



Perancangan Desain Timbunan Batubara dan Pengaruhnya Terhadap Kestabilan Lereng di Sekitar ROM 4 Site DMP PT Cipta Kridatama

Fanteri Aji Dharma Suparno*, Di Ajeng Arum Kusuma, Haeruddin, Siti Aminah,
Emanuel Grace Manek, Utari Sulistyio Rini, Kurnia Dewi Mulyani

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Abstrak

Peningkatan produksi batubara di PT Cipta Kridatama site Dizamatra Powerindo memerlukan penambahan area Run of Mine (ROM) untuk menampung kelebihan produksi. ROM 4 sebagai area timbunan baru belum memiliki data teknis terkait daya dukung tanah, tinggi maksimum timbunan, dan kestabilan lereng. Penelitian ini bertujuan mengkaji kondisi geoteknik ROM 4 melalui uji berat volume batubara dan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk menentukan tinggi timbunan yang optimal. Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan empat metode Limit Equilibrium Method (LEM): Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer. Hasil penelitian menunjukkan desain optimal timbunan ROM 4 memiliki tinggi maksimum 17 meter, sudut lereng 36° , dan kapasitas 511.594,44 ton. Nilai faktor keamanan (FK) pada kondisi statis $>1,3$ dan dinamis $>1,1$. Metode Janbu menghasilkan nilai FK terkecil dibandingkan metode lainnya. Nilai FK setelah pembebanan menurun dibanding sebelum pembebanan akibat pengaruh beban tambahan terhadap kestabilan lereng. Secara keseluruhan, lereng ROM 4 dinyatakan aman dan sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM No. 1827/K/30/MEM/2018.

Kata kunci: Run of Mine; daya dukung tanah; metode kesetimbangan batas; kestabilan lereng

Abstract

The continuous increase in coal production at PT Cipta Kridatama, Dizamatra Powerindo site, necessitates the development of an additional Run of Mine (ROM) facility to accommodate the surplus coal output. ROM 4, designated as the new coal stockpile area, currently lacks data regarding soil bearing capacity, maximum embankment height, and slope stability. This study aims to assess the geotechnical conditions of ROM 4 by evaluating soil bearing capacity and conducting slope stability analysis. Field tests such as coal bulk density measurements and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) tests were conducted to determine the optimal coal stockpile height. Slope stability analyses were performed using the Limit Equilibrium Method (LEM) with four different approaches: Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, and Spencer. The results show that the optimal design of ROM 4 includes a maximum stockpile height of 17 meters, a slope angle of 36° , and a storage capacity of 511,594.44 tons. The factor of safety (FoS) values for slope stability exceeded 1.3 under static conditions and 1.1 under dynamic conditions. Among the methods used, the Janbu method yielded the lowest FoS values. A comparison of FoS before and after loading indicates a decrease due to the additional load, which affects slope stability. Overall, the ROM 4 slope design meets the safety standards set by the Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resources Regulation No. 1827/K/30/MEM/2018.

Keywords: Run of Mine; soilbearing capacity; Limit Equilibrium Method; slope stability

PENDAHULUAN

Pertambangan adalah kegiatan yang dilakukan untuk mendapatkan dan mengangkut batubara dari front kerja menuju *Run of Mine* (ROM).

ROM merupakan tempat penumpukan batubara yang diperoleh langsung dari front kerja dan belum dilakukan pengolahan (*raw*) (Sarmidi dkk., 2023). Kapasitas ROM yang optimal

* Korespondensi : fanteri.teknik@unej.ac.id

Diajukan : 10 Juli 2025

Diterima : 28 Oktober 2025

Diterbitkan :

dipengaruhi oleh desain dan daya dukung tanah ROM. Pada kegiatan penambangan juga akan menghadapi permasalahan kestabilan lereng. Cara yang dapat dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng yaitu dengan menghitung besarnya Faktor Keamanan (FK) berdasarkan keputusan Menteri Energi Sumber Daya Mineral Nomor 1827/K/30/MEM/2018 (Energi, 2018).

PT Cipta Kridatama site Dizamatra Powerindo (DMP) memiliki ROM yang aktif digunakan yaitu ROM 3 seluas $\pm 1,67$ ha dan memiliki ketinggian 18 m. Ketinggian ROM 3 saat ini melebihi ketinggian maksimum timbunan yaitu 10 m. Dengan adanya peningkatan produksi setiap bulan mengakibatkan perlunya penambahan ROM agar mampu menampung produksi batubara yang dihasilkan. Oleh karena itu, dibutuhkan ROM 4 sebagai ROM baru yang memiliki luas $\pm 3,72$ ha. Penambahan luas area ROM berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan ketinggian maksimum timbunan batubara (Renaldy dkk., 2025). Daya dukung tanah harus dipertimbangkan saat pembuatan base (dasar) ROM 4 karena akan menjadi penyangga yang dapat menopang beban timbunan batubara di atas permukaan, sehingga keruntuhan yang mungkin dialami masih dalam toleransi dan meminimalisir terjadinya kelongsoran (Navtalia dkk., 2025). Kondisi statis dan dinamis juga akan mempengaruhi kestabilan lereng sekitar ROM 4. Kondisi statis adalah kondisi lereng sebelum pembebanan gempa, sedangkan kondisi dinamis adalah kondisi lereng setelah pembebanan gempa (Dzakir dkk., 2023). Jika terjadi penurunan tanah pada base ROM dan kelongsoran lereng, maka akan menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi perusahaan (Amalia dkk., 2023). Oleh karena itu, diperlukan analisis kestabilan lereng dalam kondisi statis dan dinamis. Analisis kestabilan lereng merupakan faktor yang sangat penting dalam kegiatan operasional tambang karena berkaitan dengan keselamatan kerja dan peningkatan produksi (Arif, 2016). Analisis kestabilan lereng dapat ditentukan dengan menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM) atau metode kesetimbangan batas.

Metode LEM pada dasarnya adalah menentukan gaya penahan dan penggerak pada lereng (Amalia dkk., 2023). Beberapa metode LEM yang sering digunakan yaitu Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer (Syafei & Dewi,

2025). Empat metode ini pernah digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng timbunan dengan hasil nilai FK yang berbeda-beda (Herman, 2012). Analisis kestabilan lereng pada pit penambangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode Bishop (Muhamad dkk., 2020), metode Janbu, metode Morgenstern-Price, dan dapat menggunakan metode Janbu-Spencer (Saputro, 2022). Sedangkan analisis kestabilan lereng pada disposasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Bishop dan metode Bishop-Janbu (Pasole dkk., 2020).

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian terkait perancangan desain timbunan batubara dengan melakukan uji DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) untuk mengetahui daya dukung tanah, kemudian menganalisis kestabilan lereng di sekitar ROM 4 sebelum dan setelah pembebanan untuk mendapatkan nilai faktor keamanannya. Analisis kestabilan lereng di sekitar ROM 4 dilakukan dengan menggunakan empat metode LEM sekaligus yaitu, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer karena sudah terbukti kebenaran dan keakuratannya, serta dapat membandingkan metode yang memiliki nilai paling kecil dalam menentukan nilai FK lereng. Hasil penelitian diharapkan mampu menghasilkan desain ROM yang stabil, memberikan dampak yang besar terhadap keekonomian tambang, serta keselamatan kerja sehingga target perencanaan penambangan perusahaan dapat tercapai.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT Cipta Kridatama site Dizamatra Powerindo (PT CK DMP), Sumatera Selatan yang secara geografis terletak pada $103^{\circ} 38' 11,76''$ BT dan $03^{\circ} 45' 12,85''$ LS. Lokasi penelitian tepatnya berada pada ROM 4 yang memiliki luas area sebesar 37.2 ha (Gambar 1). ROM 4 berada di sebelah selatan area reklamasi, sebelah utara low wall pit 4, sebelah barat jalan produksi, dan sebelah timur Kolam Pengendapan Lumpur (KPL 7). Secara geologi, lokasi penelitian termasuk ke dalam Formasi Muara Enim. Formasi ini diendapkan pada K kala Akhir Miosen sampai Pliosen Awal. Formasi ini memiliki batubara yang dicirikan dengan adanya lapisan dominan batupasir, batulempung, dan batulanau.



Gambar 1. Lokasi ROM 4 PT CK site DMP

Uji DCP dan Berat Volume Batubara

Uji yang dilakukan ada dua yaitu, uji DCP dan uji berat volume batubara. Uji DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) merupakan alternatif untuk mendapatkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) di lapangan. Pengujian DCP dilakukan untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah *base ROM 4* di lapangan dengan cara menumbukkan besi (penumbuk) seberat 8 kg melalui silinder pada konus sehingga terjadi penetrasi pada perkerasan yang akan diuji. Konus yang digunakan pada pengujian ini yaitu 60°. Pada pengujian DCP didapatkan data berupa kedalaman penetrasi dan jumlah tumbukan. Pembacaan penetrasi dilakukan setiap 5 kali pukulan sesuai dengan pedoman SNI 1744-2012 tentang Pengujian DCP.

Uji berat volume batubara (γ) dilakukan di laboratorium dengan sampel uji yaitu batubara *seam A* dan *seam B*. Persiapan pengujian yang dilakukan yaitu preparasi sampel, mengubah ukuran sampel menjadi lebih kecil dengan cara ditumbuk menggunakan palu, kemudian diayak dengan ayakan mesh 10 dengan lubang 2 mm. Pengujian ini diawali dengan pengukuran dimensi cawan untuk mendapatkan besar volume cawan. Berat cawan dalam keadaan bersih ditimbang terlebih dahulu dan dicatat hasilnya. Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam cawan hingga terisi penuh untuk ditimbang dan dicatat hasilnya.

Faktor Keamanan dalam Daya Dukung Tanah

Suatu pondasi dirancang atas dasar besarnya beban pelayanan yang ada dan kekuatan material

yang menahan beban di atasnya. Besarnya beban pelayanan dapat dianalogikan dengan kapasitas daya dukung tanah. FK pada pondasi dapat ditentukan dengan mengetahui materialnya.

Pada suatu *base ROM* dengan pondasi lempung lunak, hal yang perlu diperhatikan yaitu daya dukung tanah dan ketinggian kritis atau ketinggian maksimum. Ketinggian kritis adalah ketinggian maksimum yang dapat dimiliki lereng sebelum tegangan hilang dan terbentuk retakan tegangan. Lereng timbunan mempunyai ketinggian kritis (*critical height*) agar tidak terjadi keruntuhan. Ketinggian kritis lereng pada pondasi lempung lunak dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (Terzaghi dkk., 1996).

$$H_c = 5.14 \frac{c}{\gamma_{fill}} \quad (1)$$

Hubungan antara FK dengan ketinggian kritis yaitu ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$H_c = \frac{5,14 \times c}{\gamma_{fill} \times FK} \quad (2)$$

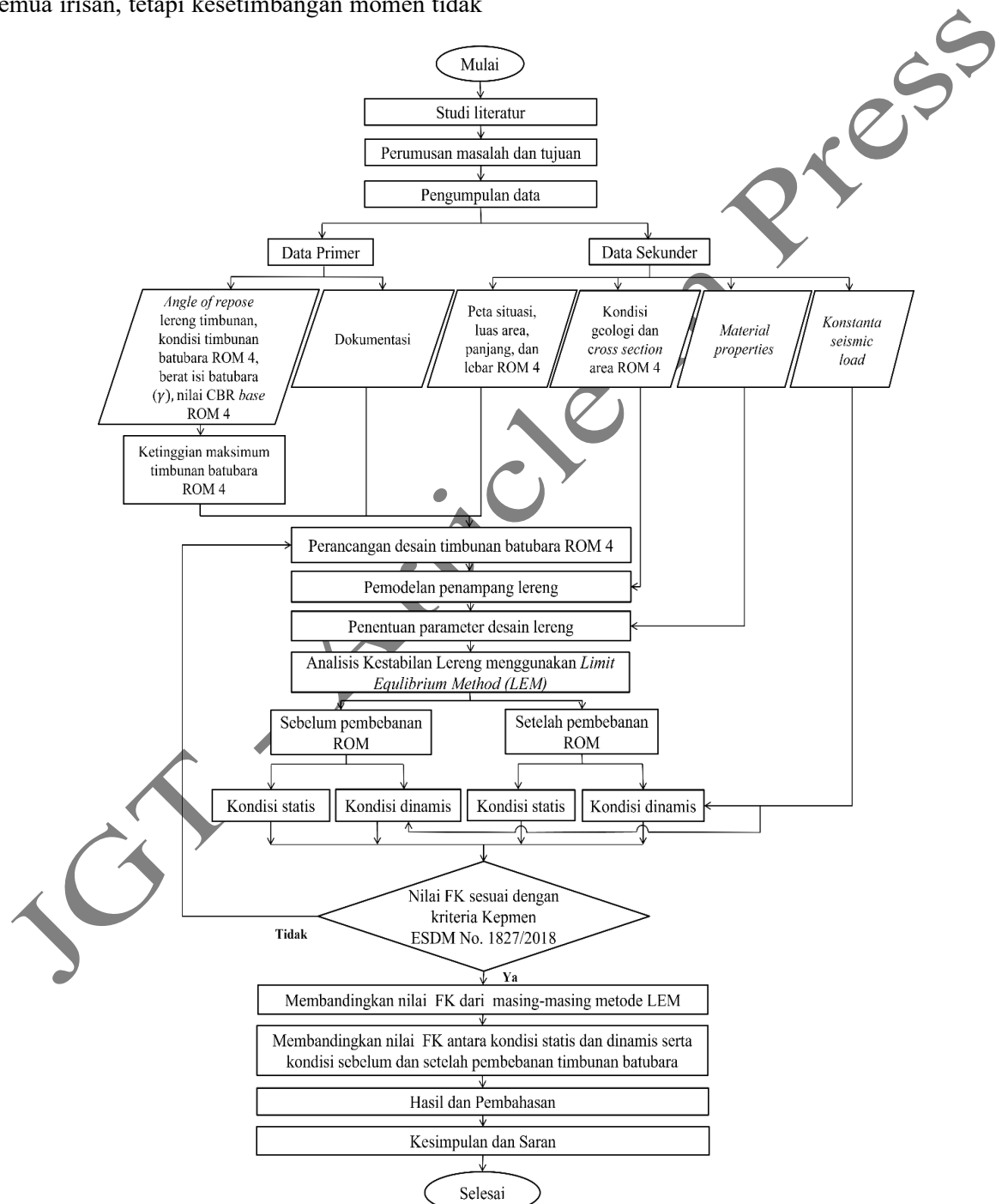
Dimana H_c adalah ketinggian maksimum(m), c adalah kohesi (kPa atau kN/m^2), γ_{fill} adalah berat volume (kN/m^3), dan FK adalah faktor keamanan.

Analisis Kestabilan Lereng

Metode yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng pada penelitian ini yaitu metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method/LEM*). Metode LEM merupakan metode dengan menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, yaitu perbandingan antara gaya dorong dan

gaya tahun (Maharza dkk., 2022). Metode Bishop memenuhi kesetimbangan gaya vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen untuk keseluruhan di sekitar pusat permukaan percobaan melingkar. Karena gaya horizontal tidak diperhitungkan pada setiap irisan (Salunkhe dkk., 2017). Metode Janbu memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal dan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal untuk semua irisan, tetapi kesetimbangan momen tidak

dapat dipenuhi (Salu & Munir, 2023). Metode Morgenstern-Price dan Spencer merupakan metode yang memenuhi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen karena dalam perhitungannya memperhitungkan gaya geser, gaya normal, dan gaya putar antar irisan (Takwin dkk., 2017). Seluruh tahapan dari pengamatan dan pengolahan data tergambar pada diagram alir di Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian DCP dan Berat Volume Batubara

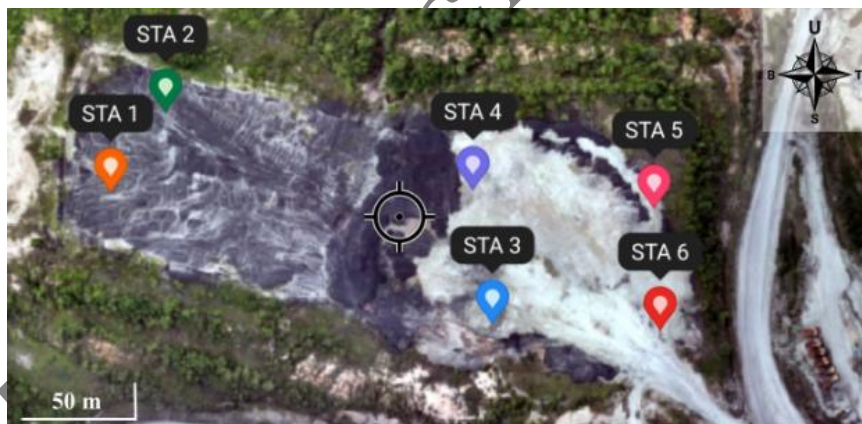
Pengujian pertama yang dilakukan yaitu pengujian DCP. Uji DCP dilakukan pada area ROM 4 dengan 6 titik uji yaitu STA 1, STA 2, STA 3, STA 4, STA 5, dan STA 6 (Gambar 3). Lokasi dan kondisi masing-masing titik pengujian DCP berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh beberapa area yang sudah dilapisi *bedding coal* (lapisan batubara kotor) pada lapisan paling atas. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada pengujian DCP didapatkan data berupa kedalaman penetrasi dan jumlah tumbukan. Pembacaan penetrasi dilakukan setiap 5 kali tumbukan karena *base ROM 4* terdiri dari bahan berbutir yang cukup keras. Pengujian dihentikan jika kecepatan penetrasi kurang dari 1 mm/³ tumbukan (Pratomo dkk., 2021). Besarnya penetrasi konus tiap 5 kali tumbukan pada masing-masing STA ditunjukkan pada Gambar 4. Besarnya penetrasi konus pada setiap STA akibat dikenai gaya tekan sebanyak 5 kali tumbukan berbeda-beda (Gambar 4). Hal ini disebabkan

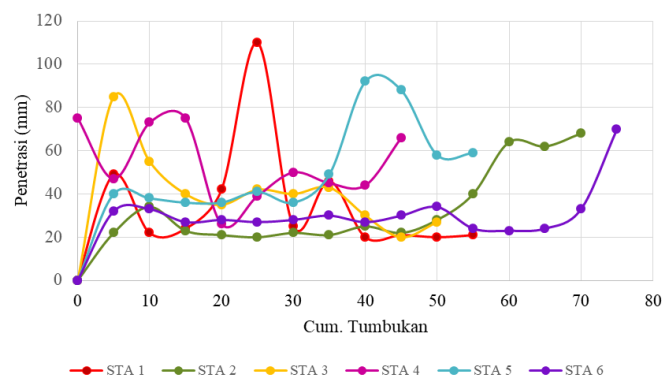
karena adanya perbedaan jenis material yang diuji.

Tabel 1. Deskripsi lokasi pengujian DCP

Nama Titik	Koordinat		Deskripsi
	Lintang (S)	Bujur (E)	
STA 1	3.749858	103.616465	Lapisan paling atas berupa <i>overburden</i> , belum dilapisi <i>bedding coal</i>
STA 2	3.749417	103.616769	Lapisan paling atas berupa <i>overburden</i> , belum dilapisi <i>bedding coal</i>
STA 3	3.750592	103.618573	Sudah dilapisi <i>bedding coal</i> yang sangat tipis
STA 4	3.749850	103.618467	Sudah dilapisi <i>bedding coal</i>
STA 5	3.749953	103.619468	Sudah dilapisi <i>bedding coal</i> , dekat dengan tanggul dan paritan
STA 6	3.750629	103.619501	Lapisan paling atas berupa <i>overburden</i> , belum dilapisi <i>bedding coal</i> , dekat dengan jalan produksi



Gambar 3. Lokasi pengujian DCP



Gambar 4. Grafik penetrasi dan jumlah total tumbukan

Besar penetrasi konus menyatakan kemudahan konus untuk menembus tanah. *Bedding coal* memiliki porositas yang tinggi karena memiliki banyak ruang kosong diantara partikel-partikelnya, sehingga penetrasi konusnya tinggi. Sedangkan *overburden* memiliki porositas yang lebih rendah daripada *bedding coal*, sehingga saat dilakukan pengujian penetrasi konusnya lebih rendah (Zhao & Wei, 2022). Hasil pengujian DCP di ROM 4 dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengolahan data pengujian DCP pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa pada masing-masing STA memiliki daya dukung tanah yang berbeda-beda. Nilai daya dukung tanah pada titik STA 1, STA 2, dan STA 6 secara berurutan yaitu sebesar 140 kPa, 135,3 kPa, dan 124,6 kPa. Nilai yang besar ini disebabkan karena permukaan pengujian masih berupa *overburden* yang terdiri dari batu pasir dan belum dilapisi *bedding coal*. Nilai daya dukung tanah titik STA 3 yaitu sebesar 97,5 kPa karena permukaan pengujian sudah dilapisi *bedding coal* yang sangat tipis. Sedangkan nilai daya dukung tanah titik STA 4 dan STA 5 merupakan titik pengujian yang memiliki nilai paling kecil, secara berurutan yaitu sebesar 78 kPa dan 78,3 kPa.

Perbedaan nilai daya dukung tanah pada masing-masing STA dapat disebabkan oleh adanya perbedaan lapisan pada *base*. Lapisan paling atas pada titik STA 4 dan STA 5 sudah dilapisi *bedding coal* sehingga nilai CBR menjadi kecil. Lapisan *bedding coal* pada permukaan *base ROM* dapat mempengaruhi nilai CBR secara keseluruhan. Nilai CBR *bedding coal* lebih kecil daripada *overburden*, oleh karena itu jika dilakukan perhitungan rata-rata akan mengurangi nilai CBR *base ROM* 4. Rata-rata nilai DCPI yaitu 8 mm/tumbukan, nilai CBR 40 % dan k sebesar 109 kPa. *Base ROM* 4 sudah layak digunakan sebagai *base ROM* karena memiliki tingkat kekuatan yang baik yaitu nilai CBR berada diantara 20-50%.

Korelasi antara DCPI, CBR dan k yaitu nilai DCPI berbanding terbalik dengan nilai CBR dan k. Artinya semakin besar nilai DCPI, semakin kecil nilai k, maka semakin kecil kekuatan daya dukung tanah. Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai DCPI maka semakin besar kekuatan daya dukung tanahnya.

Pengujian selanjutnya yaitu uji berat volume batubara dilakukan di laboratorium. Sampel yang

digunakan yaitu batubara *seam A* dan *seam B*. Hasil pengujian berat volume dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengujian, berat volume *seam A* yaitu 1,05 g/cm³ dan *seam B* yaitu 1,14 g/cm³. Perbedaan berat volume ini dapat terjadi karena faktor kepadatan, porositas material, dan kandungan air. Batubara ini akan menjadi beban yang dapat mempengaruhi daya dukung tanah *base ROM* dan kestabilan lereng.

Perancangan Desain Timbunan Batubara ROM 4

Base ROM 4 memiliki luas 3,72 ha yang terdiri dari *overburden* dan *bedding coal*. Tujuan adanya perlapisan *bedding coal* yaitu untuk menghindari kontaminasi yang dapat merubah kualitas batubara. Bentuk dan pola penimbunan batubara di ROM 4 menggunakan pola penimbunan *Windrow*. Penimbunan ini dilakukan dengan menumpuk batubara kesamping dan memanjang, kemudian dilanjutkan di atas lapisan yang sebelumnya sudah dipadatkan sehingga akan membentuk limas terpancung. Untuk memaksimalkan kapasitas ROM 4 dengan luas area yang sudah disediakan sebelumnya, maka didapatkan perancangan desain timbunan batubara seperti pada Tabel 4. Bentuk rancangan desain timbunan ROM 4 yang memiliki kapasitas maksimum dapat dilihat tampak atas dengan topografi sekitar pada Gambar 5 dan bentuk solidnya pada Gambar 6.

Tabel 2. Hasil pengujian DCP

Nama Titik	DCPI	CBR (%)	k (kPa)
STA 1	7,3	50,6	140
STA 2	6,7	49,8	135,3
STA 3	8,3	35,4	97,5
STA 4	10,3	25,3	78
STA 5	10,4	25,3	78,3
STA 6	6,3	45,9	124,6
Rata-rata	8,0	40,0	109,0

Tabel 3. Hasil uji berat volume batubara

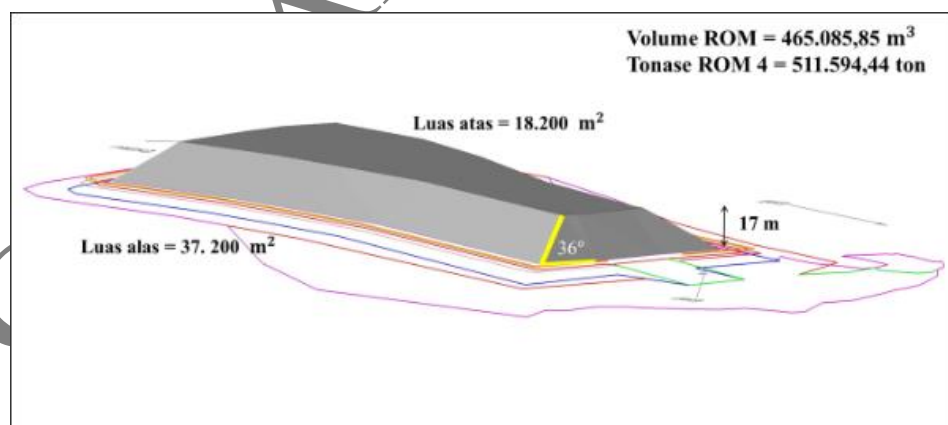
Contoh uji	Berat cawan (g)	Berat cawan + batubara (g)	Berat batubara (g)	Isi batubara (cm ³)	Berat volume (g/cm ³)
Seam A	8,38	68	59,62	56,62	1,05
Seam B	8,6	72,88	64,28	56,62	1,14
Rata-rata					1,10

Tabel 4. Hasil perancangan desain timbunan

No	Dimensi Timbunan Batubara	Nilai
1	Luas alas (ha)	3,72
2	Luas atas (ha)	18,2
3	Tinggi (m)	17
4	<i>Angle of repose</i> (°)	36
5	Volume (m ³)	465.085,85
6	Tonase (ton)	511.594,44



Gambar 5. Desain ROM 4 PT CK



Gambar 6. Rancangan desain timbunan batubara ROM 4

Analisis Kestabilan Lereng di Sekitar ROM 4 Menggunakan LEM

Analisis kestabilan lereng di sekitar ROM 4 yaitu, sisi utara, selatan, barat, timur dilakukan dengan menggunakan *software Rocscience Slide*. Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menghitung nilai faktor keamanan lereng

menggunakan *software Slide* yaitu, berat volume, kohesi, *Phi* (sudut geser tanah), dan nilai *Hu* (mewakili tekanan air pori). Parameter yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Pengolahan data menggunakan *software Slide* akan menghasilkan nilai Faktor Keamanan (FK)

lereng yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng. Setelah tahapan memasukkan parameter pada *software Slide*, kemudian dilanjutkan dengan memasukkan beban yang diterima oleh jalan produksi sebesar 100 kN/m². Keadaan yang dianalisis yaitu saat sebelum pembebanan dan setelah pembebanan timbunan batubara, serta dalam kondisi statis dan dinamis. Kondisi statis adalah kondisi lereng sebelum pembebanan gempa, sedangkan kondisi dinamis adalah kondisi lereng setelah pembebanan gempa. Beban dinamis yang dimasukkan ke dalam *software Slide* yaitu berupa konstanta *seismic load* horizontal dan vertikal secara berurutan yaitu 0,03 kN dan 0,015 kN.

Hasil pemodelan lereng dikomputasi terlebih dahulu, lalu diinterpretasikan menggunakan metode Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer untuk mendapatkan nilai FK. Metode-metode ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan batas, yaitu memperhitungkan kesetimbangan gaya dan momen yang bekerja pada setiap irisannya. Nilai FK yang dijadikan acuan yaitu sesuai dengan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827/

K/30/MEM/2018 lereng keseluruhan dengan tingkat keparahan longsor tinggi. Nilai FK untuk kondisi statis bernilai 1,3-1,5 dan untuk kondisi dinamis bernilai 1,1. Berdasarkan hasil *running* lereng keseluruhan menggunakan *software Slide*, nilai FK pada setiap metode LEM memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan asumsi gaya-gaya yang diperhitungkan oleh masing-masing metode. Metode Bishop tidak memenuhi kesetimbangan gaya tetapi memenuhi kesetimbangan momen. Metode Janbu memenuhi kesetimbangan gaya tetapi tidak memenuhi kesetimbangan momen. Metode Morgenstern-Price dan Spencer memenuhi kesetimbangan gaya dan momen. Hasil analisis nilai FK lereng dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil analisis FK lereng di sekitar ROM 4 menggunakan metode LEM yaitu Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer dalam berbagai macam kondisi berada pada kondisi aman. Nilai FK sebelum dan setelah pembebanan batubara setinggi 17 m dalam kondisi statis lebih besar dari 1,3. Sedangkan nilai FK sebelum dan setelah pembebanan batubara dalam kondisi

Tabel 5. *Material properties* yang digunakan pada *software Slide*

Jenis material	Berat volume (kN/m ³)	Berat volume jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Phi (°)	Hu
Tanah asli	23	23,5	25	25	0,7
Overburden	22,5	23	5	7	1
Lumpur	20,01	-	20,8	37,32	0,8
Batubara	11	-	45	17,53	0,8

Tabel 6. Nilai FK lereng di sekitar ROM 4 sebelum dan setelah pembebanan timbunan batubara

Metode	FK Statis				FK Dinamis			
	Barat	Timur	Utara	Selatan	Barat	Timur	Utara	Selatan
Bishop	1,639	3,074	1,419	2,662	1,52	2,881	1,272	2,415
Janbu	1,479	2,848	1,338	2,443	1,368	2,644	1,198	2,218
Morgenstern-Price	1,633	3,07	1,409	2,662	1,516	2,878	1,269	2,418
Spencer	1,639	3,077	1,433	2,662	1,518	2,881	1,294	2,417

Metode	FK Statis				Dinamis			
	Barat	Timur	Utara	Selatan	Barat	Timur	Utara	Selatan
Bishop	1,636	2,303	1,416	1,591	1,518	2,166	1,28	1,515
Janbu	1,478	2,234	1,302	1,472	1,367	2,084	1,174	1,358
Morgenstern-Price	1,631	2,318	1,412	1,587	1,515	2,189	1,285	1,511
Spencer	1,637	2,323	1,438	1,59	1,518	2,198	1,314	1,517

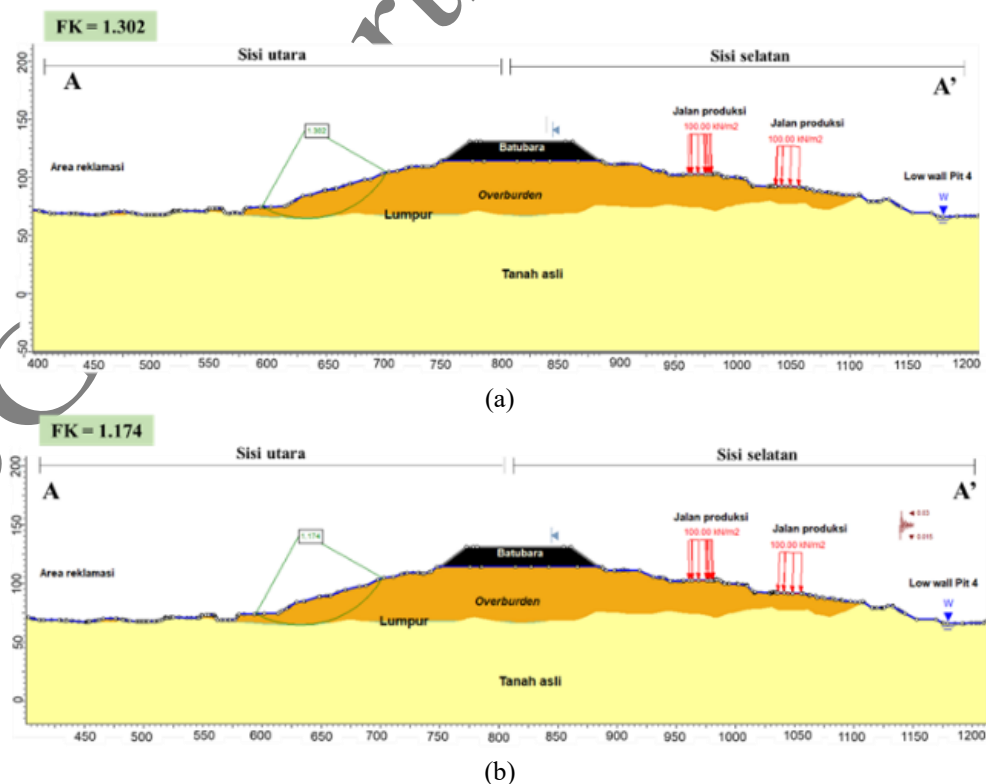
dinamis lebih besar dari 1,1. Nilai FK ini sudah sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM nomor 1827/K/MEM/2018.

Perhitungan nilai FK lereng di sisi utara sebelum dan setelah pembebanan, baik dalam kondisi statis dan dinamis menggunakan metode Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer memiliki nilai paling kecil. Hal ini disebabkan oleh adanya lumpur pada material penyusun lereng. Lumpur yang ada pada lereng yaitu lumpur rawa yang sudah terbentuk sebelum adanya aktivitas penambangan. Lumpur memiliki porositas yang lebih kecil daripada tanah padat. Semakin kecil pori-pori maka semakin sulit air untuk keluar, sehingga air tertahan di dalam lereng. Tekanan air pori menimbulkan gaya angkat yang dapat menambah beban dan menurunkan massa batuan penyusun lereng. Gaya-gaya ini merupakan gaya pendorong lereng yang dapat mengurangi gesekan partikel tanah sehingga dapat menurunkan nilai FK lereng. Dari keempat metode LEM yang digunakan, nilai FK terkecil pada lereng sisi utara didapatkan dari perhitungan menggunakan metode Janbu (Gambar 7). Penampang A-A' pada Gambar 7 menunjukkan sisi utara-selatan.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa metode yang menghasilkan nilai FK paling kecil

yaitu metode Janbu, baik lereng dalam kondisi sebelum dan setelah pembebanan, serta dalam kondisi statis dan dinamis. Metode Janbu menggunakan suatu faktor koreksi (f_0) untuk mengoreksi bentuk gelincir yang tidak berupa busur lingkaran. Bidang longsor pada analisis metode Janbu ditentukan berdasarkan zona lemahnya yang terdapat pada massa batuan. Metode ini juga memperhitungkan seluruh kesetimbangan gaya baik vertikal dan horizontal. Oleh karena itu, nilai FK dari metode ini paling kecil.

Hasil penelitian sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Simatupang dan Iskandar (2013). Metode Janbu memiliki nilai paling kecil daripada metode LEM yang lainnya yaitu Fellenius, Bishop, Morgenstern-Price, dan Spencer. Nilai FK metode Janbu ($FK = 1,618$) hampir mendekati metode FEM ($FK = 1,514$). Metode FEM dianggap lebih akurat karena didasarkan pada hubungan tegangan regangan, redistribusi stress yang baik, dan memperhatikan berbagai parameter seperti modulus elastisitas, poisson ratio, dan indeks plastisitas. Berbeda dengan metode LEM yang hanya memperhitungkan kesetimbangan gaya dan momen.



Gambar 7. Nilai FK lereng sisi utara setelah pembebanan dalam kondisi (a) statis dan (b) dinamis

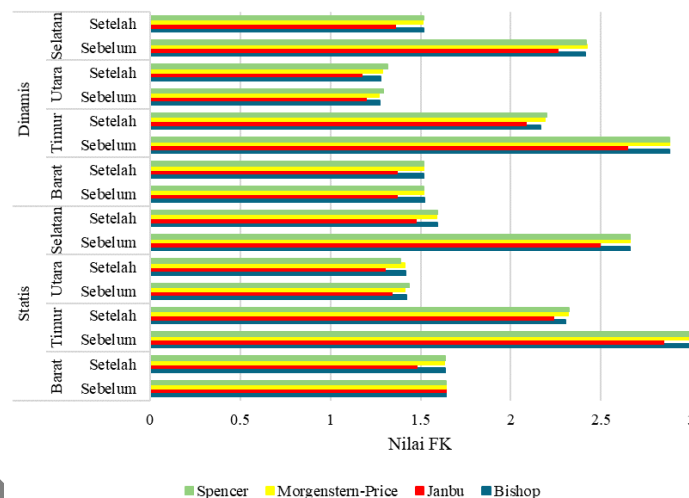
Perbandingan Nilai FK Lereng di Sekitar ROM 4

Nilai FK sebelum pembebanan timbunan batubara lebih besar daripada setelah pembebanan timbunan batubara (Gambar 8). Hal ini dapat terjadi karena beban tambahan batubara menyebabkan ikut bertambahnya tegangan geser pada lereng, sehingga stabilitas lereng menurun. Selain itu, beban tambahan batubara juga menyebabkan tekanan air pori dalam tanah meningkat sehingga kekuatan geser dan kohesi tanah penyusun lereng menurun. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan FK pada lereng.

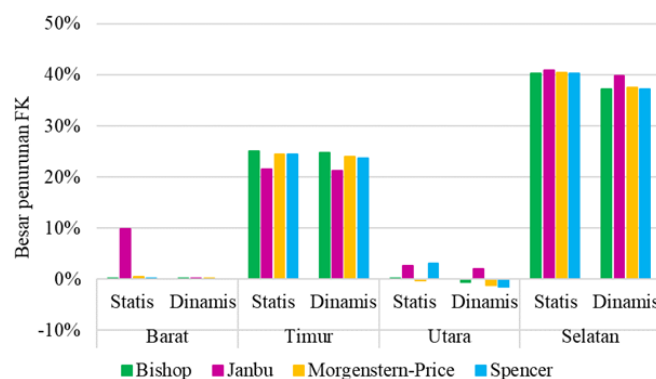
Berdasarkan hasil penelitian pada Gambar 7, nilai FK lereng sebelum dan setelah pembebanan batubara dalam kondisi statis dan dinamis menggunakan metode Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, dan Spencer pada sisi barat relatif sama. Nilai FK dari semua metode pada sisi utara dan timur mengalami penurunan yang sangat besar. Hal ini dapat terjadi karena nilai FK sebelum pembebanan jauh lebih besar daripada

setelah pembebanan. Nilai FK pada sisi utara dalam kondisi statis mengalami penurunan jika dihitung menggunakan metode Bishop, Janbu, dan Spencer, dan peningkatan jika dihitung menggunakan metode Morgenstern-Price. Sedangkan dalam kondisi dinamis, nilai FK mengalami penurunan saat dihitung menggunakan metode Janbu dan peningkatan saat dihitung menggunakan metode Bishop, Morgenstern-Price, Spencer. Meskipun nilai FK mengalami penurunan, lereng di sekitar ROM 4 masih dalam kondisi aman. Besarnya penurunan nilai FK sebelum dan setelah pembebanan batubara dapat dilihat pada Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9, nilai FK lereng kondisi statis mengalami penurunan, kecuali pada lereng sebelah utara saat menggunakan metode Morgenstern-Price mengalami peningkatan 0,21%. Begitupun nilai FK lereng kondisi dinamis bagian utara juga mengalami peningkatan, metode Bishop 0,63%, metode Morgenstern-Price 1,26%, dan Spencer 1,55%.



Gambar 8. Perbandingan nilai FK sebelum dan setelah pembebanan dalam kondisi statis dan dinamis



Gambar 9. Persentase penurunan nilai FK dari sebelum ke setelah pembebanan timbunan batubara

Peningkatan nilai FK dapat terjadi karena adanya lumpur rawa pada lereng. Lumpur rawa memiliki partikel tanah yang lebih banyak daripada lumpur sedimentasi, sehingga lebih mudah dipadatkan (Afrianto & Azmi, 2020). Ketika lumpur dikenai beban timbunan batubara, jumlah beban yang diterima lumpur juga akan bertambah, sehingga lumpur menjadi lebih padat. Selain itu, karena timbunan di atas lumpur terdiri dari *overburden* (dominan tanah berpasir dan lempung), maka air di dalam lumpur akan mudah mengalir keluar sehingga lumpur lebih cepat mengering dan menjadi lebih padat. Lumpur yang padat akan menjadi lebih stabil dan dapat meningkatkan nilai FK.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan desain timbunan batubara ROM 4 yang optimal berdasarkan daya dukung tanahnya memiliki ketinggian maksimum sebesar 17 m, sudut kemiringan timbunan 36° , dan kapasitas sebesar 511.594,44 ton. Nilai FK lereng di sekitar ROM 4 baik sebelum maupun setelah pembebanan dalam kondisi statis lebih besar dari 1,3 dan kondisi dinamis lebih besar dari 1,1. Metode yang menghasilkan nilai FK paling kecil yaitu Janbu. Perbandingan nilai FK dari masing-masing metode LEM, dalam kondisi statis lebih besar daripada kondisi dinamis. Sedangkan perbandingan nilai FK sebelum pembebanan lebih besar daripada setelah pembebanan. Nilai FK lereng di sekitar ROM 4 dinyatakan aman karena sesuai dengan standar ketetapan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827/K/30/MEM/2018.

UCAPAN TERIMA KASIH

Menuliskan ucapan terima kasih, kepada civitas akademika Prodi Teknik Pertambangan Universitas Jember dan PT Cipta Kridatama yang membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, D., Mochtar, I. B., Mochtar, N. E., & Pudir, A. (2023). *Model Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan The Concept of Cracked Soil*. Deepublish.
- Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Dzakir, L., Rembah, R., Salu, S.P., & Kadar, M. I. (2023). Pengaruh Koefisien Seismic Load Terhadap Faktor Keamanan Lereng Pada Penambangan Nikel Di Kecamatan Palangga Selatan Kabupaten Konawe Selatan. *Mining Science And Technology Journal*, 2(1), 82–90. DOI: doi.org/10.54297/minetech-journal.v2i1.448
- Energi, M. (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827K*.
- Herman, D. J. G. (2012). Analisis Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method. *Procceding Konferensi Nasional Geoteknik Indonesia ke, 16*.
- Maharza, C., Koesnaryo, S., Nugraha, A. P., & Simarmata, B. P. (2022). Pengaruh nilai UCS dan GSI dalam menentukan faktor keamanan lereng batuan. *Jurnal Himasapta*, 7(1), 27–32. DOI: doi.org/10.20527/jhs.v7i1.5341
- Muhamad, S., Masri, Hasria. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop di Pit ALC-14 Tambang Batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 8(02), 162–170.
- Naytalia, Z., Rahmi, H., Seprizal, M. F., Agustine, D. W., Permadi, D. A., & Yanottama, A. (2025). Kajian Teknis Daya Dukung Tanah untuk Menentukan Kapasitas Optimum Stockpile Utama PT Putra Muba Coal. *JURNAL RISET RUMPUN ILMU TEKNIK*, 4(1), 196–211. DOI: doi.org/10.55606/jurritek.v4i1.4777
- Pasole, D., Patanduk, J., & Wong, I. L. K. (2020). Analisis Stabilitas Lereng Disposasi Menggunakan Metode Bishop, Janbu, dan Ordinary. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(3), 144–153. DOI: doi.org/10.52722/zwzwje95
- Pratomo, R. P., Putra, A. D., Sulistyorini, R., & Afriani, L. (2021). Hubungan Nilai CBR Laboratorium dengan Pemadatan Modified dan Nilai Dynamic Cone Penetrometer (DCP) di Lapangan. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(4), 485255. DOI: doi.org/10.23960/jrsdd.v9i4.2082
- Renaldy, D., Bahar, H., & Yuwanto, S. H. (2025). Evaluasi Desain Stockpile pada Live Stock BWE 203-MTBU untuk Pencegahan Swabakar Batubara PT. Bukit Asam, Tbk Kecamatan Tanjung Enim Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, 5.

- Salu, S. P., & Munir, A. S. (2023). Analisis Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 11(03), 263–276.
- Salunkhe, D.P., Bartakke, R.N., Chvan, G., Kothavale, P. R., & Digvijay, P. (2017). An overview on methods for slope stability analysis. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(03), 2181–2278. DOI: [dx.doi.org/10.17577/IJERTV6IS030496](https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS030496)
- Saputro, A.S.A. (2022). Analisis Kestabilan Lereng Tambang Batubara Berdasarkan Limit Equilibrium Method dan Finite Element Method di PT. Marunda Graha Mineral Kecamatan Laung Tuhup, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-17*, 394–405.
- Sarmidi, S., Nuryanneti, I., & Prayoga, R. D. (2023). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Excavator Volvo 480 dan Alat Angkut Dump Truck Volvo 400 Pada Penambangan Batubara Di PIT 2 Tambang Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 1(2), 53–60. DOI: doi.org/10.62278/jits.v1i2.11
- Syafei, R. J., & Dewi, A. P. S. (2025). *BUKU SAKU PENGANTAR GEOSLOPE*. Bandung: Widina Media Utama.
- Takwin, G.A., Turangan, A.E., Rondonuwu, S.G. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland). *Tekno*, 15(67), 66-76. DOI: doi.org/10.35793/jts.v15i67.15749
- Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. New York: John Wiley & Sons.
- Zhao, F., & Wei, Y. (2022). Regional characteristics of porosity and permeability of Dahebian Syncline Coal and its application. *Frontiers in Earth Science*, 9, 822322.