

Studi Kestabilan Lereng *Highwall* Berdasarkan Metode Kesetimbangan Batas Di C_v Gudang Hitam Prima Kecamatan Sanga Sanga Kabupaten Kutai Kartanegara

**Andini Dwi Wahyu Garini¹, Tommy Trides², Harjuni Hasan³,
Revia Oktaviani⁴, Albertus Juvensius Pontus⁵**

Universitas Mulawarman
andinidwiwahyu@gmail.com

Abstrak:

Aktivitas penambangan yang berhubungan dengan penggalian pada lereng akan menghasilkan potensi bahaya, terutama pergerakan material dalam bentuk longsor sehingga diperlukan mengetahui kondisi kestabilan lereng. Terdapat berbagai metode untuk menganalisis kestabilan lereng, salah satunya dengan metode kesetimbangan batas menggunakan metode *Morgenstern-Price* yang didasarkan pada nilai faktor keamanan (FK). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kestabilan lereng *highwall* berupa nilai keamanan dan nilai probabilitas kelongsoran, serta dapat mengetahui geometri optimal pada lereng. Metode yang digunakan dalam menentukan faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran yaitu metode kesetimbangan batas *Morgenstern-Price* dengan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* pada kondisi lereng statis dan dinamis. Parameter masukan yang digunakan dalam analisis yaitu bobot isi, nilai kuat tekan (UCS), *geological strength index* (GSI), *disturbance factor* (D), konstanta batuan utuh (*mi*), konstanta *mb*, konstanta *s*, dan *a*, nilai koefisien *Hu*, serta faktor kegempaan (*seismic load*). Kondisi lereng lereng *highwall* pada section C-C' dan section F-F' menunjukkan kondisi stabil. Sedangkan pada *highwall* section D-D' menunjukkan kondisi kritis di mana nilai FK statis 1,27 dengan PK statis 2,76% dan FK dinamis 1,18 dengan PK dinamis 11,27% sehingga diperlukan perbaikan lereng. Geometri optimal perbaikan lereng *highwall* yaitu konfigurasi lereng *highwall* dengan tinggi 90 m dan sudut 34°, ditunjang dengan lereng tunggal dengan tinggi 12 m dan sudut 40°.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Probabilitas Kelongsoran, Kesetimbangan Batas, Generalized Hoek-Brown

Abstract:

Mining activities related to excavation on slopes will produce potential hazards, especially the movement of material in the form of failure, so it is necessary to know the condition of slope stability. There are various methods to analyze slope stability, one of which is the equilibrium method using *Morgenstern-Price* method which is based on the value of the safety factor (FS). Therefore, this study aims to determine the stability conditions of *highwall* and *lowwall* slopes in the form of safety factor and probability failure and can determine the optimal geometry on *highwall* slopes. The method used in determining the safety factor and probability failure is the limit equilibrium method *Morgenstern-Price* with the *Generalized Hoek-Brown* collapse criterion under static and dynamic slope conditions. The input parameters used in the analysis are unit weight, uniaxial compressive strength (UCS), *geological strength index* (GSI), *disturbance factor* (D), intact rock constant (*mi*), *mb* constant, *s* and *a* constant, *Hu* coefficient value, and seismic load factor.

The condition of the slopes of the *highwall* slopes in section C-C' and section F-F' shows stable conditions. While the D-D *highwall* section shows a critical condition where the static FK value is 1.27 with a static PK of 2.76% and dynamic FK of 1.18 with a dynamic PK of 11.27% so that slope repair is needed. The optimal geometry of *highwall* slope improvement is a *highwall* slope configuration with a height of 90 m and an angle of 34°, supported by a single slope with a height of 12 m and an angle of 40°.

Keywords: Slope Stability, Factor of Safety, Limit Equilibrium Method, Generalized Hoek-Brown

Pendahuluan

Aktivitas penambangan yang berhubungan dengan penggalian pada suatu lereng akan menghasilkan potensi bahaya, tingginya aktivitas penambangan pada lereng tambang meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng, terutama potensi pergerakan material lereng dalam bentuk longsoran. Hoek (1981) dalam (Sebayang dkk., 2020) menyebutkan bahwa upaya dalam menjaga stabilitas lereng dibagi menjadi tiga, yaitu dengan mengurangi gaya dorong, memperbesar gaya tahan, dan proteksi terhadap material lepas. Salah satu cara untuk mengurangi gaya dorong yaitu dengan mengevaluasi geometri lereng. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi lereng, nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran sehingga diperoleh geometri lereng yang aman dan stabil berdasarkan Kepmen ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018 (Lampiran II).

Lereng pada tambang terbuka terdiri atas lereng *highwall* yang didesain secara tegak lurus atau berlawanan dengan kemiringan perlapisan batubara dan terdiri dari *slope* dan *bench*, dan lereng *lowwall* merupakan dinding lereng yang searah dengan kemiringan perlapisan batubara (Lalitya dkk, 2017). Kestabilan dari lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penggerak yang berpengaruh kestabilan lereng. Faktor keamanan diperlukan untuk mengetahui kemantapan suatu lereng untuk mencegah bahaya longsoran di pada waktu yang akan datang (Arif, 2021).

Terdapat berbagai metode untuk menganalisis kestabilan lereng, salah satunya dengan metode kesetimbangan batas menggunakan metode Morgenstern-Price. Menurut (Aryal, 2006), metode Morgenstern-Price dijelaskan bahwa metode tersebut mempertimbangkan kedua gaya tiap irisan; mengasumsikan fungsi gaya tiap irisan, $f(x)$; memungkinkan pemilihan untuk fungsi gaya tiap irisan; menghitung FOS untuk kesetimbangan gaya dan momen.

Lokasi penelitian berada di CV. Gudang Hitam Prima yang terletak di Kelurahan Sari Jaya, Kecamatan Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian dilakukan pada pit 3 CV. Gudang Hitam Prima di mana pit tersebut sempat non-aktif pada tahun 2015 dan kembali melakukan kegiatan penambangan pada tahun 2023 sehingga diperlukan kajian geoteknik kembali. Secara geologi regional lokasi penelitian berada pada Formasi Balikpapan dengan litologi penyusun terdiri dari perselingan batupasir dan lempung dengan sisipan lanau, batuserpih, batugamping, dan batubara yang berumur Miosen Akhir – Miosen Tengah.

Metode

Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif dengan pengumpulan data terbagi menjadi 2 yaitu data primer yang diperoleh langsung pada lokasi penelitian dan data sekunder yang diperoleh dari arsip data perusahaan. Data primer yang diambil berupa data litologi dan sampel batuan yang diperoleh melalui pengeboran geoteknik, nilai *geological strength indeks* (GSI), dan nilai faktor ketergangguan/ *disturbance factor* (D). Data sekunder berupa data topografi dan topografi progres, logbor eksplorasi, desain pit, hasil uji laboratorium sifat fisik dan mekanik batuan, citra drone, spesifikasi unit dan nilai *seismic load*.

Metode yang digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng *highwall* pada penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan Metode *Morgenstern-Price*. Kriteria keruntuhan yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*. Parameter masukan yang digunakan dalam kriteria keruntuhan *Generalized Hoek – Brown* yaitu sifat fisik berupa bobot isi natural dan bobot isi jenuh, sifat mekanik batuan berupa nilai uji kuat tekan (*Uniaxial Compressive Strength/UCS*), *geological strength index* (GSI), *disturbance factor* (D), konstanta batuan utuh (m_i), konstanta m_b , konstanta s dan a , serta nilai koefisien H_u .

Pada tahap pengolahan dan analisis data yang dilakukan yaitu pengelompokan data hasil pengujian laboratorium berdasarkan lokasi titik bor dan litologi batuan, kemudian dilakukan pengujian univariat dan uji baik suai untuk memperoleh statistik deskriptif data dan jenis distribusinya. Selanjutnya dilakukan pemodelan *section* dan pemodelan lereng berupa lereng tunggal dan lereng keseluruhan. Pada tahap analisis dilakukan analisis kestabilan lereng dengan *software Rocscience Slide V6.0*. Standar minimal nilai FK dan PK berdasarkan kriteria tingkat kelongsoran tinggi dengan nilai FK statis 1,5 dan FK dinamis 1,1 dan nilai PK 5%, maka dilakukan perbaikan geometri lereng yang sesuai dengan acuan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018.

Hasil dan Pembahasan

Geometri Lereng

Analisis kestabilan lereng ini dilakukan pada tiga *section* yang terdiri dari *section C – C'*, *section D – D'* dan *section F – F'* (Gambar 1). Pada ketiga *section* tersebut kemudian dianalisis untuk faktor keamanan menggunakan *software Rocscience Slide V6.0*.



Gambar 1 Section Lereng

Berdasarkan penampang litologi, diketahui tinggi lapisan litologi batuan memiliki variasi yang berbeda-beda dengan dominasi litologi batulempung. Kemiringan perlapisan (*dip*) batubara berada antara 14°-16° dengan strike rata-rata 28°. Geometri aktual lereng dari masing-masing *section* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Geometri Lereng Awal

SECTION	GEOMETRI SINGLE SLOPE			GEOMETRI OVERALL SLOPE	
	Tinggi (m)	Lebar Berm (m)	Sudut (°)	Tinggi (m)	Sudut (°)
C-C'	3,6 & 12	3,6	55	27	46
D-D'	12 & 13	3 & 14,8	60	85,2	47
F-F'	12 & 8,6	3 & 32,8	60	80,6	37

Parameter Analisis

Dalam analisis kestabilan lereng *highwall* metode yang digunakan yaitu kesetimbangan batas metode Morgenstern-Price dengan kriteria keruntuhan batuan Generalized Hoek – Brown. Parameter masukan yang digunakan dalam kriteria keruntuhan Generalized Hoek – Brown yaitu sifat fisik berupa bobot isi natural dan bobot isi jenuh, sifat mekanik batuan berupa nilai uji kuat tekan (Uniaxial Compressive Strength/UCS), geological strength index (GSI), disturbance factor (D), konstanta batuan utuh (*m*), konstanta *m_b*, *s*, dan *a*, serta nilai koefisien *Hu*.

Sifat fisik dan mekanik yang diperoleh dari hasil uji laboratorium yang akan digunakan sebagai parameter analisis dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2 Sifat Fisik Batuan

No	Litologi	Bobot Isi Asli (γ_n)		Bobot Isi Jenuh (γ_s)		Bobot Isi Kering (γ_d)	
		(gr/cm ³)	(kN/m ³)	(gr/cm ³)	(kN/m ³)	(gr/cm ³)	(kN/m ³)
1	Batupasir	1,53	14,95	1,77	17,33	1,35	13,22
2	Batulempung	1,58	15,52	1,83	17,98	1,42	13,96
3	Batubara	1,33	13,03	1,35	13,23	1,29	12,64

Pengujian sifat mekanik pada material batupasir dan batulempung yaitu nilai kuat tekan batuan (*uniaxial compressive strength/ UCS*). Data yang diperoleh berupa nilai beban puncak (*peak*), sedangkan nilai beban sisa (residu) digunakan asumsi 50% dari nilai beban puncak (*peak*). Pada sifat mekanik batubara dikarenakan tidak ada data nilai kuat tekan, maka nilai sifat mekanik yang digunakan berupa nilai kohesi dan sudut geser dalam. Adapun nilai kuat tekan tiap litologi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Sifat Mekanik Batuan

No.	Litologi	Kuat Tekan (KPa)		Kohesi (kN/m ²)		Sudut Geser Dalam (°)	
		Puncak	Residu	Puncak	Residu	Puncak	Residu
1	Batupasir	2.541,01	1.270,50	-	-	-	-
2	Batulempung	1.699,23	849,61	-	-	-	-
3	Batubara	-	-	128,35	64,68	28,96	14,98

Geological Strength Index (GSI) merupakan suatu parameter geoteknik yang digunakan untuk memperkirakan kekuatan batuan di lapangan dalam kondisi geoteknik tertentu. Nilai GSI berkisar dari 0 hingga 100. Dalam memudahkan penentuan nilai GSI pada setiap jenis litologi, maka diperoleh rata-rata nilai GSI untuk batupasir = 67 dan untuk batulempung = 85.

Nilai disturbance factor (D) mengacu pada tabel Hoek dan Marinos (2000), di mana nilai D memiliki rentang 0 hingga 1. Pada lokasi penelitian di proses pemberaian material menggunakan peralatan mekanis berupa excavator dan bulldozer sehingga nilai Disturbance Factor (D) yang digunakan yaitu 0,7.

Parameter lain yang digunakan pada kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* yaitu Parameter Konstanta Batuan Utuh (m_i), Konstanta Pengurang dari Konstanta Batuan Utuh (m_b) dan Konstanta Massa Batuan (s dan a) seperti pada tabel berikut.

Tabel 4 Nilai Konstanta m_i , m_b , s dan a

No	Litologi	GSI	D	m_i	m_b	s	a
1	Batupasir (<i>Sandstone</i>)	67	0,7	15	2,4763	0,0088	0,5019
2	Batulempung (<i>Claystone</i>)	85	0,7	4	1,8023	0,1231	0,5002

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa semakin tinggi nilai GSI maka nilai konstanta m_b dan konstanta massa batuan (a) akan semakin kecil, dan nilai konstanta massa batuan (s) akan semakin besar.

Uji Univariat dan Uji Baik Suai

Uji univariat merupakan pengujian statistik berupa statistik deskriptif untuk memperoleh nilai mean, standar deviasi, nilai maksimum dan minimum. Uji baik suai merupakan pengujian untuk memperoleh jenis distribusi terbaik dari sebaran data untuk masing-masing parameter. Pada analisis highwall menggunakan uji baik suai metode Kolmogorov-Smirnov. Uji baik suai dilakukan dengan batuan software EasyFit. Hasil uji baik suai tersebut digunakan sebagai parameter masukan dalam analisis kestabilan lereng highwall pada software slide 6.0.

Tabel 5 Uji Univariat dan Uji Baik Suai

Parameter	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	UCS (kPa)	UCS Residual (kPa)	GSI	m_b	s	a
Batupasir (<i>Sandstone</i>)								
Mean	14,9520	17,3320	2541,01	1270,50	67,142	2,476	0,0088	0,5019
Standar Deviasi	1,0198	0,7077	1495,87	747,93	1,7728	0,243	0,0023	0,0004
Rel. Min	1,2320	0,6720	1575,05	787,52	2,1429	0,284	0,0025	0,0009
Rel. Maks	1,7080	1,4840	2720,94	1360,47	2,8571	0,409	0,0041	0,0001
Distribusi	lognormal	lognormal	gamma	gamma	normal	gamma	gamma	uniform

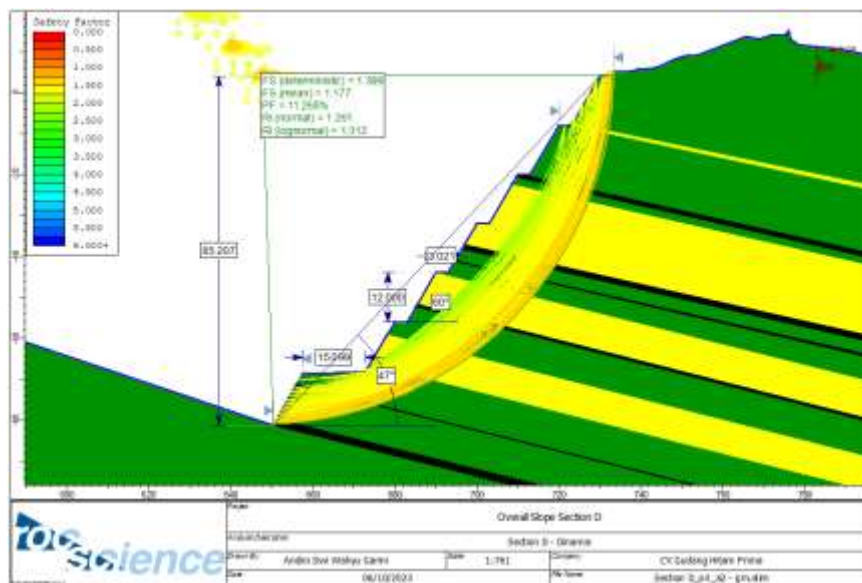
Parameter	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	UCS (kPa)	UCS Residual (kPa)	GSI	m_b	s	a
Batulempung (Claystone)								
Mean	15,5167	17,9830	1699,23	849,61	85,333	1,802	0,1231	0,5002
Standar Deviasi	1,3631	1,1152	1049,97	524,9837	2,7325	0,244	0,0382	0,0004
Rel. Min	1,7967	1,4210	1087,16	543,5833	5,3333	0,469	0,0680	0,0002
Rel. Maks	1,8293	1,6170	1719,39	859,6967	1,6667	0,155	0,0290	0,0008
Distribusi	normal	normal	log normal	log normal	log normal	log normal	gamma	uniform

Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng highwall menggunakan section C-C', D-D', dan F-F' dalam kondisi statis dan dinamis. Ambang batas nilai faktor keamanan lereng keseluruhan yaitu 1,5 dan probabilitas kelongsoran <5%. Faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran lereng awal sebelum dilakukan perbaikan desain yaitu sebagai berikut.

**Tabel 6 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan
Highwall Kondisi Awal**

GEOMETRI SINGLE SLOPE			GEOMETRI OVERALL SLOPE		FK Statis	PK Statis	FK Dinamis	PK Dinamis	Ko1ndisi
Tinggi (m)	Berm (m)	Sudut (°)	Tinggi (m)	Sudut (°)					
SECTION C-C'									
3,6 & 12	3,6	55	27	46	2,71	0,00%	2,24	0,00%	Stabil
SECTION D-D'									
12	3 & 15	60	85,2	47	1,27	2,76%	1,78	11,27%	Kritis
SECTION F-F'									
12	3 & 36	60	80,6	36	2,03	0,00%	1,86	0,00%	Stabil



Gambar 2 Interpretasi Section D-D' Kondisi Dinamis

Kondisi diatas menunjukkan kondisi lereng yang tidak aman sehingga diperlukan perbaikan lereng sebagai berikut.

Tabel 7 Variasi Lereng Tunggal

LITOLOGI	KEMIRINGAN LERENG (°)		
	H = 10 m	H = 12 m	H = 15 m
<i>Claystone</i>	≤ 70	≤ 70	≤ 50
<i>Sandstone</i>	≤ 55	≤ 50	-
<i>Coal</i>	≤ 50	≤ 50	≤ 45

Hasil analisis menunjukkan bahwa ketinggian lereng 15 m tidak dapat diaplikasikan karena pada keseluruhan sudut pada tinggi lereng 15 menunjukkan kondisi kritis, dan pada ketinggian lereng 12 dan 10 meter menunjukkan ketiganya sudut lereng harus lebih landai atau sama dengan 50°. Pemilihan ketinggian lereng 12 m akan ditentukan setelah kemiringan lereng keseluruhan dianalisis dengan variasi lebar berm 3 m, 5 m dan 7 m.

Rekomendasi Geometri Lereng

Perbaikan desain lereng keseluruhan pada highwall ditunjang oleh lereng tunggal tinggi 12 meter dengan variasi sudut 50°, 45°, 40° dan lebar berm variasi 3 meter, 5 meter, dan 7 meter. Dengan hasil aman sebagai berikut.

Tabel 7 Rekomendasi Geometri Lereng

GEOMETRI SINGLE SLOPE			GEOMETRI OVERALL SLOPE		FK Statis	PK Statis	FK Dinamis	PK Dinamis
Tinggi (m)	Lebar Berm (m)	Sudut (°)	Tinggi (m)	Sudut (°)				
SECTION C-C'								
12	5	40	27,6	33	2,89	0,00%	2,63	0,00%
	7	50	27,6	36	2,60	0,00%	2,38	0,00%
		45	27,6	33	2,78	0,00%	2,53	0,00%
		40	27,6	30	2,90	0,00%	2,62	0,00%
SECTION D-D'								
12	5	40	90,9	32	1,59	0,00%	1,44	0,00%
	7	50	93,6	36	1,50	0%	1,37	0%
		45	91,47	33	1,57	0,00%	1,43	0,00%
		40	89,3	30	1,71	0,00%	1,54	0,00%
SECTION F-F'								
12	5	40	78,23	33	1,97	0,00%	1,80	0,00%
	7	50	80,6	36	1,83	0,00%	1,68	0,00%
		45	78,6	33	1,93	0,00%	1,77	0,00%
		40	76,5	30	2,13	0,00%	1,93	0,00%
		: Rekomendasi geometri yang digunakan						

Rekomendasi desain lereng yang aman dan optimal yaitu konfigurasi lereng highwall yang optimal ditunjukkan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Lereng Tunggal : Tinggi 12 meter dengan kemiringan 40° dan lebar berm 5 meter
- Lereng Keseluruhan : Tinggi lereng 90 m dan sudut overall 34°

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi awal lereng highwall pada section C-C' dan section F-F' menunjukkan kondisi stabil. Sedangkan pada highwall section D-D' di mana nilai FK statis 1,27 dengan PK statis 2,76% dan FK dinamis 1,18 dengan PK dinamis 11,27%

menunjukkan kondisi kritis sehingga diperlukan perbaikan lereng. Geometri optimal lereng highwall yaitu konfigurasi lereng highwall dengan tinggi 90 m dan sudut 34°, ditunjang dengan lereng tunggal dengan tinggi 12 m dan sudut 40° dapat diaplikasikan dalam batas yang masih aman dimana Faktor Keamanan (FK) di atas 1,5 dan Probabilitas Kelongsoran (PK) di bawah 5%.berikutnya. Saran yang dapat penulis berikan yaitu sebaiknya pada penelitian selanjutnya melakukan perbandingan dengan menggunakan metode yang lain seperti kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb atau metode Finite Element, sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan pengukuran ketinggian muka air tanah untuk parameter analisis, dilakukan pemantauan terhadap pergerakan lereng secara berkelanjutan untuk meminimalisir kecelakaan akibat longsoran

Daftar Pustaka

- Arif, I., 2021. Geoteknik Tambang. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta. ISBN: 978-602-03-2735-8
- Aryal, K. P. 2006. *Slope Stability Evaluations By Limit Equilibrium And Finite Element Methods*. Norwegian University Of Science And Technology: Norwegia. ISBN: 82-471-7881-8
- Das, B. M. 2007. *Fundamentals Of Geotechnical Engineering (Third Edition)*. Cl Engineering. ISBN: 978-0-495-29572-3
- Hoek, E., & Brown, E. T. 2018. *The Hoek–Brown Failure Criterion and GSI – 2018 Edition*. Journal Of Rock Mechanics And Geotechnical Engineering, 11(3), 445–463. ISSN: 1674-7755
- Hoek, E., Carter, T., & Diederichs, M. 2013. *Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2013*, 3, 1757–1764. ARMA 13-672.
- Hudson, J. A., & Harrison, J. P. 2000. *Engineering Rock Mechanics - An Introduction To The Principles*. Elsevier Science Ltd: Oxford. ISBN: 008-043864-4
- ISRM (International Society for Rock Mechanics). 1981. *Rock Characterisation, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods*. Pergamon Press
- Kementrian ESDM. 2018. *Kepmen 1827/K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta.
- Krismawan, H. A., Hariyanto, R., Nusanto, G., & Siwidiadi, I. L. 2023. *Analisis Kestabilan Lereng Pada Low Wall Pit Utara N1 Tambang Batubara PT Banyan Koalindo Lestari, Sumatera Selatan*. Jurnal Teknologi Pertambangan 8(2). 18–23. UPNYK: Yogyakarta. ISSN: 2442-4234.
- Lalitya, T. J., Indrawan, I. G. B., & Bassmantra, A. 2017. *Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Dengan Metode Probabilitas Pada Highwall dan Lowwall Pit Tania Panel 2, PT. Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur*. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-10. Yogyakarta.
- Marinos, V., Marinos, P., & Hoek, E. 2005. *The Geological Strength Index: Applications And Limitations*. Bulletin Of Engineering Geology And The Environment, 64(1), 55–65. ISSN: 14359529
- Octovian, C. P. R. T., & Monintja, S. 2014. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta.1000m)*. Jurnal Sipil Statik, 2(3), 139–147. ISSN: 2337-6732.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. 2013. *Mekanika Batuan*. ITB Press: Bandung. ISBN: 978-602-9056-62-4.

- Sebayang, W., Sutriyono, E., & Nalendra Jati, S. 2020. *Analisis Kestabilan Lereng Disposol PT Bara Anugrah Sejahtera Muara Enim Sumatera Selatan*. Jurnal Geomine 8(1), 51-58. Makassar. ISSN: 2443-2083.
- Supriatna, S., Sukardi, Rustandi, E. 2011. Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan, Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Steffen, O., Contreras, L.-F., Terbrugge, P. J., & Venter, J. 2008. *A Risk Evaluation Approach For Pit Slope Design*. American Rock Mechanics Association: San Francisco. ARMA 08-231
- Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus : Diamond Hill Citraland)*. Tekno, 15(67). ISSN: 0215-9617
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil And Mining*, 4th Edition. Spon Press: London. ISBN: 0-203-49908-5.