

Analisis dan Rekomendasi Geometri Lereng *Highwall* Berdasarkan Pengeboran Geoteknik pada Area Pit MMM Site PT. Baramulti Suksessarana Kab. Kutai Kartanegara

Arie Prasetya Anwar-1^a, Revia Oktaviani-2^a, Agus Winarno-3^a, Tommy Trides-4^a, Albertus Juvensius Pontus-5^a

^aProdi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

*Email : arieprasetya331@gmail.com

Abstrak

Ilmu geoteknik selalu akan berhubungan dengan material alam, baik dari permukaan maupun dari dalam bumi, dalam bentuk tanah dan batuan. Dalam proses penambangannya, PT. Baramulti Suksessarana melakukan proses penambangan dengan metode tambang terbuka (*open pit*). Pada penambangan secara tambang terbuka (*open pit*), sudut kemiringan adalah satu faktor utama yang mempengaruhi bentuk dari *final pit* dan lokasi dari dinding-dindingnya. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi stabilitas lereng, semakin besar sudut dan tinggi suatu lereng, maka stabilitas lerengnya semakin kecil. Oleh karena itu untuk menjaga kestabilan lereng yang aman maka diperlukan kajian geoteknik untuk mengoptimalkan geometri lereng bukaan tambang serta timbunan yang telah direncanakan oleh pihak perusahaan. Pengeboran geoteknik adalah pengeboran inti (*core drilling*) yang bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tentang kondisi batuan yang dibor. Persyaratan utama dalam pengeboran geoteknik adalah mendapatkan inti bor yang utuh, dengan *recovery* yang maksimal (jika mungkin *Recovery* > 90%). Untuk mendapatkan data geoteknik yang valid dan representatif bagi suatu tambang atau rencana pengembangan suatu tambang, penentuan rencana titik bor dan kedalaman pengeboran serta pencapaian *Core Recovery* yang tinggi adalah hal yang sangat penting. Di samping itu, rencana penambangan (*Pit Plan*) yang mencakup luas, bentuk, dan kedalaman bukaan tambang juga harus menjadi pertimbangan dalam penentuan titik bor geoteknik. Semua lapisan batuan yang akan membentuk lereng bukaan tambang harus terwakili oleh titik bor geoteknik yang akan dilakukan.

Kata Kunci : *Geometri, Geoteknik, Lereng, Kestabilan Lereng, Pengeboran*

1. Latar Belakang

PT. Baramulti Suksessarana, Tbk (PT. BSSR) merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara yang terletak di km 28 Desa Batuah, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Perusahaan ini mengelola area konsesi seluas 2.459,76Ha. Kegiatan penambangan ini memerlukan data sifat-sifat dan karakteristik batuan. Pendekatan ini memungkinkan PT. BSSR

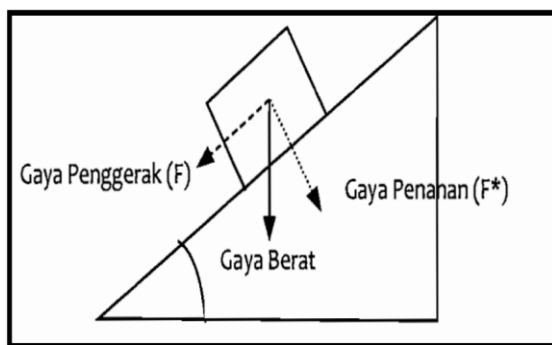
untuk melakukan kegiatan eksplorasi seperti kegiatan pengeboran geoteknik yang dilakukan dengan menggunakan metode *full coring*.

Pengeboran geoteknik merupakan kegiatan pengambilan contoh batuan di dalam lapisan tanah untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik batuan dengan tujuan untuk pengumpulan data dan penentuan sifat material tanah serta batuan (material properties)[1], [2].

Fungsi utama dari pengeboran geoteknik untuk menentukan kestabilan lereng, potensi longsor, dan kondisi struktur tanah serta batuan[3], [4]. Informasi ini membantu dalam perencanaan tambang yang aman dan efisien, serta mengurangi risiko kecelakaan[5], [6].

Lereng yang alami ataupun lereng buatan memiliki nilai kestabilan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gaya penahan dan gaya penggerak yang bekerja dalam kestabilan lereng tersebut[7]. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu gaya-gaya yang cenderung untuk menyebabkan material pada lereng untuk bergerak ke bawah dan gaya-gaya yang menahan material pada lereng sehingga tidak terjadi pergerakan atau longsor[8], [9], [10].

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya penggerak}} \dots (2.11)$$



Gambar 1. Faktor Keamanan Sederhana (Arif, 2016)

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer untuk digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng tipe gelinciran translasional dan rotasional[11]. Metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti keandalannya dalam praktik rekayasa selama bertahun-tahun. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng[12]. Asumsi lainnya,

yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu[13].

Probabilitas kelongsoran adalah peluang terjadinya peristiwa kelongsoran lereng tambang dan atau alami[14]. Semakin tinggi nilai probabilitas kelongsoran (PK) lereng, maka semakin besar peluang lereng tersebut untuk longsor[15].

Simulasi Monte Carlo adalah metode yang sering digunakan untuk analisis probabilitas[16], [17], [18]. Metode ini sangat berguna sebagai pemecahan masalah yang berkaitan dengan variabel acak[19]. Metode ini sederhana dan juga fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran serta memiliki kemampuan dalam memodelkan korelasi di antara variabel dengan mudah[20].

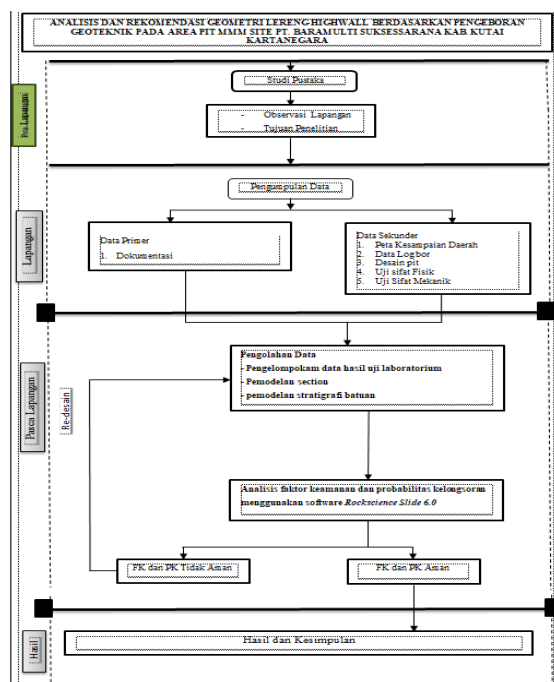
Oleh karena itu dilakukannya penelitian kali ini yaitu untuk merekomendasi geometri *single slope* dan *overall slope* yang aman berdasarkan standar SOP Perusahaan yang berlaku.

2. Metodologi

Pada penelitian ini menggunakan gabungan antara teori dengan data-data yang akan diambil di lapangan, sehingga diharapkan didapatkan pendekatan penyelesaian masalah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif deskriptif dimana menggunakan proses data-data berupa angka untuk menganalisis dan melakukan kajian penelitian, terutama mengenai penelitian yang sudah dilakukan. Pemilihan kuantitatif deskriptif dalam penelitian ini didasarkan dari penelitian yang ingin mengevaluasi dan merekomendasikan terkait geometri lereng tambang.

Adapun tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini dimulai dari studi literature dan survey lokasi untuk memperoleh gambaran dan materi yang cocok digunakan dalam penelitian, lalu

dilanjutkan pengambilan data primer berupa dokumentasi dan sekunder berupa peta kesampaian daerah, data log bor, desain pit, uji sifat fisik dan uji sifat mekanik. Setelah data-data tersebut diperoleh dilakukan pengelompokan data hasil uji laboratorium yang dimana data ini akan digunakan untuk proses mendesain geometri lereng *single slope* dan *overall slope*, lalu pemodelan section, setelah itu dibuat pemodelan stratigrafi batuan berdasarkan section yang telah dibuat. Setelah itu lanjut ke tahap analisis Faktor keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) dengan metode Kestimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan metode analisis Morgenstern-Price dengan analisis probabilitas simulasi Monte Carlo menggunakan *software Rescience Slide 6.0* sehingga didapatkan desain geometri lereng *single slope* dan *overall slope* yang aman berdasarkan Standar SOP yang berlaku di perusahaan.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Pada analisis kestabilan lereng *highwall* pada Pit MMM Jobsite PT. Baramulti Suksessarana Tbk. pada masing-masing titik pengeboran geoteknik untuk metode

yang digunakan yaitu Morgenstern-Price dengan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* dan *Mohr-Coulomb*. Parameter yang digunakan yaitu dalam kriteria keruntuhan *Generalized Mohr-Coulomb* yaitu sifat fisik berupa bobot isi natural dan bobot isi jenuh, sifat mekanik batuan berupa uji kuat tekan (*Unconfined Compression Strength/UCS*), *Geological Strength Index* (GSI), *Disturbance Factor* (D), dan Konstanta Batuan Utuh (M_i). Lalu pada kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*, parameter yang digunakan yaitu sifat fisik berupa bobot isi natural dan bobot isi jenuh, sifat mekanik berupa kohesi (C) dan sudut geser dalam (Φ).

Tabel 1. Summary Lab Results Soil BSSR (sumber: PT. Tectona Mitra Utama)

BOREHOLE ID	Index Properties	Triaxial CU Saturation + PPM			
		Total Stress		Effective Stress	
	Natural density γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (°)	C' (kPa)	ϕ' (°)
BH-07	19.17	31.7	9.689	27.1	17.926
BH-07	20.11	13.7	11.432	11.2	19.453
BH-06R	18.34	14.90	13.18	12.30	20.69
BH-06R	19.13	16.9	15.359	13.7	25.88
BH-06R	18.01	23.5	12.616	16.5	18.971
BH-06R	32.70	2.64			

Tabel 2. Summary Lab Results Rock BSSR (sumber: PT. Tectona Mitra Utama)

BOREHOLE ID	Lithologi from Visual Description	ROCK					
		Natural Density (kN/m ³)	Saturated Density (kN/m ³)	Direct Shear			
				Cohesion Peak (Mpa)	Friction Angle - Peak (°)	Cohesion - Residual (Mpa)	Friction Angle - Residual (°)
BH-07	Mudstone	19.80	20.70	0.13	39.53	0.07	24.27
BH-07	Mudstone	18.50	19.50	0.18	42.94	0.09	23.14
BH-06R	Mudstone	19.00	19.80	0.08	39.61	0.05	22.43
BH-06R	Mudstone	18.10	18.80	0.08	38.62	0.04	23.57

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}kx^2 + \lambda x^m \quad (1)$$

Berdasarkan data hasil uji laboratorium diatas untuk melakukan simulasi rekomendasi lereng digunakan data hasil uji laboratorium *soil* berupa nilai rata-rata

natural density, nilai rata-rata kohesi dari *total stress*, dan nilai rata-rata sudut geser dalam dari *total stress* dari masing-masing titik bor. Kemudian digunakan juga hasil uji laboratorium *rock* berupa nilai rata-rata *natural density* dan *saturated density*, nilai rata-rata kohesi puncak, dan sudut geser dalam puncak dari masing-masing titik bor. Kemudian data-data tersebut dimasukkan kedalam masing-masing *material properties* dari tiap lapisan batuan kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software Rocscience Slide 6.0* untuk mencari nilai Faktor Keamanan (FK) dengan nilai >1.2 dan Probabilitas Kelongsoran (PK) $<25-50\%$.

A. Rekomendasi Single Slope

Simulasi rekomendasi lereng tunggal didasarkan menurut Menurut SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2 dengan dilakukan analisis *trial and error* dengan memainkan sudut, ketinggian dan lebar dari jenjang lereng awal sehingga didapatkan nilai FK minimal yaitu 1.2 dengan PK 25-50% dengan jarak kemunduran batas pit limit tidak terlalu jauh.

Tabel 3. Desain Rekomendasi *Single Slope* Section A-A' (BH-07) Berdasarkan SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2.

Claystone	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)	FK (Mean) Statis	PK (Mean) Statis (%)	Kondisi
	8	5	45	0.98	46.000	Aman
	8	5	42	1.367	9.184	Aman
	8	5	38	1.434	6.000	Aman
Mudstone	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)	FK (Mean) Statis	PK (Mean) Statis (%)	Kondisi
	7	5	45	7.847	0	Aman
	10	5	50	7.453	0	Aman
	7	5	55	6.716	0	Aman

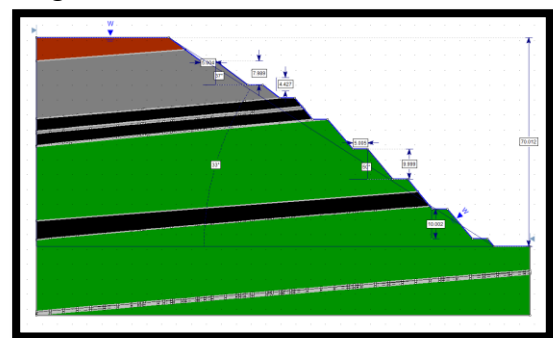
Tabel 4. Desain Rekomendasi *Single Slope* Section B-B' (BH-06) Berdasarkan SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2.

Claystone	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)	FK (Mean) Statis	PK (Mean) Statis (%)	Kondisi
	7	5	30	1.397	0	Aman
	7	5	38	1.274	0	Aman
	6	5	30	1.592	0	Aman
Mudstone	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)	FK (Mean) Statis	PK (Mean) Statis (%)	Kondisi
	6	5	50	4.439	0	Aman
	7	5	50	3.76	0	Aman
	7	5	55	3.55	0	Aman

Berdasarkan Tabel 3 dan 4 didapatkan nilai FK dengan geometri yang ideal pada section A-A' sebesar 1.434 dengan PK sebesar 6% untuk material *claystone* dan FK 7.453 dengan PK sebesar 0% untuk material *mudstone*. Lalu pada B-B' dengan geometri yang ideal didapat FK sebesar 1.592 dengan PK sebesar 0% untuk material *claystone* dan FK 4.439 dengan PK 0% untuk material *mudstone*.

B. Rekomendasi Overall Slope

Simulasi rekomendasi lereng keseluruhan didasarkan menurut SOP Perusahaan dengan menggunakan geometri lereng tunggal yang aman dan telah di analisis sebelumnya sehingga didapatkan nilai FK lereng keseluruhan minimal yaitu >1.2 dengan PK 15-20%.

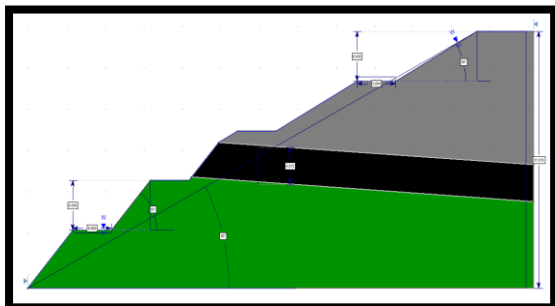


Gambar 2. Desain Rekomendasi *Overall Slope* Section A-A' Menurut SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2.

Tabel 5. Geometri Rekomendasi *Overall Slope* Section A-A' Berdasarkan SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2.

BH-07							
Material	Geometri lereng			Overall Slope (°)	FK (Mean) Statis	PK (Mean) Statis (%)	Kondisi
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)				
Claystone	8	5	37	33	1.27	0,00	Aman
Mudstone	10	5	50				

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat hasil analisis *software* untuk section A-A' dengan geometri lereng berdasarkan Tabel 5 berupa *claystone* dengan tinggi jenjang 8 meter, lebar jenjang 5 meter dan sudut jenjang 37° lalu untuk *mudstone* dengan tinggi jenjang 10 meter, lebar jenjang 5 meter dan sudut jenjang 50° dengan *overall slope* 33° didapat hasil analisa Faktor Keamanan (FK) *Mean* sebesar 1,27 dengan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) sebesar 0%

**Gambar 3.** Desain Rekomendasi *Overall Slope* Section B-B' Menurut SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2.**Tabel 6.** Geometri Rekomendasi *Overall Slope* Section B-B' Berdasarkan SOP Perusahaan No. BSSR-SP-ENG-005-R2.

BH-06							
Material	Geometri lereng			Overall Slope (°)	FK (Mean) Statis	PK (Mean) Statis (%)	Kondisi
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)				
Claystone	6	5	30	28	1.36	1,00	Aman
Mudstone	6	5	50				

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat hasil analisis *software* untuk section B-B' dengan geometri lereng berdasarkan Tabel

6 berupa *claystone* dengan tinggi jenjang 6 meter, lebar jenjang 5 meter dan sudut jenjang 30° lalu untuk *mudstone* dengan tinggi jenjang 6 meter, lebar jenjang 5 meter dan sudut jenjang 50° dengan *overall slope* 28° didapat hasil analisa Faktor Keamanan (FK) *Mean* sebesar 1,36 dengan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) sebesar 1%

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada titik pengeboran geoteknik BH-07 (Section A-A') didapatkan geometri *overall slope* yang aman berdasarkan hasil analisis *single slope* yang telah dilakukan yaitu FK sebesar 1.27 dan PK sebesar 0% dan pada titik pengeboran geoteknik BH-06 (Section B-B') didapatkan geometri *overall slope* yang aman berdasarkan hasil analisis *single slope* yang telah dilakukan yaitu FK sebesar 1.36 dan PK sebesar 1%. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan metode analisis Elemen Hingga (*Finite Element Method*) agar hasilnya dapat di komparasikan sehingga dapat dianalisis kembali untuk mencari geometri yang lebih aman.

Daftar Pustaka

- [1] I. I. Arif, *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama, 2016.
- [2] A. P. Arie, R. Oktaviani, A. Winarno, T. Trides, and A. J. Pontus, "Analisis dan Rekomendasi Geometri Lereng Highwall Berdasarkan Pengeboran Geoteknik Pada Area Pit MMM Site PT. Baramulti Suksessarana Kab. Kutai Kartanegara," *Dewantara J. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 34–39, 2025, doi: <https://doi.org/10.59563/djtech.v5i2.303>.
- [3] M. Ikram, "Kajian Geoteknik untuk Penentuan Geometri Lereng Front Penambangan di PT. XYZ," *J. Ris. Tek. Pertamb.*, pp. 107–116, 2022, doi:

- <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1246>.
- [4] K. K. D. Sungkono, R. Arbianto, M. E. P. Pande, and G. Gunarso, "ANALISIS GEOTEKNIK DAN KESTABILAN LERENG TOWER SUTT PT. PLN," *J. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 29, no. 2, pp. 87–95, 2024, doi: <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i2.3847>.
- [5] E. R. Orlanda, "Kajian mekanisme pemboran geotek dan Reconciled data bor dengan data logging Pada PT. Tambang Damai site blok a Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur," *J. Geol. Pertamb.*, vol. 27, no. 2, pp. 1–11, 2021, doi: <https://doi.org/10.53640/jgp.v27i2.925>.
- [6] S. D. Devy and P. P. Hutahayan, "Groundwater effect on slope stability in open pit mining: a case of West Kutai Regency, East Kalimantan, Indonesia," *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 192–205, 2021, doi: <https://doi.org/10.25299/jgeet.2021.6.4.6226>.
- [7] S. Shalizam, T. Trides, A. Juvensius Pontus, R. Oktaviani, and A. Winarno, "Analisis Kestabilan Lereng Penambangan Ex Disposal Cv Gudang Hitam Prima Kecamatan Sanga Sanga Kabupaten Kutai Kartanegara," *J. Inov. Glob.*, vol. 2, no. 2, pp. 312–324, 2024, doi: [10.58344/jig.v2i2.66](https://doi.org/10.58344/jig.v2i2.66).
- [8] M. M. Lollong, T. Trides, and W. Nugroho, "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Metode Slope Mass Rating (SMR) Pada Penambangan Batupasir Daerah Bukit Pinang Kecamatan Samarinda Ulu Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur," *J. Teknol. Miner. FT UNMUL*, vol. 7, no. 1, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.30872/jtm.v7i1.2435>.
- [9] R. Loilatu, "Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM pada PT. X," *J. Ris. Tek. Pertamb.*, pp. 15–24, 2022, doi: <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.782>.
- [10] S. P. Salu and A. S. Munir, "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima Kalimantan Timur," *J. Geomine*, vol. 11, no. 03, pp. 263–276, 2023, doi: <https://doi.org/10.33096/bz4jme85>.
- [11] I. E. Pangestu, R. Oktaviani, and L. L. Respati, "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Probabilistik Simulasi Monte Carlo pada Disposal PT. XYZ," *J. Ris. Tek. Pertamb.*, pp. 77–86, 2023, doi: <https://doi.org/10.29313/jrtp.v3i2.2212>.
- [12] T. Nurhidayat, E. Syawaludin, M. Arifin, and I. Oktariansyah, "Analisis Probabilitas Kestabilan Lereng Tambang Timah Primer Blok Pemali, Bangka, Indonesia," *Pros. Temu Profesi Tah. PERHAPI*, pp. 463–474, 2019, doi: <https://doi.org/10.36986/ptptp.v1i1.89>.
- [13] A. S. Sabdono, W. K. Hidajat, and D. Trisnawati, "Analisis Kestabilan Lereng Pit 7 West B Tambang Batubara PT. BUMA Site Binungan, Berau, Kalimantan Timur," 2017, *Faculty of Engineering*.
- [14] O. K. H. Steffen, L. F. Contreras, P. J. Terbrugge, and J. Venter, "A risk evaluation approach for pit slope design," in *ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*, ARMA, 2008, p. ARMA-08.
- [15] H. Trihatmanto and T. Trides,

- “Kajian Probabilitas Kemantapan Lereng pada Highwall Untuk Rekomendasi Optimalisasi Pit Pelikan PT. Kaltim Prima Coal Site Sangatta Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur,” *J. Teknol. Miner. FT UNMUL*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.30872/jtm.v5i2.1398>.
- [16] D. C. Wyllie and C. Mah, *Rock slope engineering*. CRC press, 2004.
- [17] M. B. B. Manik, P. K. Nasution, S. Suyanto, and M. Yanti, “Kajian Metode Simulasi Monte Carlo,” *J. Math. Comput. Stat.*, vol. 7, no. 2, pp. 232–242, 2024, doi: <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v7i2.2994>.
- [18] C. E. Agustin, J. W. Soetjipto, and A. Hasanudin, “Probabilitas Ketepatan Biaya dan Waktu dengan Metode Monte Carlo Pada Konsep Earned Value Untuk Proyek Jalan,” *J. Appl. Civ. Eng. Infrastruct. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 42–47, 2023, doi: <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.151>.
- [19] B. R. Pangestu and A. Voutama, “Rancang Bangun Sistem Informasi Rental Mobil Berbasis Website,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 3, pp. 2586–2592, 2024.
- [20] D. Nurwidyaningrum, T. W. Sari, H. Sudardja, and S. binti Impak, “Analisis Jenis Longsoran pada Daerah Wisata Berlereng Tajam, Banten,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 2022, pp. 1–8.