

Analisis Faktor Keamanan Dan Probabilitas Kelongsoran Lereng Di Jalan Batu Besaung Kelurahan Sempaja Utara Kecamatan Samarinda Utara Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur

Enggar Salsabilla Pramesty

Universitas Mulawarman

Revia Okatviani

Universitas Mulawarman

Albertus Jovensius Pontus

Universitas Mulawarman

Abstract: A slope is an area of morphology that has a certain geometry, namely the highest and lowest parts and has the potential for landslides if it is in an unstable condition (Wesley & Pranyoto, 2010 in Khodijah, et al, 2022). A slope can be composed of soil, rock, or both. Slope stability is influenced by slope geometry, physical and mechanical characteristics of the slope-forming material, water (hydrology and hydrogeology), rock weak plane structure (location, direction, frequency, mechanical characteristics), natural stresses in the rock mass, local stress concentrations, vibrations (natural: earthquakes; and human actions: effects of blasting, effects of heavy equipment passing by), climate, the results of mine workers' actions, and thermic effects (Moshab, 1997 in Arif, 2016).

Keywords: Slope Failure, Safety, Probability

Abstrak: Lereng merupakan suatu bidang pada morfologi yang memiliki geometri tertentu yaitu bagian tertinggi dan terendah serta berpotensi terjadinya longsor apabila dalam kondisi tidak stabil (Wesley & Pranyoto, 2010 dalam Khodijah, dkk, 2022). Adapun suatu lereng dapat disusun oleh tanah, batuan, atau keduanya. Kestabilan lereng dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, karakteristik fisik dan mekanik material pembentuk lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan (lokasi, arah, frekuensi, karakteristik mekanik), tegangan alamiah dalam massa batuan, konsentrasi tegangan lokal, getaran (alamiah: gempa; dan perbuatan manusia: efek peledakan, efek lalu lalang alat-alat berat), iklim, hasil perbuatan pekerja tambang, serta pengaruh termik (Moshab, 1997 dalam Arif, 2016).

Kata kunci: Kelongsoran Lereng, Keamanan, Probabilitas

PENDAHULUAN

Lereng merupakan suatu bidang pada morfologi yang memiliki geometri tertentu yaitu bagian tertinggi dan terendah serta berpotensi terjadinya longsor apabila dalam kondisi tidak stabil (Wesley & Pranyoto, 2010 dalam Khodijah, dkk, 2022). Adapun suatu lereng dapat disusun oleh tanah, batuan, atau keduanya. Kestabilan lereng dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, karakteristik fisik dan mekanik material pembentuk lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan (lokasi, arah, frekuensi, karakteristik mekanik), tegangan alamiah dalam massa batuan, konsentrasi tegangan lokal, getaran (alamiah: gempa; dan perbuatan manusia: efek peledakan, efek lalu lalang alat-alat berat), iklim, hasil perbuatan pekerja tambang, serta pengaruh termik (Moshab, 1997 dalam Arif, 2016).

Suatu lereng secara alamiah berada dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya yang bekerja, baik dari dalam material maupun dari luar. Lereng akan mencari keseimbangan secara

Received: Juni 20, 2024; Accepted: Juli 01, 2024; Published: Juli 31, 2024

* Enggar Salsabilla Pramesty

alamiah dengan mengurangi beban apabila terjadi gangguan akibat ketidakseimbangan yang disebabkan adanya aktivitas yang mengganggu dan proses ini disebut longsor atau gerakan tanah. Salah satu aktivitas yang mengganggu kesetimbangannya yaitu ketersediaan air tanah dan getaran yang disebabkan oleh gempa maupun efek dari alat berat. Suatu lereng dikatakan statis apabila tidak terdapat gangguan getaran apapun dan tidak terdapat gangguan getaran apapun dan tidak terdapat aktivitas manusia, adapun lereng dinamis merupakan lereng yang dipengaruhi oleh getaran baik dari gempa maupun aktivitas manusia (Arif, 2016).

Kelongsoran pada lereng disebabkan oleh beberapa faktor, mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, serta kondisi air tanah. Maka dari itu, diperlukan analisis kestabilan lereng yang baik dan akurat. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung nilai dari faktor keamanan (FK).

Banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam analisis kestabilan suatu lereng, serta terdapatnya sejumlah ketidakpastian terhadap faktor tersebut, membuat indikator kestabilan lereng yang digunakan saat ini FK tidak mampu memberikan desain teoritis yang aman dalam desain praktek suatu lereng, dimana masih terjadi longsor pada lereng yang memiliki kriteria faktor keamanan yang dapat diterima serta didapatkan beberapa lereng yang masih stabil pada kriteria faktor keamanan yang tidak dapat diterima. Dengan kata lain, ada lereng aman longsor dan ada lereng tidak aman tidak longsor (Wiradani, 2018 dalam Cahya, 2022).

Metode probabilistik merupakan suatu alternatif selain pendekatan FK untuk desain lereng karena didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) lereng. Pada metode ini, nilai faktor keamanan digambarkan sebagai variabel acak yang mempunyai fungsi distribusi dengan parameter yang diperlakukan seperti nilai rata-rata dan standar deviasi. Dengan mengkombinasikan distribusi ini dalam model deterministik yang digunakan dalam menghitung nilai FK, maka PK lereng dapat diestimasi.

Lereng yang berada di Jalan Batu Besaung pada umumnya tinggi, curam, dan berada di pinggir jalan yang sering dilalui untuk aktifitas masyarakat sekitar. Lereng tersebut belum diketahui secara pasti kestabilan dan faktor keamanannya. Oleh karena itu, dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui nilai FK dan PK pada lereng serta menentukan apakah geometri lereng sudah mencapai keamanan yang baik, sehingga dapat memberi data yang informatif kepada warga sekitar mengenai dampak longsor akibat lereng tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Longsor

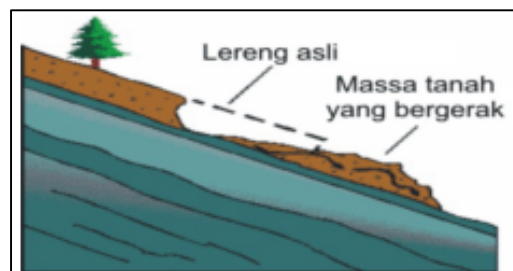
Menurut The Landslide Handbook USGS (2008), tanah longsor adalah gerakan menuruni lereng dari batuan atau tanah, atau keduanya, yang terjadi pada permukaan patahan baik melengkung (geser rotasi) atau planar (geser translasi) pecah di mana sebagian besar materi sering bergerak sebagai koheren atau semikoheren massa dengan sedikit deformasi internal. Menurut Dwikorita Karnawati (2001), gerakan massa yang terjadi pada suatu wilayah dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan fisik dan tataguna lahan daerah tersebut.

Jenis Jenis Tanah Longsor

Menurut Haribulan (2019) jenis longsor translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsor yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan. Untuk lebih jelasnya dilihat pada Gambar 2.2 sampai Gambar 2.7.

1. Longsor Translasi

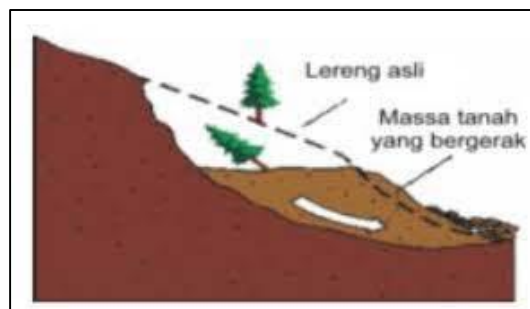
Longsor Translasi adalah jenis longsor yang berupa gerakan massa tanah dan batuan pada bidang gelincir terbentuk merata atau menggelombang landai.



Gambar 2.2 Longsor Translasi

2. Longsor Rotasi

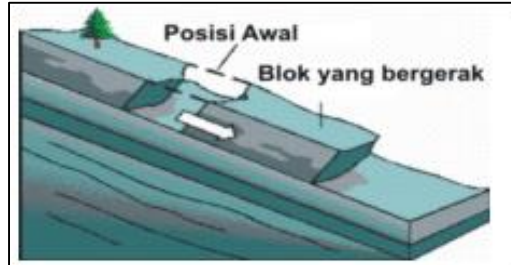
Longsor Rotasi adalah jenis longsor ini merupakan Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.



Gambar 2.3 Longsor Rotasi

3. Pergerakan Blok

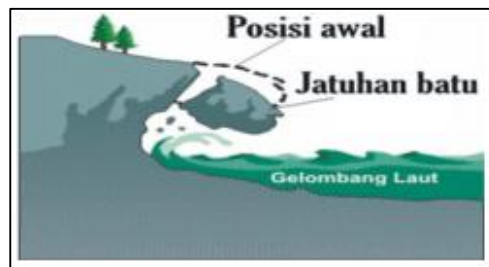
Pergerakan Blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata.



Gambar 2.4 Pergerakan Blok

4. Runtuhan Batu

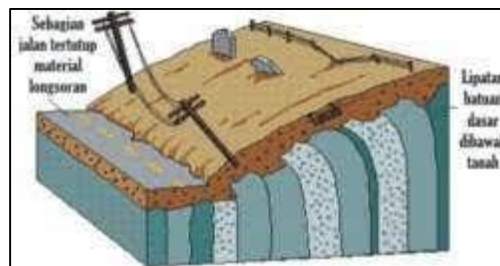
Runtuhan batuan terjadi ketika sejumlah besar batuan atau mineral lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai.



Gambar 2.5 Runtuhan Batu

5. Rayapan Tanah

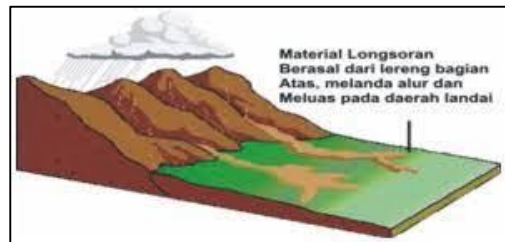
Rayapan tanah adalah jenis longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenal. Setelah waktu yang cukup lama, longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon atau rumah miring ke bawah.



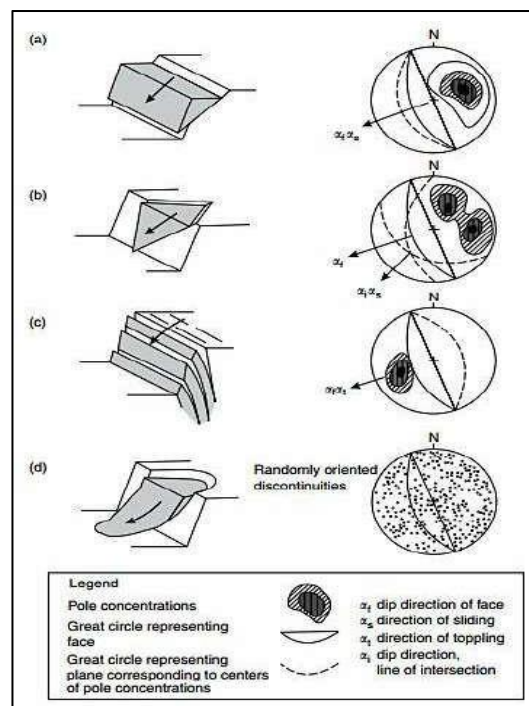
Gambar 2.6 Rayapan Tanah

6. Aliran Bahan Rombakan

Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak di dorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume, dan tekanan air serta materialnya. Gerakan terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa mencapai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai di sekitar gunung api.



Gambar 2.7 Aliran Bahan Rombakan



Gambar 2.8 Tipe longsor pada lereng (Hoek dan Bray, 1981)

Prinsip Dasar Analisis Kestabilan Lereng

Menurut Arif (2016) kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsor) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun,

apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggerakannya, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsor. Sebenarnya, longsor merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), di mana gaya penahan lebih besar dari penggerakannya.

Sifat Fisik

Menurut Rai, dkk (2013) tanah dan batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui yang dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Paramater umum pada sifat fisik adalah kadar air, bobot isi, berat jenis, porositas, dan void ratio. Sedangkan untuk sifat mekanik parameternya berupa kuat tekan, kohesi, dan sudut geser dalam.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan didaerah Jalan Batu Besaung, Kelurahan Sempaja Utara Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Dalam kegiatan penelitian ini akan dibagi menjadi 3 tahapan yaitu pertama tahap pra lapangan berupa studi pustaka, perumusan masalah serta metodologi penelitian. Tahap kedua adalah kegiatan tahap lapangan berupa pengambilan data yang diperlukan untuk keperluan analisis. Tahap ketiga berupa pasca lapangan yaitu mengolah data yang diperoleh tahap kedua, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil berupa nilai (value) dari parameter-parameter yang didapatkan selama penelitian sehingga dapat dikembangkan menjadi sebuah laporan maupun rekomendasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Fisik

Tabel 4.1 Parameter Hasil Pengujian dan Perhitungan Sifat Fisik

Kode Sampel	Kadar air	γ Asli	γ Kering	γ Jenuh
	%		kN/m ³	
ST-1A	24,94	1,03	0,83	1,43
ST-1B	27,23	1,02	0,80	1,45
ST-1C	24,82	1	0,80	1,44
Rata-rata	25,66	1,02	0,81	1,44
ST-2A	26,59	1,04	0,82	1,46
ST-2B	23,73	1,07	0,87	1,47
ST-2C	26,78	1,07	0,84	1,46
Rata-Rata	25,70	1,06	0,84	1,46
ST-3A	24,07	1,07	0,86	1,45
ST-3B	23,04	1,05	0,85	1,48
ST-3C	23,90	1,06	0,86	1,48
Rata-rata	23,67	1,06	0,86	1,47
ST-4A	25,12	1,04	0,83	1,46
ST-4B	29,68	1	0,77	1,41
ST-4C	25,84	1,09	0,87	1,48
Rata-rata	26,88	1,04	0,82	2,21
ST-5A	25,25	1,04	0,83	1,46

ST-5B	25,06	1	0,80	1,46
ST-5C	25,89	1,03	0,82	1,46
Rata-rata	25,40	1,02	0,82	1,46

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai kadar air tertinggi yang terdapat pada titik ST-4 dengan 26,88% , sedangkan kadar air terendah terdapat pada titik ST-3 dengan 23,67%. Dari pengamatan peneliti hal itu terjadi karena pada titik ST-4B telah terjadi longsoran sebelumnya dan mudah untuk dilalui aliran air dari lereng bagian atas sedangkan titik ST-3 tidak dilalui aliran air. Rata-rata nilai kadar air dari seluruh titik sebesar 25,46%, nilai rata-rata bobot isi asli yaitu $1,46 \text{ kN/m}^3$, bobot isi kering sebesar $0,83 \text{ kN/m}^3$, dan bobot isi basah sebesar $1,45 \text{ kN/m}^3$. Untuk tabel perhitungan keseluruhan dapat dilihat pada lampiran B.

Pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Tabel 4.2 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Sampel Tanah

Kode Sampel	Kohesi (c) (kN/m^2)	Sudut Geser Dalam (ϕ) ($^\circ$)
ST-1	39,90	25,34
ST-2	31,72	28,08
ST-3	36,83	30,43
ST-4	36,83	29,40
ST-5	34,79	28,35

Dari tabel 4.2 terlihat perbedaan nilai kohesi yang tidak cukup signifikan bahkan ada kesamaan di dua titik. Hal ini terjadi karena sampel yang diuji memiliki material yang sama.

Analisis Faktor Keamanan

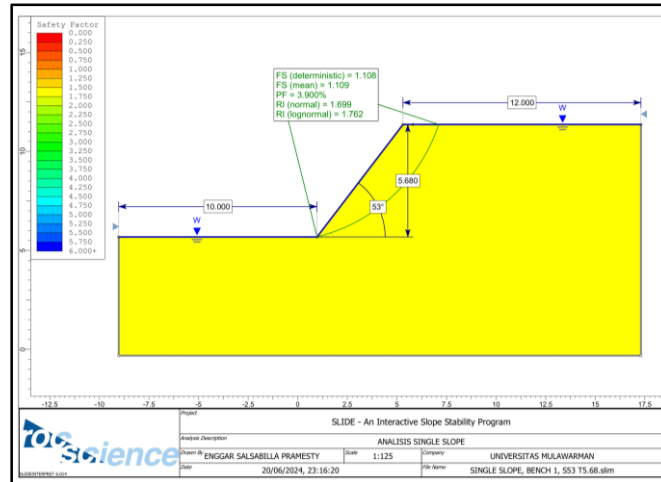
Data geometri lereng yang telah didapatkan dari hasil pengukuran dan pengamatan di lapangan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Geometri Lereng

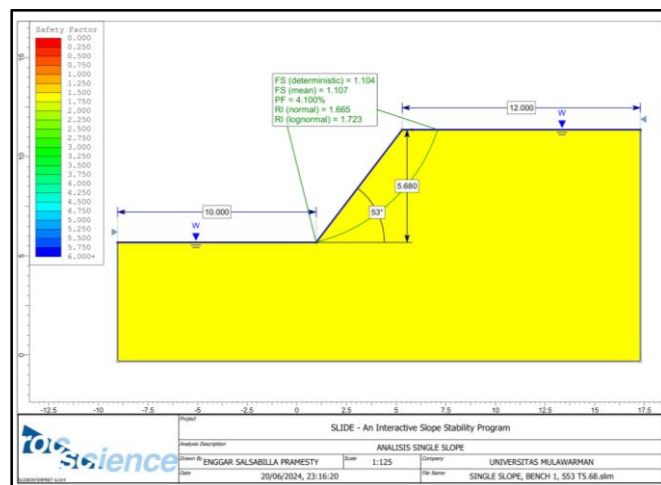
Keterangan	Nilai Lereng Tunggal Bench 1	Nilai Lereng Tunggal Bench 2	Nilai Lereng Keseluruhan
Tinggi Lereng	5,68 m	3,64 m	9,32 m
Lebar Lereng	10 m	0,5 m	0,5 m
Kohesi	36,01		
Sudut Geser Dalam	28,32 $^\circ$		
Strike Lereng	N 290 $^\circ$ E		
Dip Lereng	53 $^\circ$		

Setelah didapatkan data geometri lereng sebagai data masukan, kemudian dilakukan analisis kestabilan lereng. Dalam melakukan perhitungan nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran lereng diperlukan serangkaian data yang meliputi litologi batuan, nilai unit weight, kohesi dan sudut

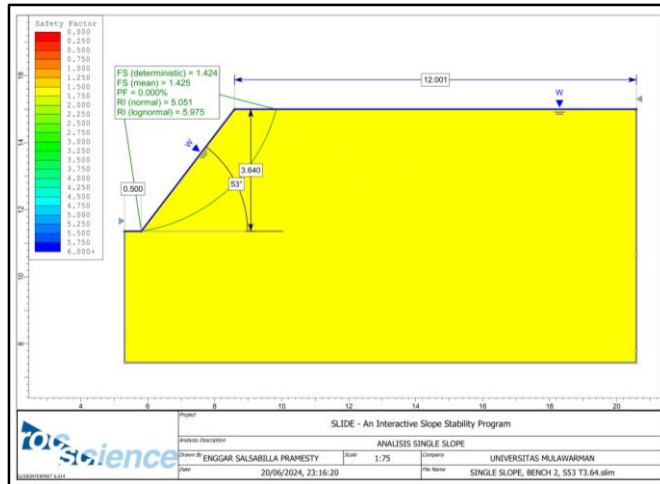
geser dalam (ϕ) dengan menggunakan metode *Bishop Simplified* dan *Morgenstern-Price* dengan penerapan simulasi Monte Carlo 1000 kali *sampling* dengan menggunakan perangkat lunak. Analisis kestabilan lereng ini dilakukan dengan asumsi tinggi muka air mengikuti permukaan atau dalam kondisi jenuh. Desain lereng tunggal aktual bisa dilihat pada Gambar 4.3 sampai dengan Gambar 4.8.



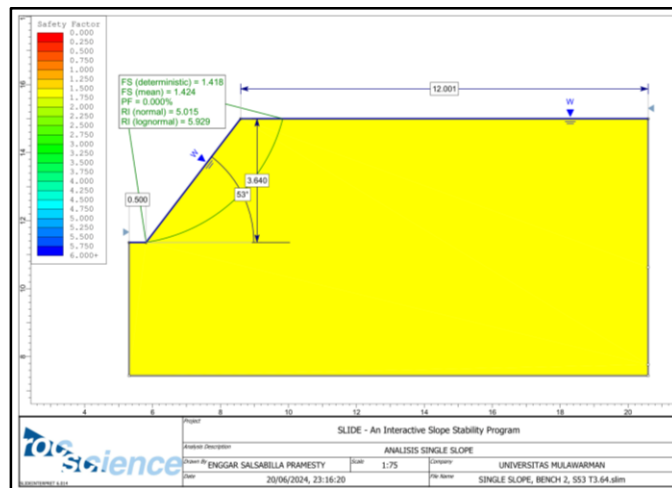
Gambar 4.3 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal tinggi 5,68 m dengan Metode *Bishop Simplified*



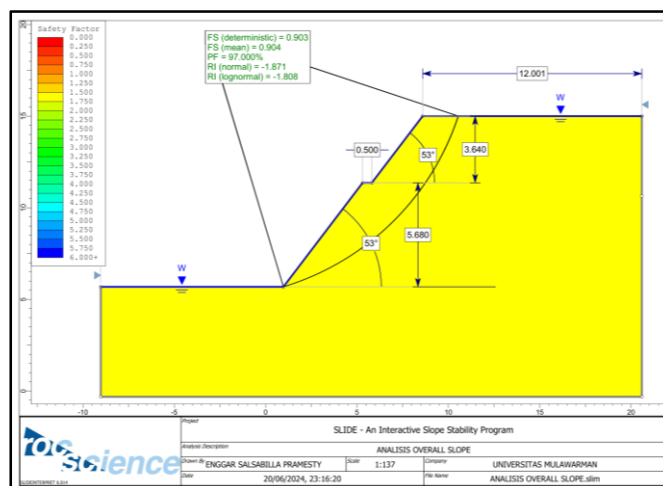
Gambar 4.4 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal bench 1 dengan Metode *Morgenstern-Price*



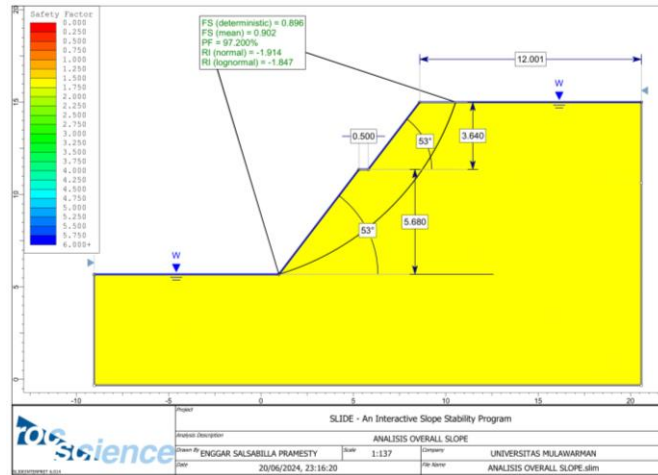
Gambar 4.5 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal *bench 2* dengan Metode *Bishop Simplified*



Gambar 4.6 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal *bench 2* dengan Metode *Morgenstern-Price*



Gambar 4.7 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan dengan Metode *Bishop Simplified*



Gambar 4.8 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan dengan Metode *Morgenstern-Price*

Tabel 4.4 Hasil Analisis Faktor Keamanan

Jenis Lereng	Metode	FK	Intensitas Longsor
Tunggal Bench 1	<i>Bishop Simplified</i>	1,109	Lereng kritis (longsoran pernah terjadi)
	<i>Morgenstern-Price</i>	1,107	Lereng kritis(longsoran pernah terjadi)
Tunggal Bench 2	<i>Bishop Simplified</i>	1,425	Lereng relatif stabil (longsoran jarang terjadi)
	<i>Morgenstern-Price</i>	1,424	Lereng relatifd stabil (lereng jarang terjadi)
Keseluruhan	<i>Bishop Simplified</i>	0,904	Lereng tidak stabil (longsor sering terjadi)
	<i>Morgenstern-Price</i>	0,902	Lereng tidak stabil (longsor sering terjadi)

Analisis dilakukan dengan pemodelan lereng yang dibuat dan dianalisis menggunakan perangkat lunak. Untuk pembuatan desain lereng menggunakan data geometri lereng, sudut geser dalam, dan kohesi. Setelah diketahui lebar lereng 50 cm dan untuk tinggi lereng 9,32 m. Sudut yang terbentuk Dip 53° dengan arah Strike $N 290^\circ E$. Untuk Analisis kestabilan lereng tunggal pada bench 1 didapatkan lebar lereng 10 m dan tinggi 5,68 m. Untuk bench 2 mempunyai lebar lereng 50 cm dan tinggi 3,64 m. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode *Bishop Simplified* dan *Morgenstern-Price* dikarenakan metode ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya, diantaranya perhitungan yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup akurat. Nilai *material properties* didapatkan dari hasil uji laboratorium, setelah dilakukan masukan data menggunakan berat jenis, kohesi, dan sudut geser dalam didapatkan hasil kestabilan lereng tunggal bench 1 sebesar 1,109 dan 1,107 yang menyatakan bahwa lereng dalam keadaan kritis/bisa terjadi longsor sewaktu-waktu dan kestabilan lereng tunggal bench 2 sebesar 1,425 dan 1,424 yang menyatakan bahwa lereng dalam keadaan aman/stabil. Untuk

kestabilan lereng keseluruhan sebesar 0,904 dan 0,902 yang menyatakan bahwa lereng dalam kondisi tidak aman/tidak stabil atau longsor sering terjadi sesuai dengan kriteria dari Bowles, 1984.

Probabilitas Kelongsoran

Tabel 4.4 Material Statistik Probabilitas Kelongsoran

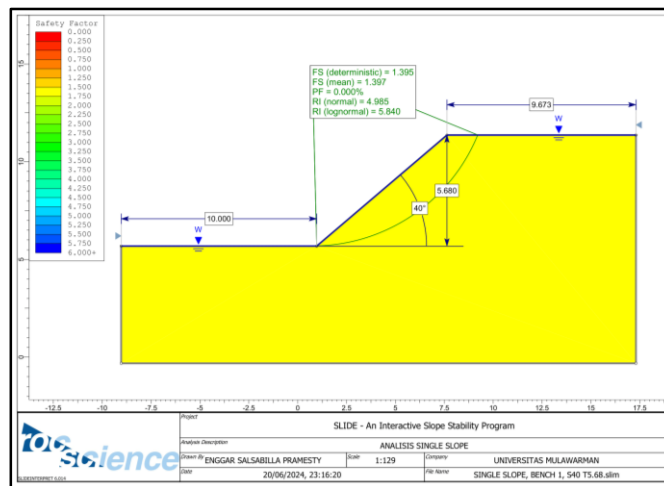
Material	Properti	Distribusi	Mean	Standar Deviasi	Relatif	
					Minimum	Maksimum
Tanah berpasir	Kohesi	Normal	35,98	3,02	31,72	39,9
	Phi		28,32	1,91	25,34	30,43
	Unit Weight		52,54	0,45	51,83	53,03

Dalam penelitian ini, menggunakan bantuan perangkat lunak untuk penentuan probabilitas kelongsoran. Didapatkan nilai probabilitas kelongsoran (PK) pada lereng tunggal bench 1 adalah 3,9% dan 4,1%, untuk lereng tunggal bench 2 adalah 0% dan untuk lereng keseluruhan adalah 97%. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa lereng dengan faktor keamanan $1 < 1,3$ atau kritis mempunyai hasil probabilitas kelongsoran yang rendah tetapi tetap mempunyai kemungkinan untuk longsor atau runtuh dan untuk faktor keamanan < 1 atau tidak aman mempunyai hasil probabilitas kelongsoran yang tinggi akan mengalami keruntuhan. Lereng yang dimaksud termasuk kategori lereng keseluruhan. Hasil analisis faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran bisa dilihat pada Gambar 4.5.

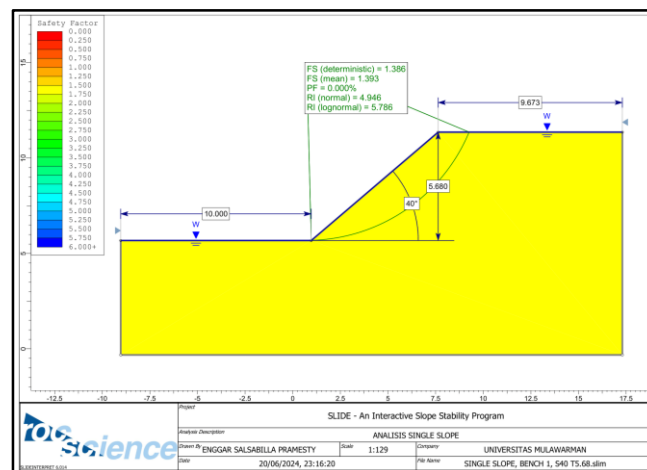
Tabel 4.5 Hasil Analisis Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran

Jenis Lereng	Metode	Dampak Kelongsoran	FK	PK
Tunggal Bench 1	<i>Bishop Simplified</i>	Rendah	1,109	3,9%
	<i>Morgenstern-Price</i>	Rendah	1,107	4,1%
Tunggal Bench 2	<i>Bishop Simplified</i>	Rendah	1,425	0%
	<i>Morgenstern-Price</i>	Rendah	1,424	0%
Keseluruhan	<i>Bishop Simplified</i>	Tinggi	0,904	97%
	<i>Morgenstern-Price</i>		0,902	97,2%

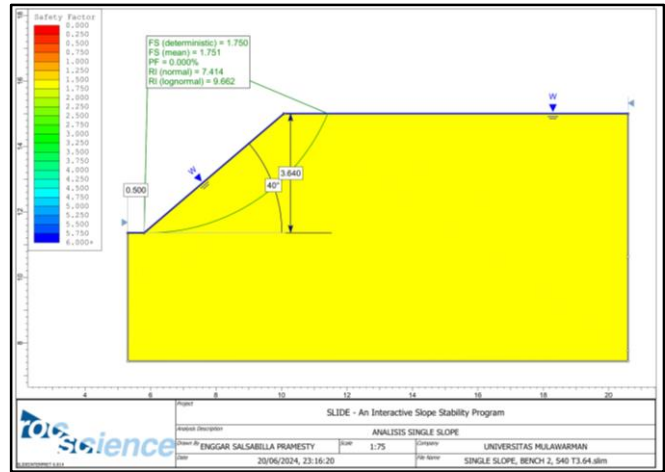
Rekomendasi Desain Lereng yang Aman



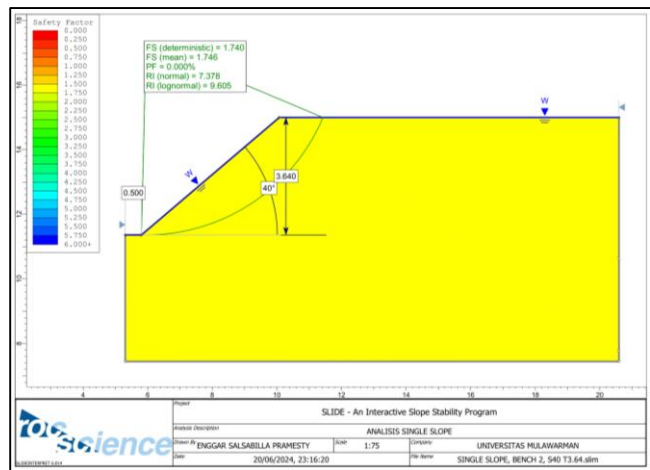
Gambar 4.9 Hasil Rekomendasi Desain (*Redesign*) Lereng Tunggal Bench 1 menggunakan Metode *Bishop Simplified*



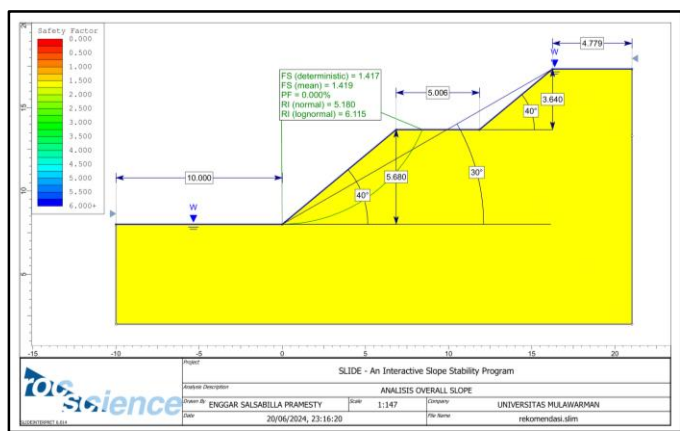
Gambar 4.10 Hasil Rekomendasi Desain (*Redesign*) Lereng Tunggal Bench 1 menggunakan Metode *Morgenstern-Price*



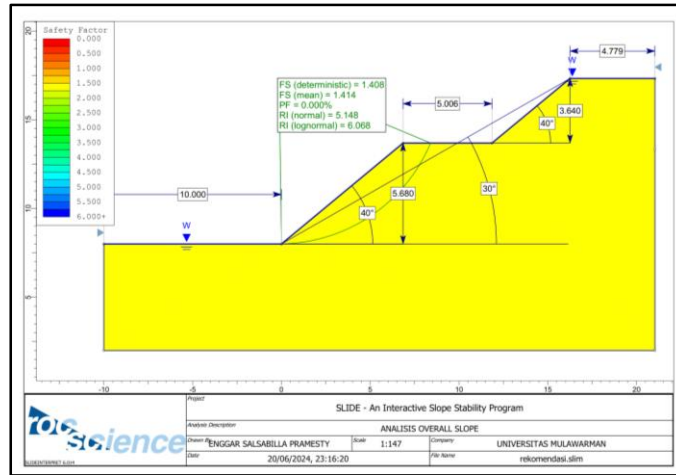
Gambar 4.11 Hasil Rekomendasi Desain (*Redesign*) Lereng Tunggal Bench 2 menggunakan Metode *Bishop Simplified*



Gambar 4.12 Hasil Rekomendasi Desain (*Redesign*) Lereng Tunggal *Bench 2* menggunakan Metode *Morgenstern-Price*



Gambar 4.13 Hasil Rekomendasi Desain (*Redesign*) Lereng Keseluruhan menggunakan Metode *Bishop Simplified*



Gambar 4.14 Hasil Rekomendasi Desain (*Redesign*) Lereng Keseluruhan menggunakan Metode *Morgenstern-Price*

Upaya modifikasi desain lereng pada gambar 4.9 sampai dengan gambar 4.13 dilakukan dengan beberapa percobaan diantaranya :

1. Melandaikan lereng keseluruhan dari yang sebelumnya memiliki kemiringan 53° menjadi 40° .
2. Memotong lereng dari posisi semula mempunyai lebar 50 cm menjadi 5 meter.

Hasil rekomendasi (*redesign* lereng keseluruhan didapatkan faktor keamanan (FK) sebesar 1,417 atau dinyatakan aman dan probabilitas kelongsoran (PK) adalah 0% dengan menggunakan metode *Bishop Simplified*. Sedangkan untuk hasil rekomendasi menggunakan metode *Morgenstern-Price* didapatkan faktor keamanan sebesar 1,408 atau dinyatakan lereng stabil dan probabilitas kelongsoran (PK) adalah 0%. Tabel hasil analisis FK awal dengan FK rekomendasi dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Analisis FK Awal dengan FK Rekomendasi

Lereng	Metode	Geometri				FK		PK	
		Awal		Rekomendasi		Awal	Rekomendasi	Awal	Rekomendasi
		Dip	Lebar	Dip	Lebar				
Tunggal Bench 1	<i>Bishop Simplified</i>	53°	10 m	40°	10 m	1,108	1,395	3,9%	0%
	<i>Morgenstern-Price</i>					1,104	1,386	4,1%	0%
Tunggal Bench 2	<i>Bishop Simplified</i>		0,5 m		0,5 m	1,424	1,750	0%	0%
	<i>Morgenstern-Price</i>				0,5 m	1,418	1,740	0%	0%
Keseluruhan	<i>Bishop Simplified</i>	53°	0,5 m	40°	5 m	0,903	1,417	97%	0%
	<i>Bishop Simplified</i>					0,896	1,408	97,2%	0%

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengolahan dan analisa data yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran yaitu sebagai berikut:

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan dilakukan perhitungan dan pengolahan data nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tingkat kestabilan lereng menggunakan metode *Bishop Simplified* didapatkan hasil analisis faktor keamanan (FK) lereng keseluruhan sebesar 0,903 berada pada kategori tidak aman, untuk tingkat kestabilan lereng menggunakan metode *Morgenstern-Price* didapatkan hasil analisis faktor keamanan (FK) lereng keseluruhan sebesar 0,896 berada pada kategori tidak aman.
2. Hasil analisis probabilitas kelongsoran dengan simulasi Monte Carlo didapatkan persentase nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 97%.
3. Rekomendasi analisis kestabilan lereng yang aman pada lereng tunggal *bench 1*, *bench 2*, lereng keseluruhan menggunakan sudut 40° sehingga pada lereng keseluruhan lebar lereng berubah menjadi 5 m dan didapatkan $FK > 1,3$ yang berarti lereng aman atau dalam keadaan stabil dan PK sebesar 0%.

Saran

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mana dapat disarankan sebagai berikut:

1. Diperlukan peninjauan kembali dan pengawasan terhadap kondisi lereng, melihat dari kondisi lereng yang sudah terjadi longsor dan tidak stabil dapat memicu terjadinya kelongsoran yang lebih parah.
2. Penelitian selanjutnya pada lereng sangat dianjurkan untuk melengkapi data yang sudah ada untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat sehingga didapatkan nilai $FK > 1,25$.
3. Untuk penelitian selanjutnya sangat dianjurkan menggunakan perbandingan metode-metode yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhi, H. A., Azizi, M. A., Marwanza, I., Hartami, P. N., Nugroho, B., & Saptono, S. (2017). Perbandingan analisis stabilitas lereng metode kesetimbangan batas dengan metode elemen hingga menggunakan pendekatan probabilistik. In *Proceeding Seminar Nasional Geomekanika IV* (Vol. 1, No. 1, pp. 01-08). ISSN: 11440-55283.
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama. ISBN: 978-602-03-2735-8

- Arif, I. (2021). *Geoteknik Tambang (Edisi Kedua Tahun 2021)*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama. ISBN: 978-602-06-5719-6
- Azizi, M. A. (2018). Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Perolehan Batubara Tertambang di PT Arutmin Indonesia Site Kintap Kalimantan Selatan. In *Seminar Nasional Pakar ke 1*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Bowles, J. E. (1984). *Physical and Geotechnical Engineering (3rd ed.)*. Carbondale: Southern Illinois University. Boston: PWS Publishing Company.
- Braja, M. D. (1985). *Mekanika Tanah Jilid 2*. The University of Texas: El Paso.
- Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering (3rd ed.)*. London: The Institution of Mining and Metallurgy. ISBN: 0-203-49908-5
- Budi, G. S. (2011). *Pengujian Tanah di Laboratorium: Penjelasan dan Panduan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Cahya, S. A., et al. (2022). Analisis Kestabilan Lereng dengan Probabilitas Longsor Metode Monte Carlo di Kalimantan Timur. *Institut Teknologi Nasional Yogyakarta*, 3(1). ISSN: 2622-268X
- Canada Center for Mineral and Energy Technology (CANMET). (1979). *Pit Slope Manual: Chapter 9 – Waste Embankments*. Canada: Mining Research Laboratories Department of Energy, Mines and Resources.
- Craig, R. F., & Susilo, B. (1989). *Mekanika Tanah (4th ed.)*. Jakarta: Erlangga.
- Djarwadi, D., & Resi, Y. B. (2014). *Desain dan Pelaksanaan In-Pit Dump*. Jakarta: PT. Pamapersada Nusantara.
- Hakam, A. (2008). *Rekayasa Pondasi*. Padang: CV Bintang Grafika.
- Haribulan, R., Gosal, P. H., & Karongkong, H. H. (2019). Kajian Kerentanan Fisik Bencana Longsor di Kecamatan Tomohon Utara. *Universitas Sam Ratulangi*, 6(3). ISSN: 2442-3262
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*. Reston, VA: U.S. Geological Survey Circular 1325.
- Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering, Civil and Mining (4th ed.)*. Duncan C. Wyllie and Christopher W. Mah. London and New York.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Empirical Strength Criterion for Rock Masses. *Journal of the Geotechnical Engineering Division: Proceedings of American Society of Civil Engineers*, 106(9), 1013-1035. ISSN: 1098-1889
- Karnawati, D. (2001). Pengenalan Daerah Rentan Gerakan Tanah dan Upaya Mitigasinya. In *Seminar Nasional Mitigasi Bencana Alam Tanah Longsor (April 11, 2002)*. Semarang: Pusat Studi Kebumihan Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro.

- Kementerian ESDM. (2018). Kepmen 1827/K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Teknik Pertambangan yang Baik (Lampiran II). Jakarta.
- Khodijah, S., et al. (2022). Analisis Kestabilan Lereng menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada PIT X, Tanjung Enim, Sumatra Selatan. Universitas Padjajaran, 6(4). ISSN: 2597-4033
- Krahn, J. (2004). *Stability Modeling with SLOPE/W* (1st ed.). Canada: GEOSLOPE/W International, Ltd.
- Manullang, P. (2020). Analisis Probabilitas Kelongsoran Lereng Pada Desain Lereng Tambang Batubara Dengan Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas. In *Prosiding TPT XXIX PERHAPI*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Pangestu, I. E., Oktaviani, R., & Respati, L. L. (2022). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Probabilistik Simulasi Monte Carlo pada Disposal PT XYZ. *Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman, Jurnal Riset Teknik Pertambangan (JRTP)*. Unisba Press.
- Prasetyo, A. S. I., Hariyanto, R., & Cahyadi, T. A. (2011). Studi Kasus Analisa Kestabilan Lereng Disposal di Daerah Karuh, Kec. Kintap, Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan. In *Seminar Nasional ke 6 Tahun 2011: Rekayasa Industri dan Informasi*. Yogyakarta.
- Priyono. (2015). Hubungan Klasifikasi Longsor, Klasifikasi Tanah Rawan Longsor dan Klasifikasi Tanah Pertanian Rawan Longsor. Surakarta: UNISRI.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2010). *Mekanika Batuan*. Bandung: Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung.
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for Open Pit Slope Design*. Collingwood: CSIRO Publishing. ISBN: 978-041-5874-41-0
- Safrina, D., Sungkar, M., & Munirwan, R. P. (2020). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop dan Perkuatan Sheet Pile. *Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala*, 2(3). ISSN: 2685-0605
- Santosa, F. H. P., & Cahyono, Y. D. G. (2020). Analisis Kestabilan Lereng berdasarkan Probabilitas Kelongsoran pada Tambang Profilit di PT Gunung Bale Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur. *Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 2(1). ISSN: 2686-0651
- Setiadi, E. (2020). Kajian Geoteknik Untuk Optimasi Lereng Disposal di PT. BOSS (Borneo Olah Sarana Sukses) di Desa Dasaq Kutai Barat Kalimantan Timur. *Universitas Muhammadiyah Mataram, Jurnal Ulul Albab*, 24(1).
- Steffen, O. K. H., Contreras, L. F., Terbrugge, P. J., & Venter, J. (2008). A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design. In *The 42nd US Rock Mechanics Symposium and 2nd US-Canada Rock Mechanics Symposium*. San Francisco.

- Sutikno, et al. (2001). Pengelolaan Data Spasial Untuk Penyusunan Sistem Informasi Penanggulangan Tanah Longsor di kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. In Seminar Dies Fakultas Geografi UGM ke-38 (August 29, 2001). Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Takwin, R., Rondonuwu, & Turangan. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price. TEKNO Sulawesi, 15(67).
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). Rock Slope Engineering, Civil and Mining (4th ed.). In Taylor & Francis Group (Vol. 3, Issue April).