

PENGARUH BIDANG DISKONTINUITAS TERHADAP KESTABILAN LERENG TAMBANG STUDI KASUS: LERENG HIGHWALL PIT ‘X’ DAERAH BINUNGAN PT. BERAU COAL

Muhammad Ilham Al Kautsar¹, Nur Khoirullah¹, Hendarmawan¹, Sindhu Umboro²

¹ *Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor*

² *PT Berau Coal*

**Email penulis: muhammad18037@mail.unpad.ac.id*

Naskah Diterima: Juli 2023/Revisi: September 2023 /Disetujui: November 2023

ABSTRAK

PT. Berau Coal adalah perusahaan yang saat ini mengelola tambang batubara dengan metode penambangan terbuka, untuk itu diperlukan analisa geoteknik. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan kestabilan lereng yang ber-diskontinuitas dan tidak ber-diskontinuitas untuk mengetahui pengaruh bidang diskontinuitas terhadap lereng. Metode yang digunakan berupa pengklasifikasian kelas kekuatan batuan berdasarkan nilai *Geological Strength Index* (GSI) yang mana pada daerah penelitian klasifikasi GSI pada batupasir dan batulempung memiliki nilai <42 dan >42 dengan range 42-56 dan 26-30 yang mencakup kelas III,IV,V,dan X. Dilakukan juga analisis kinematik, analisis kesetimbangan batas, dan analisis streogram untuk mencari nilai faktor keamanan (FK). Berdasarkan analisis kinematik untuk menentukan jenis longsoran, dapat terjadi longsoran baji pada area highwall. Analisis kesetimbangan batas dilakukan dengan dua keadaan, yaitu dengan adanya bidang diskontinuitas dengan nilai FK sebesar 1.636 dan tidak adanya bidang diskontinuitas dengan nilai FK sebesar 1.365. Sedangkan pada saat menggunakan analisis streogram memiliki nilai FK 3.4. Pada studi kasus ini, nilai FK pada saat adanya bidang diskontinuitas lebih besar dibandingkan dengan kondisi tidak adanya bidang diskontinuitas disebabkan karena bidang diskontinuitas yang ada memotong lereng kritis pada saat tidak adanya bidang diskontinuitas, hal ini menyebabkan perubahan bidang gelincir menjadi searah dengan bidang diskontinuitas.

Kata kunci: area highwall, bidang diskontinuitas, tipe longsoran, faktor keamanan, material properties

ABSTRACT

PT. Berau Coal is a company that currently manages open-pit coal mines, requiring geotechnical analysis. The purpose of this research is to determine the stability of slopes with and without discontinuities to understand the influence of discontinuity planes on the slopes. The method used involves classifying rock strength based on the Geological Strength Index (Marinos, 2007). In the research area, the GSI classification for sandstone and claystone ranges from <42 to >42, including classes III, IV, V, and X. Kinematic analysis, limit equilibrium analysis, and stereogram analysis are also conducted to determine the factor of safety. Based on kinematic analysis to determine the type of landslide (Wyllie & Mah, 2004), there can be a wedge failure in the highwall area. Limit equilibrium analysis is performed under two conditions: with the presence of discontinuity planes, yielding a factor of safety (FS) value of 1.636, and without the presence of discontinuity planes, yielding an FS value of 1.365. Meanwhile, the stereogram analysis yields an FS value of 3.4. In this case study, the FS value is higher when there are discontinuity planes compared to the condition without discontinuity planes. This is because the existing discontinuity planes intersect the critical slope, causing a change in the sliding plane direction towards the discontinuity plane.

Keywords: highwall and lowwall, discontinuity plane, rockfall type, safety factor, material properties

PENDAHULUAN

Daerah penelitian berada pada wilayah operasi PT Berau Coal yang merupakan perusahaan tambang batubara, seperti pada umumnya di Indonesia metode penambangan yang digunakan oleh PT Berau Coal adalah tambang terbuka (Prabowo et al., 2022). Dalam aktivitas tambang yang menggunakan sistem tambang terbuka, membutuhkan analisa dalam masalah geoteknik, untuk analisis kestabilan lereng pada tambang batubara. Keamanan dalam tambang sangat penting untuk mencapai kesuksesan dalam produksi (Prabowo et al., 2022) dan juga keselamatan kerja. Salah satu faktor yang dapat menghambat kegiatan penambangan ialah fenomena longsor.

Berdasarkan geologi regional, daerah penelitian merupakan zona yang dipengaruhi oleh struktur geologi (Situmorang & Burhan, 2011, dimodifikasi oleh PT. Berau Coal (Anonim, 2020). Longsoran yang disebabkan oleh bidang diskontinuitas juga beberapa kali terjadi di daerah penelitian (Anonim, 2022). Sebagai aplikasi dari geoteknik dibidang rekayasa geologi, perlu diketahui terkait pengaruh bidang diskontinuitas atau struktur-struktur geologi terhadap kestabilan lereng tambang (Euginia, 2020). Untuk penelitian kali ini, jenis struktur geologi yang diamati dibatasi pada struktur kekar dan bidang perlapisan.

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kestabilan lereng untuk menentukan nilai faktor keamanan dengan adanya bidang diskontinuitas dan tidak adanya bidang diskontinuitas. Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Sustriani et al. (2019) dimana pada penelitian tersebut dilakukan analisis kestabilan lereng dengan maksud menentukan pengaruh bidang diskontinuitas terhadap lereng, hasil dari penelitian tersebut menyatakan adanya bidang diskontinuitas dengan arah tertentu dapat menurunkan atau menaikkan nilai faktor keamanan lereng. Untuk itu, penting untuk mengetahui pengaruh bidang diskontinuitas terhadap kestabilan lereng untuk menentukan karakteristik bidang diskontinuitas yang menambahkan atau mengurangi nilai kestabilan lereng.

METODOLOGI

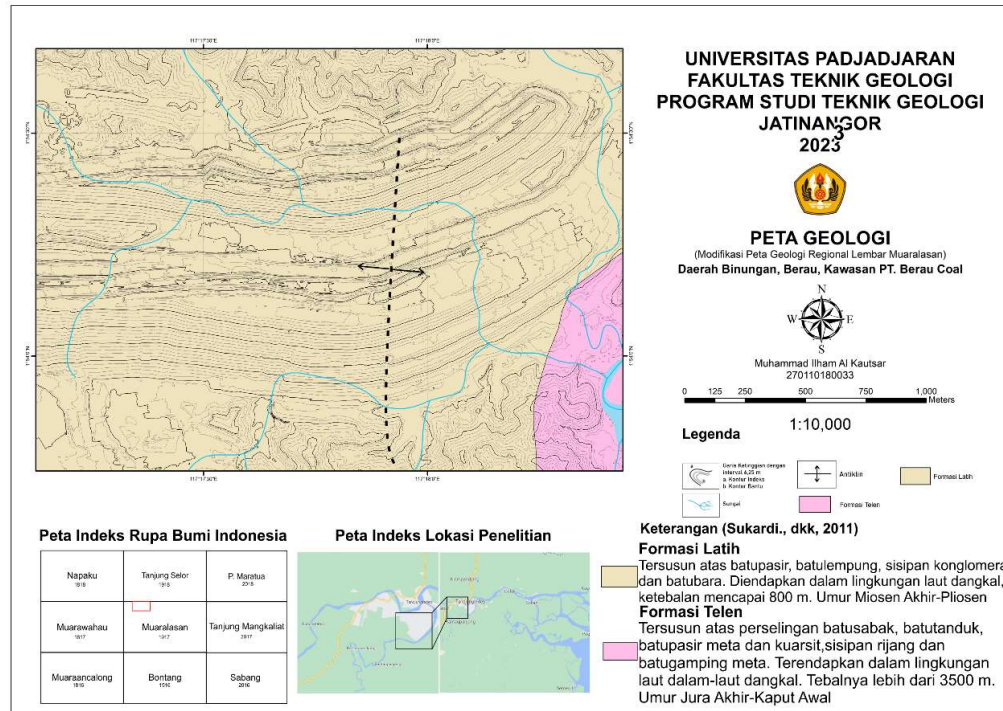
Objek penelitian yang diamati yaitu lereng batuan pada area *highwall* Pit X PT. Berau Coal, objek yang diamati berupa batupasir, pasir, batulempung, batubara lempung, dan batubara. Pengambilan data struktur kekar dan geometri lereng menggunakan penginderaan jauh dibantu dengan *software maptek 7.0*. Kemudian dilakukan analisis kinematik untuk menentukan tipe longsoran dibantu dengan *software rocscience dips* yang kemudian dicocokkan dengan syarat-syarat longsoran berdasarkan (Hoek & Bray, 1977). Selanjutnya, dalam penentuan kelas kekuatan massa batuan digunakan tabel *Geological Strength Index* untuk nantinya digunakan dalam analisis kestabilan lereng menggunakan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek Brown*. Kemudian, dilakukan uji kuat tekan dan kuat geser.

Setelah mendapatkan data-data tersebut, dalam penentuan nilai faktor keamanan, dilakukan menggunakan analisis kinematik dengan bantuan *software swedge 7.0* dan analisis kesetimbangan batas dengan metode Morgernstern-Price dengan bantuan *software slide 6.0*. Kemudian hasil nilai faktor keamanan dari masing-masing analisis dibandingkan untuk menentukan pengaruh dari bidang diskontinuitas terhadap kestabilan lereng.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. *Stratigrafi Daerah Penelitian*

Pada daerah penelitian hanya terdapat satu formasi geologi, yaitu Formasi Latih (**Gambar 1**).

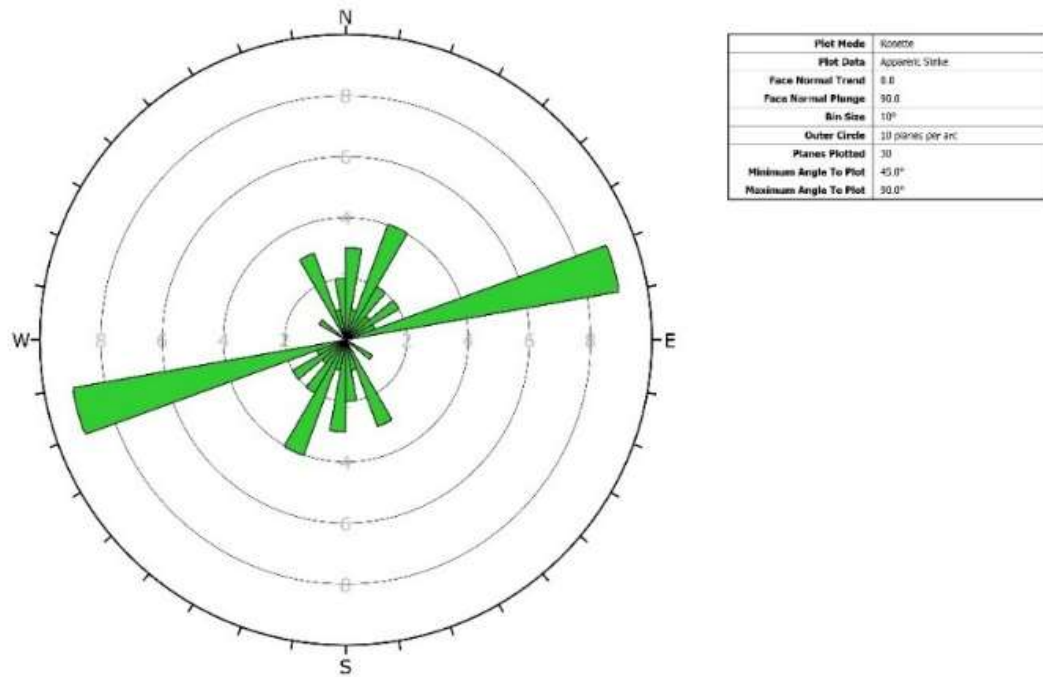


Gambar 1 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian

Formasi ini sendiri terdiri dari batupasir kuarsa, batulempung, batulanau, dan batubara pada bagian atas bersisipan serpihan pasir dan batugamping dibagian bawahnya (Situmorang & Burhan, 1995). Hal ini dibuktikan dari data titik bor, yaitu titik II-18-002 yang memiliki litologi batulempung berwarna abu-abu terang, batupasir berwarna abu-abu pucat, batubara memiliki warna hitam dan batubara lempungan memiliki warna abu-abu gelap. Selain itu, penciri bahwa daerah penelitian berada Formasi Latih adalah tebal batubara yang berkisar 0.2-5.5m dan ketebalan formasi hingga 800 m yang mana pengeboran pada penelitian ini hanya maksimal 200m.

b. *Struktur Geologi Daerah Penelitian*

Struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian berupa bidang kekar. Orientasi bidang kekar utara-selatan, timur laut-barat daya, dan barat laut-tenggara. Berdasarkan orientasi arah struktur yang didapat, secara garis besar orientasi struktur tersebut mengikuti struktur regional yang ada pada daerah penelitian, seperti Antiklin Kelay (utara-selatan), Sesar Merasa (timur laut – barat daya), dan Sesar Sidung (tenggara - barat daya) (Gambar 2).

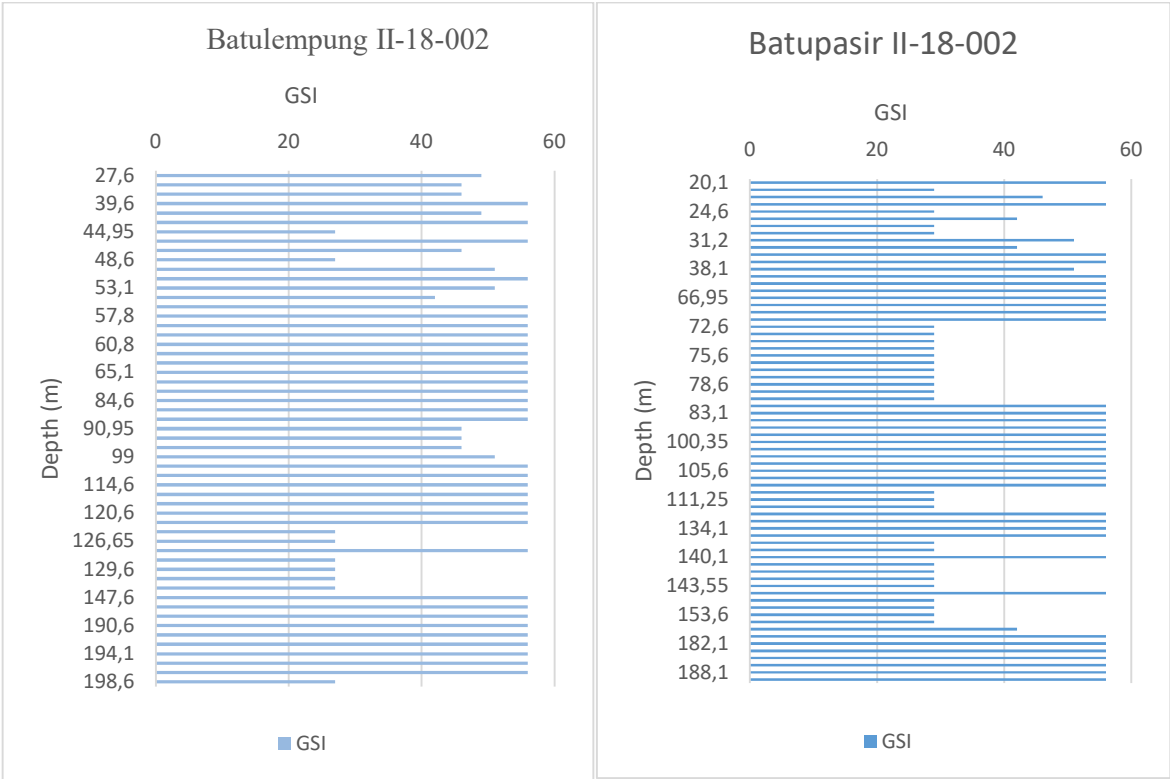


Gambar 2 Kelurusan Struktur Yang Berkembang Pada Daerah Penelitian

c. *Kondisi Kekuatan Massa Batuan*

Kekuatan massa batuan didapatkan melalui hasil pengamatan *logbore* II-18-002 dikarenakan *logbore* tersebut menjadi representatif daripada lereng daerah penelitian. Pada pengamatan ini, dilakukan pengamatan terhadap batulempung dan batupasir berdasarkan nilai GSI untuk mengetahui kekuatan massa batuan. Pada batulempung dan batupasir nilai GSI variative, terlihat bahwa nilai GSI yang dominan pada kedua litologi tersebut >42 sedangkan hanya sebagian kecil nilai GSI <42 (Grafik 1) untuk itu perlu dibagi satuan batulempung dengan nilai GSI >42 dan <42 . Namun sudah sewajarnya juga dilakukan validasi menggunakan deskripsi kekerasan batumannya. Menurut klasifikasi *Geological Strength Index such as Flysch* (Marinos,2017) kekuatan massa batuan batulempung dan batupasir berada pada range tipe III,IV,V,VI,dan X dengan nilai GSI 42-56 dan 26-29.

Kemudian untuk batubara dan batubara lempungan memiliki klasifikasi *Geological Strength Index* (Marinos,2017) pada tipe X. Namun terdapat satuan batupasir yang mengalami *coreloss* pada saat pengambilan sampel, batupasir ini diindikasikan sebagai batupasir yang tidak merekat (*loose*), sehingga mempunyai nilai kohesi = 0, untuk itu terdapat satuan pasir yang mengalami *coreloss*.



Gambar 3 Grafik kondisi kekuatan massa batuan

d. *Material Properties*

Sifat material yang tersedia pada penelitian kali ini mengacu pada dua *logbore* yaitu II-18-001 dan II-18-002. Uji sifat fisik dan mekanik dilakukan pada litologi batulempung, batupasir, dan batubara. Hasil uji ini berupa sudut gesek dalam, kohesi, *unit weight*, dan *uniaxial compressive strength* (UCS) (Tabel 1).

Tabel 1 Nilai *Mechanical Properties* dan *Physical Properties*

No	Litologi	Logbore	Depth	Physical Properties	Mechanical Properties		
				Unit Weight (kN/m ³)	C (Mpa)	Phi	UCS (Mpa)
1	Batupasir	II-18-001	15.05-15.4	19.2			0.99
2	Batulempung	II-18-001	29.55-29.9	20.03	0.093	43.21	
3	Batulempung	II-18-001	54.6-54.95	21.2	0.075	38.04	
4	Batulempung	II-18-001	67.15-67.5	18.2			2.24
5	Batulempung	II-18-001	88.65-89	15.3			7.72
6	Batupasir	II-18-002	23.1-23.4	19.3			0.52
7	Batulempung	II-18-002	28.4-28.75	18.3			2.65
8	Batupasir	II-18-002	34.75-35.1	20.3	0.175	52.24	
9	Batulempung	II-18-002	40.35-40.70	19.7	0.126	35.55	
10	Batulempung	II-18-002	56.65-57	15.2			10.52
11	Batulempung	II-18-002	67-67.35	14.6			7.85

**PENGARUH BIDANG DISKONTINUITAS TERHADAP KESTABILAN LERENG TAMBANG STUDI KASUS: LERENG
HIGHWALL PIT 'X' DAERAH BINUNGAN PT. BERAU COAL**

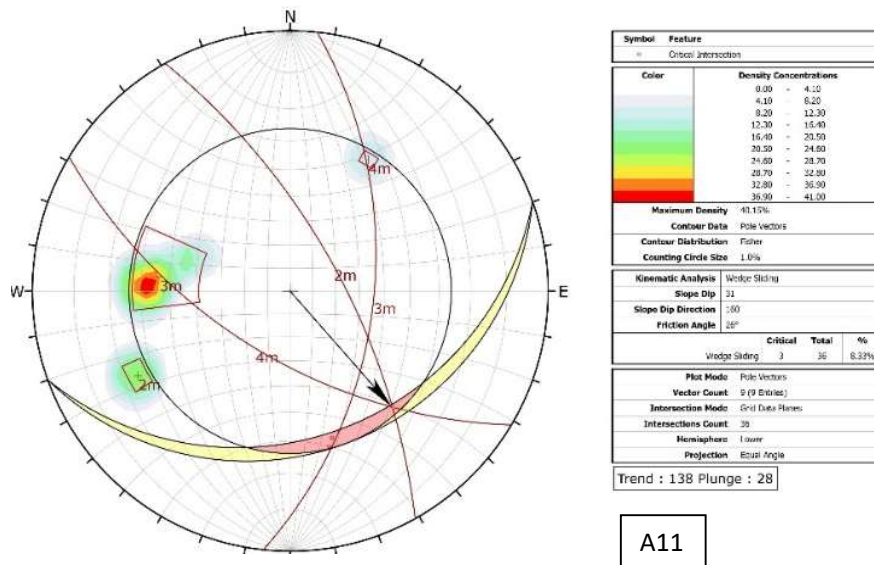
12	Batupasir	II-18-002	71.5-71.85	19.5	0.071	50.45	
13	Batulempung	II-18-002	82.85-83.1	13.8	0.128	37.54	
14	Batubara	II-18-002	89.5-89.8	13			5
15	Batulempung	II-18-002	99.5-99.85	15			0.83
16	Batupasir	II-18-002	103.2-103.55	16.3			1.38
17	Batupasir	II-18-002	134.67-135	19.8			0.99
18	Batulempung	II-18-002	159.95-160.3	13.6			7.85
19	Batulempung	II-18-002	182.5-182.85	18	0.101	46.84	
20	Batulempung	II-18-002	191.65-192	21	0.064	43.33	

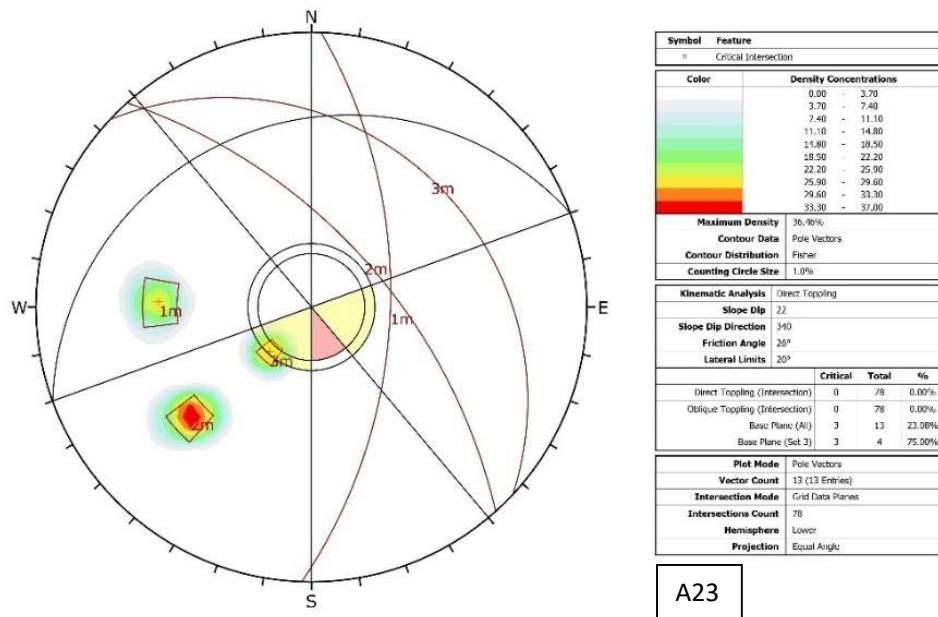
Dalam penelitian ini, setiap variabel digunakan untuk menjadi input pada model. Untuk inputnya sendiri, material properties yang diinput berdasarkan tiap kedalaman litologi yang digunakan. Pada penelitian ini, digunakan jenis input berupa kohesi, phi dan GSI, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) tergantung pada ketersediaan datanya.

Pada batulempung memiliki dua ciri-ciri, yang mana ada yang terdapat sisipan didalamnya dan tidak ada. Untuk batupasir juga memiliki dua ciri-ciri ada yang memiliki besar butir yang lebih besar dan lebih kecil, berikut deskripsi lapangan berdasarkan (AS 1726 : 2017) batulempung low dan medium serta batupasir very low dan extremely low.

e. Analisis Kinematik

Terdapat empat area lereng yang dilakukan analisis, yaitu area A11, A13, A14, dan A21. Area A11 berada pada highwall daerah penelitian, berdasarkan analisis kinematik memiliki potensi terjadinya longsoran baji dengan nilai PoF 8.33%, area A21 berada pada lowwall daerah penelitian memiliki potensi terjadinya longsoran direct toppling base plane dengan PoF 75% artinya ada potensi untuk menjadi release surface namun tidak ada potensi untuk menjadi bidang gelincir. Untuk Area A13 dan A 14 tidak memiliki nilai PoF (0%)



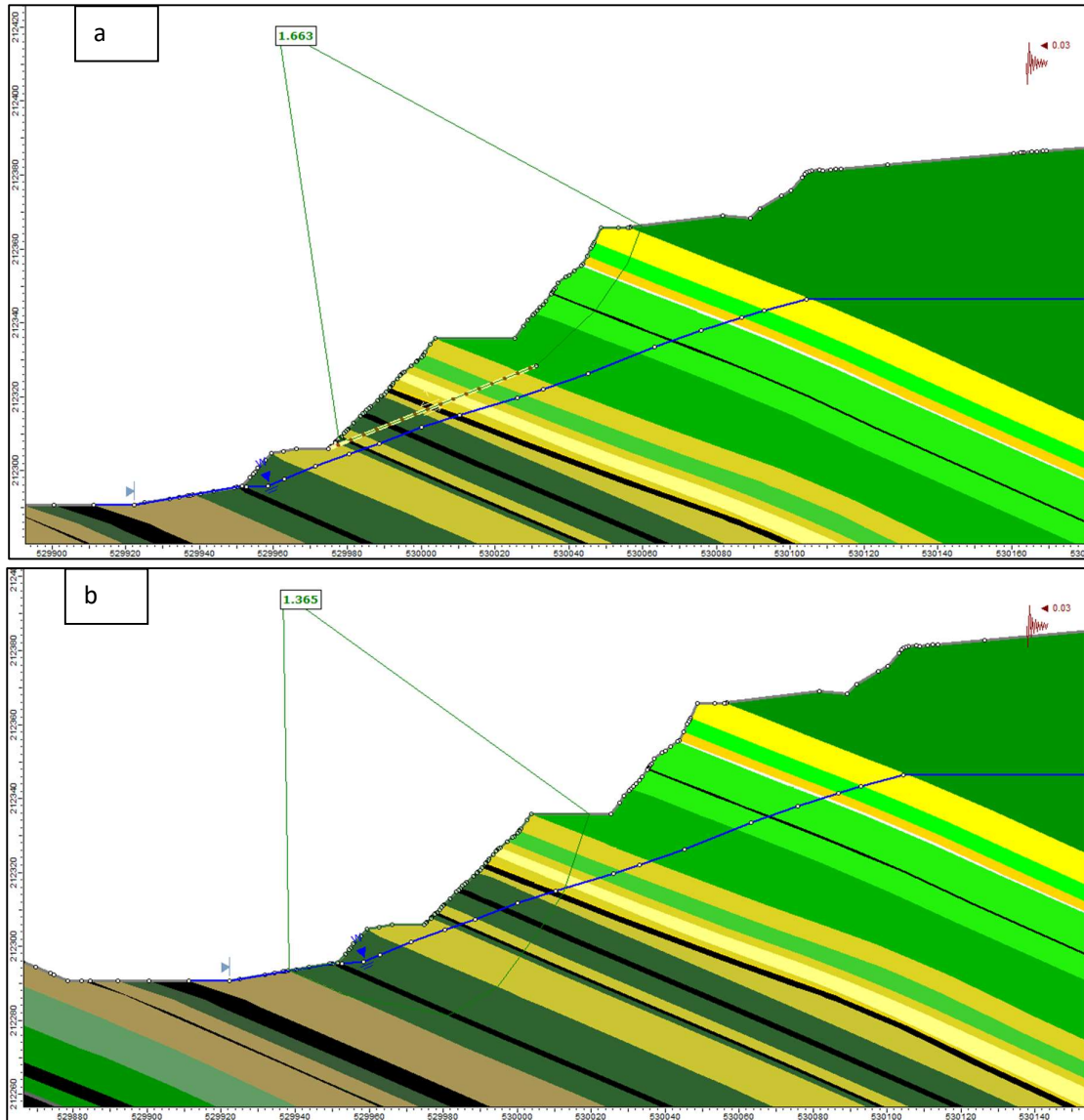


Gambar 4 Hasil Analisis Kinematik

f. Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng menggunakan dua metode, yaitu analisis kesetimbangan batas dan analisis kinematik untuk menentukan faktor keamanan. Analisis diatas difokuskan pada *highwall* Pit'X'' yang sudah ditentukan. Pada analisis kesetimbangan batas, dilakukan menggunakan dua (2) tipe keruntuhan yaitu (*Generalized Hoek Brown* dan *Mohr-Coulomb*) dan dengan dua kondisi, kondisi adanya faktor bidang diskontinuitas dan tidak adanya bidang diskontinuitas.

Lereng *highwall* memiliki ketinggian 74m dengan sudut lereng sebesar 31°. Dalam analisis kestabilan lereng dengan *LIMIT EQUIBRILLIUM* memiliki dua kondisi, yaitu kondisi dengan adanya bidang diskontinu dan tidak adanya bidang diskontinu. Analisis dalam kondisi adanya bidang diskontinuitas, bidang gelincir yang terbentuk mengikuti arah dari bidang diskontinuitas yang teridentifikasi dengan nilai faktor keamanan **1.663** (Gambar 4 a). Sedangkan bidang gelincir yang terbentuk saat tidak adanya bidang diskontinuitas berada pada seluruh *bench* lereng tersebut dengan nilai faktor keamanan sebesar **1.365** (Gambar 4 b). Berdasarkan Kepmen ESDM No 1827, maka nilai faktor keamanan lereng tersebut dalam kondisi yang bisa diterima.



Gambar 5 Simulasi Penentuan Nilai Faktor Keamanan dengan adanya bidang diskontinuitas

Untuk nilai faktor keamanan dengan analisis kinematik memiliki nilai FK 3.5 dengan input berupa orientasi bidang kekar JS 331/68 dan JS2 121/61, dengan nilai *propertiesnya* berupa kohesi 51 kPa dan sudut gesek dalam 26°, nilai ini didapatkan melalui hasil dari uji kuat geser residual dari batupasir pada kedalaman tersebut.

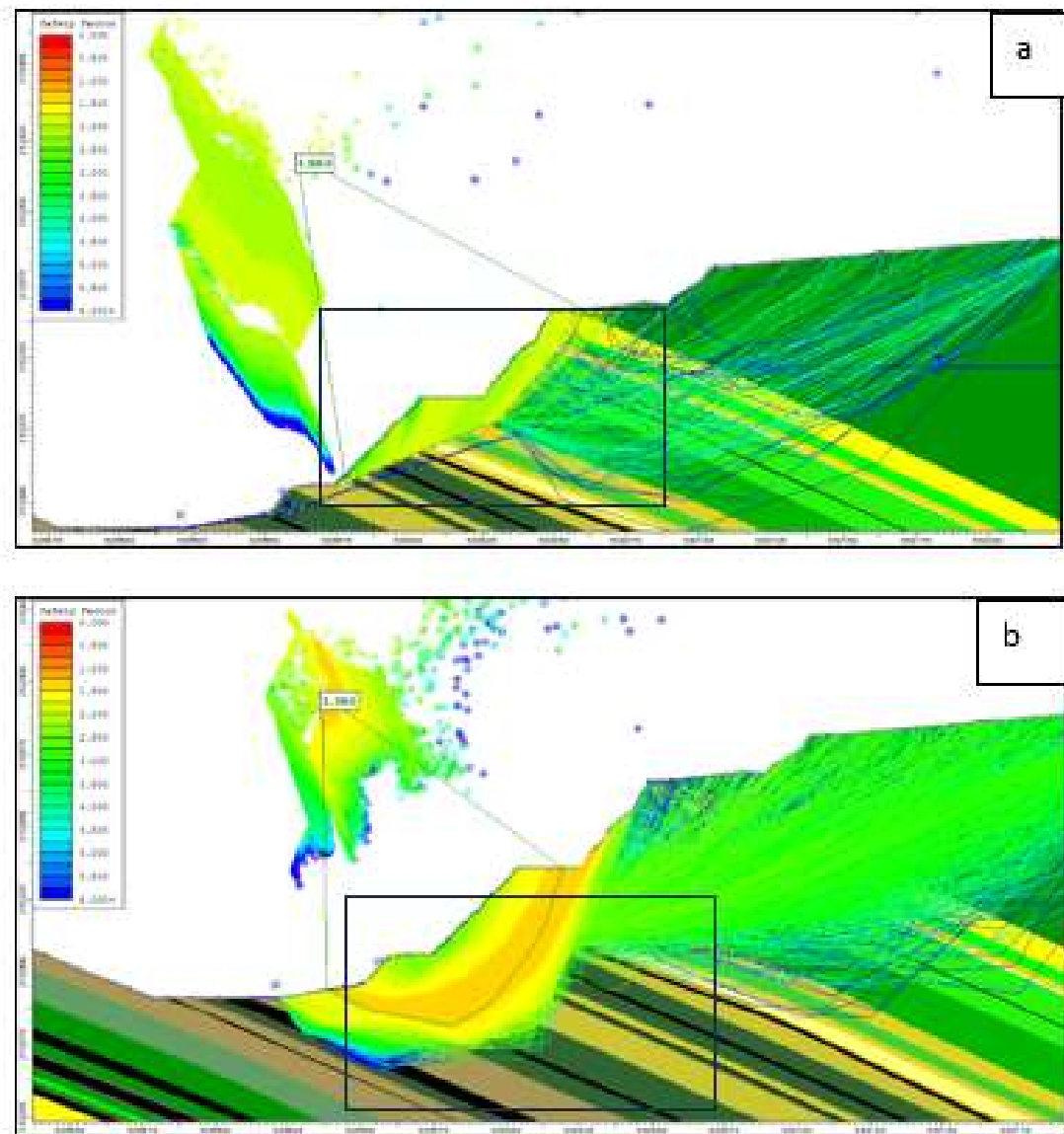
g. Faktor Penentu Nilai Faktor Keamanan

Setelah dilakukannya analisis kestabilan lereng dengan analisis kinematik dan *LIMIT EQUIBRILLIUM METHOD* (LEM) menggunakan tipe keruntuhan *Mohr-Coulomb* dan *Generalized Hoek Brown* yang ber-diskontinuitas dan tidak ber-diskontinuitas, hasil dari analisis tersebut dapat disimpulkan terdapat 2 faktor yang menentukan nilai faktor keamanan,

yaitu faktor bidang diskontinuitas dan *material* dari lereng tersebut. Faktor bidang diskontinuitas yang berpengaruh pada penelitian ini berupa bidang kekar dan bidang perlapisan.

1. Faktor Bidang Diskontinuitas

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng, faktor bidang diskontinuitas berpengaruh terhadap penentuan nilai faktor keamanan. Hasil yang didapatkan dengan simulasi analisis kestabilan lereng tambang menggunakan metode limit equilibrium dengan kondisi memiliki bidang diskontinuitas mempunyai nilai FK 1.663, sedangkan yang tidak memiliki bidang diskontinuitas mempunyai nilai FK 1.365.



Gambar 6 (a) Bidang gelincir saat adanya bidang diskontinuitas (b) Bidang gelincir saat tidak adanya bidang diskontinuitas

Pada gambar 6 (b) dapat terlihat bahwa bidang gelincir yang terbentuk berada pada wilayah yang ditandai, terlihat bahwa bidang gelincir terbentuk sepanjang bench, namun jika melihat gambar 6 (a) terdapat sebagian wilayah bench yang terpotong oleh bidang diskontinuitas yang menyebabkan bidang gelincir yang terbentuk berubah sehingga nilai FK yang didapatkan pun berbeda.

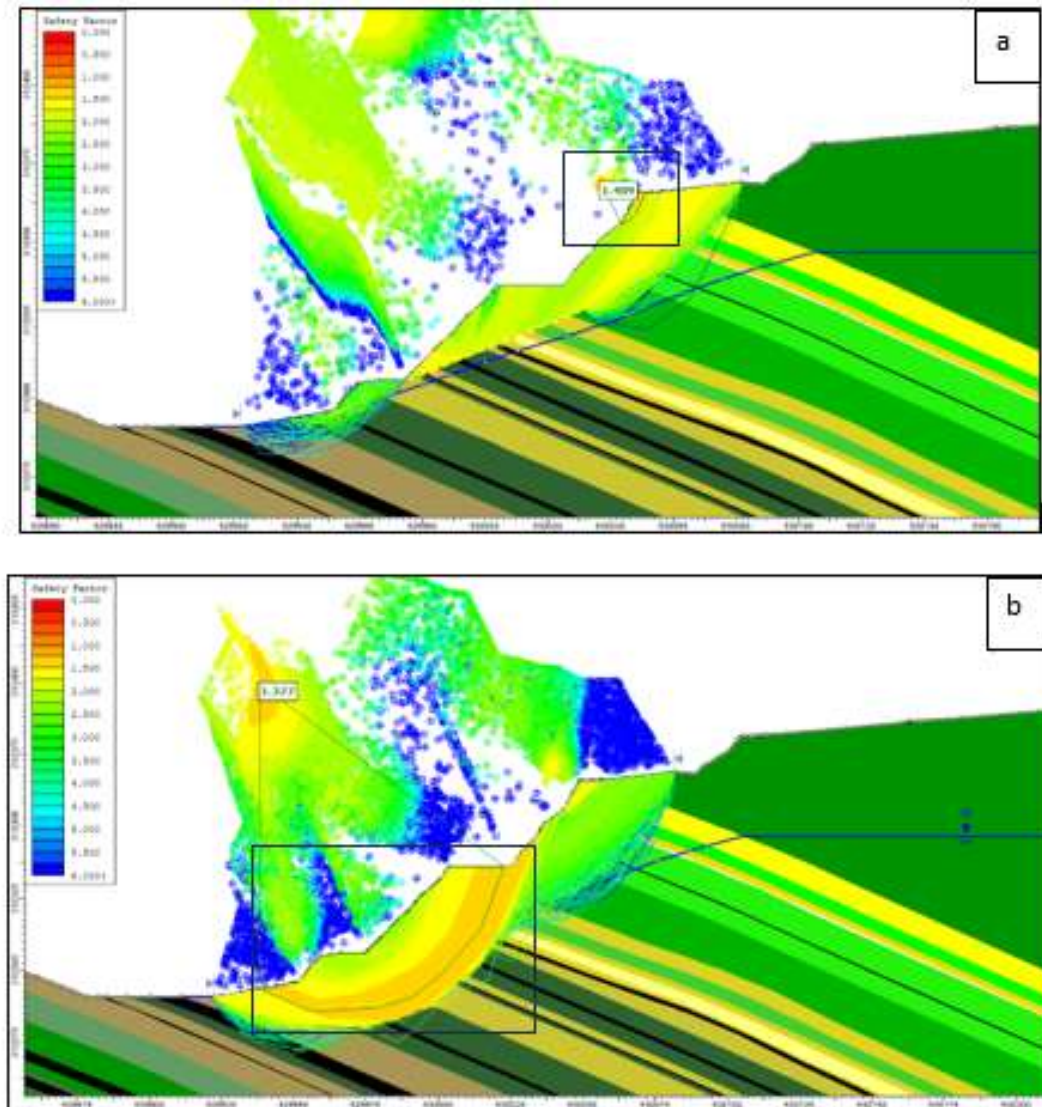
2. Faktor *Material Properties*

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng, faktor material properties juga berpengaruh terhadap nilai FK yang didapatkan. Hal ini dapat juga dibuktikan dengan melihat nilai FK pada analisis kestabilan lereng highwall menggunakan metode analisis kinematik dan LIMIT EQUIBRILLIUM METHOD (LEM). Pada analisis kestabilan lereng highwall menggunakan analisis kinematik, nilai material properties yang digunakan hanya material properties dari bidang diskontinuitas tersebut dengan nilai FK sebesar 3.4, sedangkan pada analisis kestabilan lereng dengan LIMIT EQUIBRILLIUM METHOD (LEM) nilai material properties yang digunakan ialah semua litologi yang ada dan juga bidang diskontinuitas tersebut dengan nilai FK sebesar 1.663.

h. Diskusi

Pada masing-masing analisis, baik analisis kinematik dan *LIMIT EQUIBRILLIUM METHOD* (LEM) keduanya menggunakan diskontinuitas sebagai parameter. Namun terdapat perbedaan dalam nilai FK dari masing-masing analisis, perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu geometri lereng, parameter fisik dan mekanik yang digunakan dalam menghitung faktor keamanan. Pada analisis kinematik parameter fisik dan mekanik yang digunakan hanya bidang diskontinuitasnya saja, sedangkan pada analisis menggunakan *LIMIT EQUIBRILLIUM METHOD* (LEM), parameter fisik dan mekanik yang digunakan berupa semua litologi yang ada pada suatu lereng.

Dalam simulasi yang dilakukan untuk menentukan nilai FK, dapat terlihat bahwa bidang diskontinuitas tidak selalu menurunkan nilai FK, pada kasus ini, dalam kondisi adanya bidang diskontinuitas, nilai FK yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan tidak adanya bidang diskontinuitas. Hal ini dikarenakan bidang gelincir yang seharusnya jatuh menjadi tidak kritis dikarenakan terpotong oleh bidang diskontinuitas yang ada. Pada simulasi juga dilakukan beberapa simulasi lain untuk memvalidasi kondisi tersebut, dan semua simulasi menyatakan bahwa nilai FK saat adanya bidang diskontinuitas lebih besar dibandingkan saat tidak adanya bidang diskontinuitas. (Gambar 7)



Gambar 7 (a) Bidang gelincir saat adanya bidang diskontinuitas (b) Bidang gelincir saat tidak adanya bidang diskontinuitas

Dalam simulasi kali ini hanya berbeda dalam penggunaan search method, yaitu dengan Cuckoo Search dan Particle Swarm Optimization, namun bidang gelincir yang terbentuk saat adanya bidang diskontinuitas (Gambar 7 (a)) berbeda, yaitu hanya terbentuk di atas bench lereng dengan nilai FK 1.409, sedangkan simulasi saat tidak adanya bidang diskontinuitas memiliki bidang gelincir dan nilai FK yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat dua kemungkinan untuk nilai FK terkecil saat adanya bidang diskontinuitas yaitu pada kaki bench (Gambar 7 (a)) dan bagian atas bench (Gambar 7 (a)).

KESIMPULAN

Pada daerah penelitian terdapat empat jenis litologi, yaitu batupasir, batulempung, batubara, dan batubara lempungan, memiliki kelas kekuatan batuan antara tipe III-VI dan VIII-IX untuk batupasir dan batulempung, sedangkan untuk batubara memiliki tipe VII-VIII berdasarkan klasifikasi Geological Strength Index (Marinos, 2017). Dalam penelitian ini terdapat 4 area pada *lowwall* dan *highwall* daerah penelitian yang dianalisis kinematik untuk mengetahui potensi terjadinya longsor. Pada *highwall* A11 memiliki nilai kemungkinan longsor jenis baji sebesar 8.33%, sedangkan di *lowwall* memiliki kemungkinan jenis longsor *toppling base plane* sebesar 75% artinya ada potensi untuk menjadi *release surface* namun tidak berpotensi menjadi bidang gelincir. Untuk area A13 dan A14 tidak memiliki potensi longsor. Untuk itu area *highwall* menjadi perhatian dalam penelitian kali ini dikarenakan memiliki potensi terjadinya longsor, untuk itu dilakukan analisis kestabilan lereng menggunakan metode *limit equilibrium* dan analisis kinematik. Nilai faktor keamanan pada *highwall* dengan kondisi tidak adanya bidang diskontinuitas memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1.365. sedangkan pada kondisi adanya bidang diskontinuitas memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1.663. Berdasarkan hasil tersebut, nilai faktor keamanan tidak selalu mengurangi nilai faktor keamanan, hal ini mungkin terjadi karena bidang gelincir yang seharusnya terbentuk terpotong oleh bidang diskontinuitas sehingga bidang gelincir berubah dan mempengaruhi nilai faktor keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2020). Struktur Geologi Regional Terbaru. *Unpublished*
- Anonim, (2016). Kajian Geoteknik Longsoran Baji Highwall BMO Area 1. *Unpublished*
- Anwar, H., Rai, A., & Kresna W.R. (2018). Pengaruh bidang diskontinu terhadap kestabilan lereng tambang studi kasus lereng PB9SP tambang terbuka Grasberg. *Geomine*, 6(1).
- Aprilia, J., Muslim, D., Zakaria, Z., & Tedy, O. (2019). Evaluasi kestabilan lereng tambang batubara PIT 'XY' menggunakan Metode Kesetimbangan Batas PT. Bukit Asam Tbk. *Padjadjaran Geoscience Jurnal*, 3(3).
- Arif, I. (2016). Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Gramedia Pustaka Utama.
- Australia & New Zealand Committee CE-015. (2017). *Geotechnical site investigations*. Australia : Standards Australia Limited.
- Das, B.M. (2019). *Advanced Soil Mechanics Fifth Edition*. New York : CRC Press.
- Dipatunggoro, G. (2007). *Low rank coal* Formasi Sajau daerah Teluk Semanting dan Tanjung Batu Kecamatan Pulai Derawan, Kabupaten Berau-Kalimantan Timur. *Bulletin of Scientific Contribution*, 5(2), 83-93.
- Gloria, E., Sophian, R. I., Zakaria, Z., & Pujiastuti, K. (2020). Stabilitas lereng dinding utara (Section XY) desain fase 7 tambang terbuka Batu Hijau berdasarkan Kinematik. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 4(3).
- Nainggolan, A., & Sophian, I. (2020). Pengaruh *Rock Mass Rating* terhadap tingkat kestabilan lereng pada PT. Holcim Indonesia Unitr Narogong. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 4(1).
- Marinos, V. (2014). Tunnel behaviour and support associated with the weak rock masses of flysch. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(3), 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.04.003>

- Marinos, V. (2019). A revised, geotechnical classification GSI system for tectonically disturbed heterogeneous rock masses, such as flysch. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(2), 899–912. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1151-z>
- Prabowo, B., Setiawan, H., & Indrawan, I. (2022). Analisis kestabilan lereng tambang terbuka Blok A Sisi Timur Daerah Tanjung Lalang, Kecamatan Tanjung Agung, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Sosial dan Teknologi*, 2(1) : 1772-1785. Diakses pada: <http://sostech.greenvest.co.id>.
- Rachman, S., Muslim, D., Sulaksana, N., & Burhannudinnur, M. (2019). Karakteristik kestabilan lereng daerah Jatigede Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat berdasarkan analisis kinematik. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), 89–96. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol15.No2.2019.1009>
- Shukla, S. K., Shahin, M. A., & Abu-Taleb, H. (2015). *A Note on Void Ratio of Fibre-Reinforced Soils. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(3). <https://doi.org/10.1007/s40891-015-0030-6>
- 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.
- Tubagus W.R., Maryanto., & Amukti, R. 2019. Analisis kestabilan lereng tambang batubara dengan Metode Kesenjangan Batas di PT Bukit Makmur Mandiri Utama *jobsite* Geo Energy Group “Kapuas Coal Project”, Blok Maharu, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 5(1).
- Wyllie, D., & Mah, C . (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th Edition*. New York : Spon Press.
- Wu, Ak. (2012). *Locating General Failure Surfaces in Slope Analysis via Cuckoo Search*. ROCSCIENCE INC. Diakses pada : <https://static.rocscloud.com/assets/verification-andtheory/Slide2/Cuckoo Search>.
- Yang, B., & Elmo, D. 2022. Why Engineers Should Not Attempt to Quantify GSI. Dalam *Geosciences (Switzerland)* (Vol. 12, Nomor 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/geosciences12110417>
- Zhang, L. (2017). Rock Masses. Dalam *Engineering Properties of Rocks* (hlm. 137–171). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802833-9.00005-5>
- Zakaria, Z. (2011). Analisis Kestabilan Lereng Tanah. *Teknik . Laboratorium Geologi*