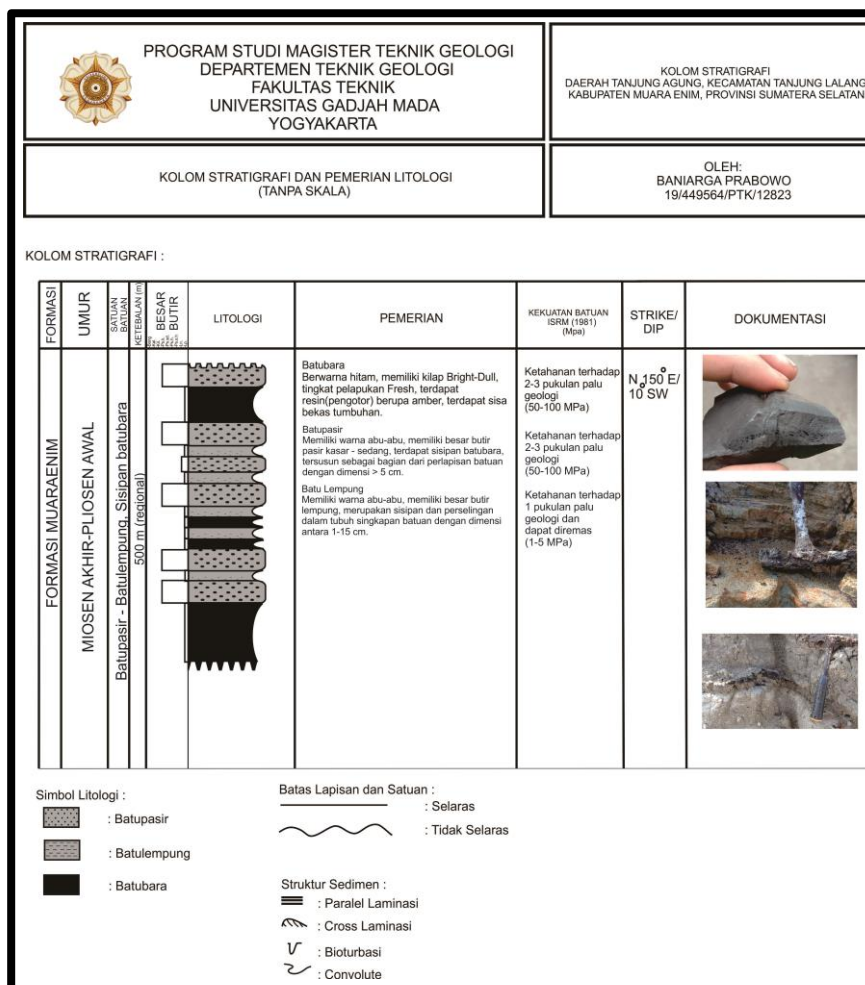
lokasi penelitian memiliki pecahan *uneven*. Batubara ini memiliki tingkat kekerasan 50-100 Mpa saat dites dengan dua sampai tiga kali pukulan palu geologi. Pada beberapa titik pengamatan pada singkapan batubara segar terlihat adanya bekas sisa tumbuhan serta terdapat amber (fosil getah kayu) dan tuff yang diinterpretasikan sebagai *leaching* (pengotor) pada batuan.

b. Batupasir

Batupasir pada lokasi penelitian memiliki warna coklat hingga abu-abu dengan besar butir pasir kasar sampai sedang (sedimen klastik). Batupasir daerah penelitian memiliki derajat pemilahan *poorly sorted*. Batupasir pada formasi muaraenim memiliki porositas 1,27%-8,62% (buruk) dan permeabilitas 1,0-8,0 mD (rapat), hal tersebut dipengaruhi oleh adanya *matrix supported* yaitu pasir kasar sampai >15% (Purwandono, 2015). Pada beberapa titik pengamatan, terdapat adanya fragmen batubara yang memiliki ukuran sebesar kerikil-kerakil. Batupasir pada lokasi penelitian memiliki ketebalan ±1-15 meter.

c. Batulempung

Batulempung pada lokasi penelitian memiliki warna abu-abu dengan besar butir lempung, terendapkan sebagai perselingan batupasir-batulempung dengan ketebalan ±5-15 cm. Pada beberapa titik pengamatan ditemukan sisipan batubara dengan ketebalan <5 cm. Batulempung pada lokasi penelitian pada kondisi lapuk lanjut (hampir sempurna).



Gambar 3. Stratigrafi Daerah Penelitian.



### Klasifikasi Massa Batuan Daerah Penelitian

Pada analisis geologi teknik dilakukan dengan menggunakan data pemboran yang telah dilakukan sebelumnya. Data pemboran yang telah tersaji selanjutnya akan dilakukan penilaian klasifikasi massa batuan sebagai cara untuk mengetahui parameter yang dapat mempengaruhi kondisi batuan tersebut (Tabel 2). Pada hasil interpretasi deskripsi litologi bawah permukaan didapatkan data litologi penyusun berupa claystone (CS), sandstone (SS), soil (SO), carbonaceous mudstone (XM), dan coal (CO). Hasil pemboran akan dapat dibaca dan diinterpretasi dari hasil pemboran dengan batuan yang masih utuh (*recovered length*). Pada lima titik pemboran dapat terlihat batuan yang dapat diinterpretasi dengan baik sebanyak 82-91%.

Tabel 2. Data Pemboran.

ID	Easting	Northing	Kedalaman (m)	Recovered Length (m)	Recovered Length (%)
GTA-01	368115	9573279	48,6	40	82
GTA-02	367682	9572687	128	106,2	83
GTA-02R	367678	9572695	147,5	24,6	91
GTA-03	367599	9572991	200	184,3	92
GTA-04	367211	9572175	96,5	87,9	91

#### a. Rock Mass Rating (RMR)

Hasil analisis dari data pemboran selanjutnya dilakukan pemerian pada klasifikasi RMR dengan tujuan untuk membagi batuan berdasarkan kelas dan identifikasi batuan tersebut. Perhitungan RMR menggunakan parameter UCS, RQD, *joint space*, *joint condition*, dan *groundwater*. Hasil klasifikasi RMR didapatkan bahwa nilai batuan bawah permukaan berada pada kelas II-III dengan identifikasi batuan dalam kondisi baik sampai cukup baik (Tabel 3). Hal ini memberikan penjelasan bahwa kondisi batuan bawah permukaan masih dalam kondisi *fresh* dan belum terkena *weathering factors*.

Tabel 3. Data Rekapitulasi RMR.

Kategori	Jumlah				
	GTA-01	GTA-02	GTA-02R	GTA-03	GTA-04
I	0	1	1	1	0
II	15	70	33	117	61
III	26	26	22	81	49
IV	1	5	1	4	1
V	0	4	1	2	0

#### b. Geological Strength Index (GSI)

Hasil analisis yang telah dilakukan dari hasil data pemboran yang selanjutnya dilakukan perhitungan pada klasifikasi GSI ini dilakukan dengan melihat *joint condition* dan RQD (Hoek et al., 2013). Hasil perhitungan pada GSI dihasilkan bahwa kondisi batuan adalah *intact-very blocky* (Tabel 4). Kondisi ini memberikan gambaran bahwa batuan pada bawah permukaan dalam kondisi *fresh* dan sedikit dipengaruhi oleh gaya yang menyebabkan terbentuknya *block* pada batuan tersebut.

Tabel 4. Data Rekapitulasi GSI

GSI	Jumlah				
	GTA-01	GTA-02	GTA-02R	GTA-03	GTA-04
<i>Intact</i>	17	61	24	95	57
<i>Blocky</i>	6	11	10	20	6
<i>Very Blocky</i>	18	25	21	87	46
<i>Blocky Disturbed</i>	1	0	0	0	0
<i>Disintegrated</i>	0	5	0	1	2
<i>Laminated</i>	0	4	3	2	0

c. Parameter Geoteknik Daerah Penelitian

a) Pengujian Laboratorium

Proses membuat suatu desain lereng dipengaruhi oleh sifat fisik batuan yang terdiri dari berat isi batuan ( $\gamma$ ), kadar air dalam batuan ( $w$ ), kohesi batuan ( $c$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Pengujian sampel tanah dari lokasi longsor dilakukan dengan mengambil sampel tanah pada lokasi mahkota longsor, tubuh longsor, dan ekor longsor. Dari hasil pengujian dengan uji geser langsung didapatkan nilai rata-rata kohesi dan sudut geser dalam adalah 0,04 kPa dan  $0,01^\circ$  (dalam  $\tan \Phi$ ). Nilai tersebut sangat kecil untuk karakteristik fisik tanah, dan menginterpretasikan bahwa tanah yang ada pada lokasi tersebut sudah sangat lepas. Ikatan materi tanah yang ada telah hilang dan tidak ada materi tanah kohesif sebagai pengikat tanah. Hal ini yang mengindikasikan lokasi dapat mudah mengalami keruntuhan. Tanah kohesif dapat berisikan materi campuran tanah dan lempung sebagai pengikat kestabilan tanah. Komposisi tanah pasir dan tanah lempung dapat memberikan nilai kohesi dan sudut geser berbeda pada kestabilan tanah. Semakin besar ukuran dari partikel pasir maka sudut geser pasir ( $\Phi$ ) akan meningkat, sedangkan semakin banyak kandungan lempung maka semakin meningkat kohesi tanah tersebut.

b) *Back Analysis*

Metode *back analysis* merupakan metode dimana memperoleh nilai kohesi dan sudut geser dalam dari desain lereng sebelum longsor terjadi. Proses metode *trial-error* dilakukan pada desain lereng sampai ditemukan nilai kritis lereng ( $FK \leq 1$ ). Pada pengujian desain dan nilai analisis balik digunakan *software Slide* versi 6 dengan metode *Generalized Hoek-Brown*. Hasil dari pengolahan metode *back analysis* dapat dilihat pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5 Rekomendasi Geometri Lereng.

<i>Deposit</i>	<i>Dump Height (m)</i>	<i>Bench Height (m)</i>	<i>Batter Angle (o)</i>	<i>Berm Width (m)</i>	<i>Overall Slope Angle (o)</i>	<i>Inter Ramp Angle (o)</i>
<i>Block A</i>	90	10	37	29,7	14,2	13,1

c)

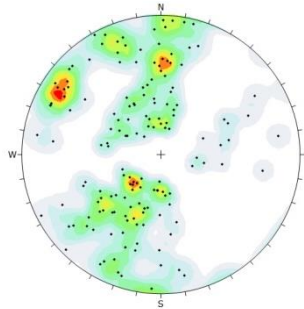
Tabel 6 Parameter Geologi teknik *Back Analysis*

Faktor Keamanan (FK)	UCS (kPa)	m ( $\phi$ )	s (c)	a
1,046	1000	0,192161	$7,91279.e^{-5}$	0,561101

d. Analisis Kestabilan Lereng

a) Analisis Kinematika

Analisis kinematika dilakukan untuk mengetahui potensi keruntuhan yang akan terjadi dengan menggunakan data struktur geologi dan selanjutnya dilakukan analisis dengan bantuan *software Dips* (Gambar 4). Pada hasil plotting pada streonet, terdapat kemungkinan longsor yang dapat terjadi yaitu *wedge dan toppling*. *Wedge Sliding* memiliki kemungkinan longsor sebesar 6,65%, dimana longsoran dapat terjadi apabila bidang diskontinuitas memiliki dua sumber rekahan besar pada muka lereng yang saling berpotongan. *Toppling Sliding* memiliki kemungkinan longsor sebesar 3,13 %, dimana longsor ini dapat terjadi apabila terdapat bidang diskontinuitas yang tegak lurus terhadap muka lereng.



Gambar 4. Plot Kekar Streonet.

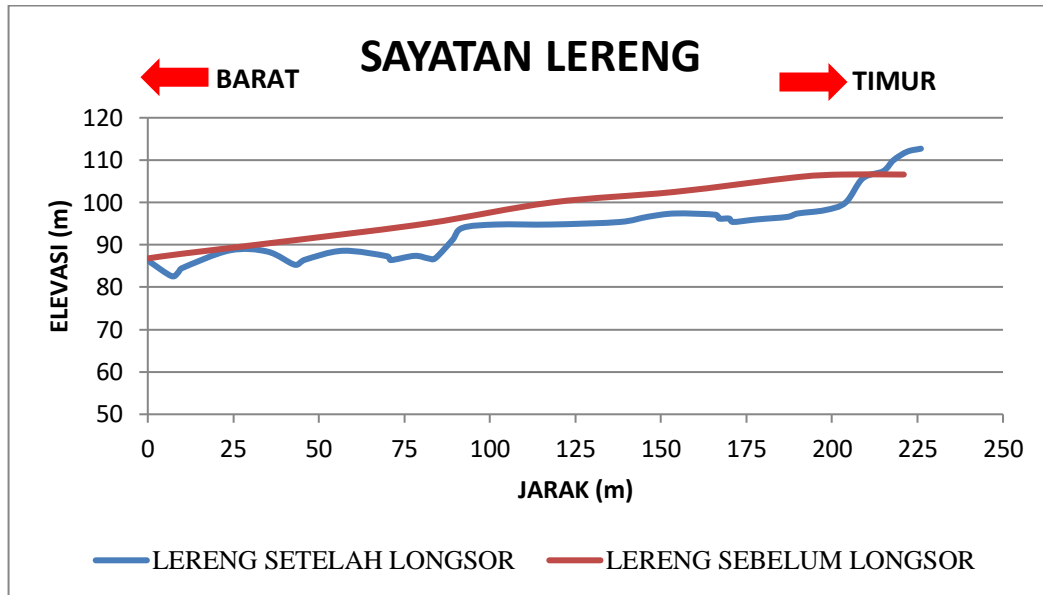
Pada pemerian klasifikasi Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827/K/30/MEM/2018, tingkat keparahan longsor dapat diketahui dari nilai probabilitas potensi longsor. Data pemerian potensi longsor yang dapat terjadi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Pemerian Potensi Longsor

Jenis Kelongsoran	Probabilitas (%)	Keparahan Longsor
<i>Planar Sliding</i>	0	-
<i>Wedge Sliding</i>	6,65	Tinggi
<i>Toppling Sliding</i>	3,13	Tinggi

b) Analisis Jenis Kelongsoran

Pada analisis menggunakan metode *drawing contour* secara 2D dengan tujuan untuk melihat kenampakan sayatan dari longsor tersebut. Analisis tersebut menunjukkan adanya jenis longsoran *composite* yaitu busur dan planar. Pada bagian mahkota longsor terdapat dari garis permukaan menunjukkan adanya penurunan kontur lereng secara signifikan, hal tersebut mengindikasikan interpretasi terhadap longsor busur yang terjadi di lokasi penelitian. Pada bagian mahkota lereng diasumsikan memiliki komposisi lereng yang didominasi oleh material tanah lepas sehingga lapisan permukaan akan lebih mudah mengalami perubahan akibat faktor eksternal. Pada bagian tubuh longsor, terlihat adanya kondisi tubuh lereng yang tidak selaras dengan bentuk jenis longsor busur. Hal tersebut diasumsikan karena pada bagian tubuh lereng didominasi oleh material yang lebih masif sehingga longsoran akan dapat membentuk longsoran planar. Longsoran planar disebabkan karena batuan yang masif terdapat bidang diskontinuitas yang tegak lurus terhadap arah muka lereng (Gambar 5).



Gambar 5. Sayatan Longsoran Daerah Penelitian.

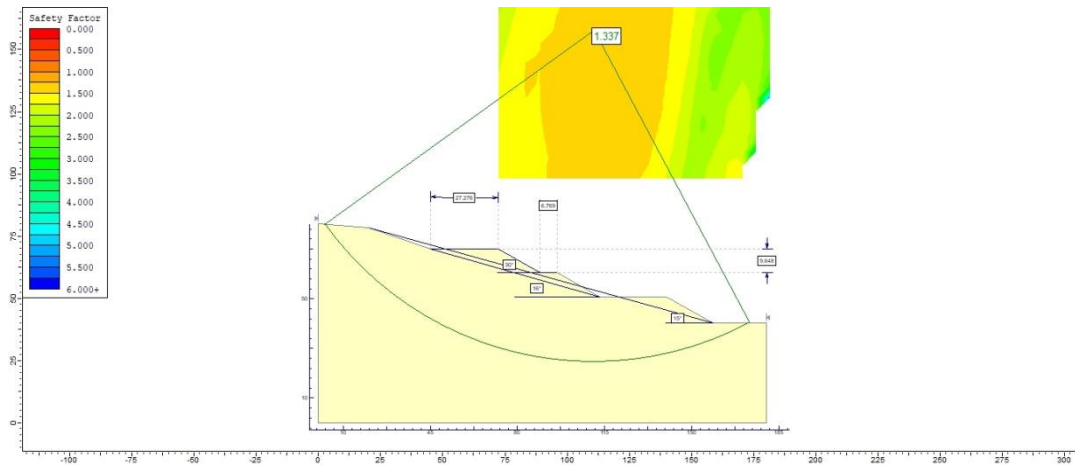
c) Analisis Desain Kestabilan Lereng

Desain lereng yang dibuat merupakan bentuk *overall slope*, dengan asumsi bahwa lereng dapat runtuh dengan bentuk rotasi dan campuran (*composite*). Analisis desain lereng menggunakan data yang telah didapatkan dari analisis balik dengan menggunakan pendekatan *Generalized Hoek-Brown*. Hasil analisis desain lereng didapatkan nilai faktor keamanan  $>1,25$ , dengan interpretasi bahwa lereng aman secara temporal. Hasil desain ulang lereng longsoran didapatkan nilai faktor keamanan (FK) sebesar 1,3. Nilai tersebut dirasa aman pada kondisi lereng dan pertambangan saat ini. Hasil desain ulang lereng dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 6.

Hasil analisis memberikan interpretasi bahwa lereng lebih tegak, dengan interpretasi bahwa lereng yang tegak dapat meningkatkan produksi batubara. Semakin banyak batubara diambil, maka peningkatan ekonomi akan semakin baik. Lereng dengan komposisi material lepas cenderung memiliki lereng yang tidak tetap. Hal ini dikarenakan material penyusun dapat terganggu oleh faktor eksternal seperti air hujan, getaran kendaraan besar, dan iklim. Material disposal tambang tersusun dari berbagai tanah yang dikeruk bersamaan dengan alat berat, sehingga dapat menyebabkan terbentuknya material lempung karena air dapat mengendap dan terperangkap dalam tanah. Lempung dapat menyebabkan terbentuknya bidang gelincir pada lereng. Oleh karena itu, lereng perlu monitoring berkala untuk memastikan lereng tetap aman.

Tabel 8. Geometri Desain Lereng.

<i>Deposit</i>	<i>Factor of Safety</i>	<i>Dump Height (m)</i>	<i>Bench Height (m)</i>	<i>Batter Angle (o)</i>	<i>Berm Width (m)</i>	<i>Overall Slope Angle (o)</i>	<i>Inter Ramp Angle (o)</i>
Block A	1,337	90	9,648	30	27,276	15	16



Gambar 6. Desain Lereng.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil dari empat *log bor* menunjukkan bahwa *Rock Mass Rating* (RMR) daerah tersebut didominasi kategori II (dua) dengan interpretasi batuan baik dengan nilai perhitungan  $>60$ , sedangkan hasil dari *Geological Strength Index* (GSI) menunjukkan hasil *intact rock* dengan interpretasi batuan yang ada di daerah tersebut tergolong batuan *massive*. Kondisi batuan yang ada di daerah penelitian tergolong baik sebagai batuan *basement* pada lereng. Kondisi lereng saat penelitian dilakukan telah mengalami keruntuhan dan sebelum terjadi keruntuhan diasumsikan lereng labil. Kondisi lereng labil selanjutnya dilakukan pendekatan dengan metode *back analysis* untuk dapat mengetahui nilai parameter yang mempengaruhi keruntuhan lereng. Kondisi lereng labil memiliki nilai faktor keamanan (FK) sebesar 1,00. Mitigasi kestabilan lereng tambang terbuka dilakukan dengan cara membuat desain ulang lereng yang memiliki nilai faktor keamanan  $>1,25$ . Keamanan lokasi penelitian juga dapat dilakukan dengan memprediksi model kelongsoran yang dapat terjadi selanjutnya dengan analisis kinematika bidang diskontinuitas di sekitar area penelitian.

## BIBLIOGRAFI

- Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Askari, R., Rusydy, I., & Mutia, F. (2017). Studi Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) pada Lereng Bekas Penambangan di Kecamatan Lhoong, Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Kebumihan*, 1(1), 45–49.
- Bargawa, W. S. (2014). Kajian Lingkungan Hidup Strategis Sektor Pertambangan Studi Kasus Pertambangan Batuan Basalt Di Kabupaten Banyumas. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan-IX*.
- Halidin, A. (2018). *Pembelajaran cinta lingkungan*. Nusa Litera Inspirasi.
- Hasan, B. M., & Heriyadi, B. (2020). Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau PT. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. *Bina Tambang*, 5(1), 74–84.
- Hoek, E., Carter, T. G., & Diederichs, M. S. (2013). Quantification of the geological strength index chart. *47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*.
- Kopa, R. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Pada Rencana Lereng Akhir Penambangan

- Dengan Tinggi 55 m PT. Atika Tunggal Mandiri, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 6(4), 135–142.
- Kuswardani, I. F., & Anggraini, Y. I. (2021). Revisi UU Minerba Sebagai Tonggak Baru Pertumbuhan Ekonomi Bangsa. *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral (JENERAL)*, 2(1), 1–6.
- Maulidina, R. S. (2021). *Analisis Pengaruh Volume Produksi Batubara, Nilai Tukar, Inflasi Dan Produk Domestik Bruto Terhadap Volume Ekspor Batubara Indonesia Tahun 1996-2019*.
- Noronha, E. M. D. C., & Arifianto, A. K. (2019). Analisis Penentuan Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellinius Dan Bishop (Studi Kasus: Jl. Mulyorejo, Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang). *EUREKA: Jurnal Penelitian Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 3(1), 120–130.
- Nugroho, A. W., & Yassir, I. (2017). Kebijakan penilaian keberhasilan reklamasi lahan pasca-tambang batubara di Indonesia. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 14(2), 121–136.
- Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1).
- Purwandono, H. H. (2015). *Petrofisik Batupasir Formasi Muara Enim Berdasarkan Data Permukaan Di Daerah Talangberingin, Kabupaten Musirawas, Propinsi Sumatera Selatan*. Universitas Gadjah Mada.
- Putra, N. D. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Highwall Pit Timur PT Cipta Kridatama Jobsite PT Kuansing Inti Makmur Kecamatan Jujuhan Kabupaten Bungo Provinsi Jambi*. Teknik Pertambangan.
- Zakaria, Z. (2010). Model Starlet, suatu Usulan untuk Mitigasi Bencana Longsor dengan Pendekatan Genetika Wilayah (Studi Kasus: Longsor Citatah, Padalarang, Jawa). *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(2), 93–112.



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