

Studi Kestabilan Lereng *Sandstone* dengan Metode *Bishop Simplified* di Samarinda Ulu, Kalimantan Timur

Muhammad Hamzah^{1*}, Tommy Trides², Revia Oktaviani³, Lucia Litha⁴, Albertus Juvensius⁵

¹⁻⁵Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Indonesia

*Penulis Korespondensi: muhamzhibinsam0207@gmail.com

Abstract. A research about study of sandstone slope stability using the Bishop Simplified method in Ulu Samarinda has been conducted. This study was conducted to analyze the rebound number values of sandstone slopes, evaluate their stability level, and calculate the safety factor using the Bishop method. The results showed that the rebound number values were 22.34 at point 1, 19.83 at point 2, and 18.07 at point 3. The Uniaxial Compressive Strength (UCS) values at the observation points were 1.90 MPa, 1.62 MPa, and 2.21 MPa, respectively. Geological Strength Index (GSI) evaluation indicated a rating of 80–85, demonstrating intact/massive rock structure, fresh and unweathered rock surfaces, and very good rock quality. Based on the Bishop method analysis, the slope factor of safety in 6.525 with a probability of failure is 0.000%, indicating that the sandstone slope in Ulu Samarinda is highly stable even under external pressures such as heavy rainfall or minor earthquakes. This study provides crucial information on the mechanical characteristics and stability of sandstone slopes in ulu Samarinda, which can serve as a reference for technical planning, geotechnical risk mitigation, and the sustainable development of safe areas.

Keywords: Bishop Simplified Method; Factor of Safety; Rebound Number; Sandstone; Slope Stability.

Abstrak. Studi mengenai kestabilan lereng sandstone dengan metode *Bishop Simplified* di Samarinda Ulu, Kalimantan Timur telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis nilai *rebound number* pada lereng sandstone, mengevaluasi tingkat kestabilannya, serta menghitung faktor keamanan menggunakan metode *Bishop*. Hasil pengujian menunjukkan nilai *rebound number* pada titik 1 sebesar 22,34, titik 2 sebesar 19,83, dan titik 3 sebesar 18,07. Nilai kuat tekan (*Uniaxial Compressive Strength*, UCS) pada titik pengamatan masing-masing adalah 1,90 MPa, 1,62 MPa, dan 2,21 MPa. Evaluasi *Geological Strength Index* (GSI) memberikan rating 80–85, yang menunjukkan struktur batuan utuh (*intact/massive*), permukaan batuan segar (*unweathered*), dan kualitas batuan sangat baik (*very good*). Berdasarkan analisis metode Bishop, nilai faktor keamanan lereng mencapai 6,525 dengan probabilitas kelongsoran sebesar 0,000%, mengindikasikan bahwa lereng sandstone di Samarinda Utara memiliki tingkat kestabilan yang sangat tinggi bahkan di bawah tekanan eksternal seperti hujan deras atau gempa kecil. Penelitian ini dapat memberikan informasi penting terkait karakteristik mekanik dan stabilitas lereng sandstone di Samarinda Ulu, yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan teknis, mitigasi risiko geoteknik, serta pengembangan wilayah yang aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: Faktor Keamanan; Kestabilan Lereng; Metode Bishop Simplified; *Rebound Number*; Sandstone.

1. LATAR BELAKANG

Kestabilan lereng pada kegiatan penambangan merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan karena seluruh kegiatan penambangan terpusat pada area tersebut setiap harinya. 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 longsor. Analisis kestabilan lereng digunakan metode generalisasi *bishop* (*Generalized Bishop Simply Method*), yang menggunakan parameter *Geological Strength Index* (GSI) untuk mengetahui kekuatan dan kualitas batuan dimana hasil uji kekuatan batuan akan dikorelasikan dengan nilai *geological strength index*. Berdasarkan hal tersebut

maka penelitian ini dapat menentukan nilai faktor keamanan berdasarkan geometri lereng dan merencanakan geometri lereng yang aman, baik lereng individual maupun lereng keseluruhan.

2. KAJIAN TEORITIS

Menurut para ahli geoteknik istilah batuan hanya untuk formasi yang keras dan padat dari kulit bumi yang merupakan suatu bahan yang keras dan koheren atau yang telah terkonsolidasi serta tidak dapat digali dengan cara biasa (Rai dkk, 2013). Batuan utuh (*intact rock*) dalam istilah rekayasa didefinisikan sebagai batuan yang tidak memiliki struktur (*fracture*) yang signifikan. Namun pada skala kecil, batuan utuh terdiri dari butiran – butiran penyusun yang dalam bentuk mikro dipengaruhi oleh proses pembentukan dasar batuan. Peristiwa geologi dapat mempengaruhi sifat mekanik, sifat fisik dan efek pelapukan batuan (Hudson dan Hurison, 2000).

Geological Strength Index (GSI) merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai massa batuan dengan penilaian visual di lapangan yang didasarkan pada parameter litologi, struktur, dan kondisi permukaan diskontinuitas. Penilaian secara visual dapat dilakukan pada singkapan, penggalian permukaan, dan inti bor. Penilaian *Geological Strength Index* (GSI), menggabungkan 2 (dua) parameter utama, yaitu struktur dari sifat blok dan kondisi permukaan berdasarkan dari pengamatan struktur (ukuran blok dan bentuk) dan kondisi permukaan diskontinuitas (pelapukan, derajat kekerasan, dan alterasi). Dari data litologi, struktur, dan kondisi permukaan dari bidang diskontinu, diestimasikan nilai rata – rata *geological strength index* yang ditunjukkan oleh Gambar 1, (Marinos dkk, 2005).



Gambar 1. Parameter *Geological Strength Index* Untuk Massa Batuan Umum.

Kekuatan tekan uniaksial merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan kekuatan geser dari massa batuan dengan metode klasifikasi batuan. Dalam menentukan kuat tekan uniaksial dapat dilakukan pada pengujian laboratorium atau dapat menggunakan metode indeks dengan menggunakan *Schmidt Hammer* (SH), keuntungan menggunakan ini adalah dapat dilakukan dengan praktis mengukur kekuatan batuan di lapangan serta pada batuan lemah. Persamaan empiris korelasi antara nilai *rebound schmidt hammer* dan nilai kuat tekan batuan uniaksial dikemukakan saptono dan kramadibrata. (saptono dkk,2013)

$$UCS = 0.308 \times R^{1,327}$$

UCS = nilai kuat tekan *uniaksial* batuan (Mpa)

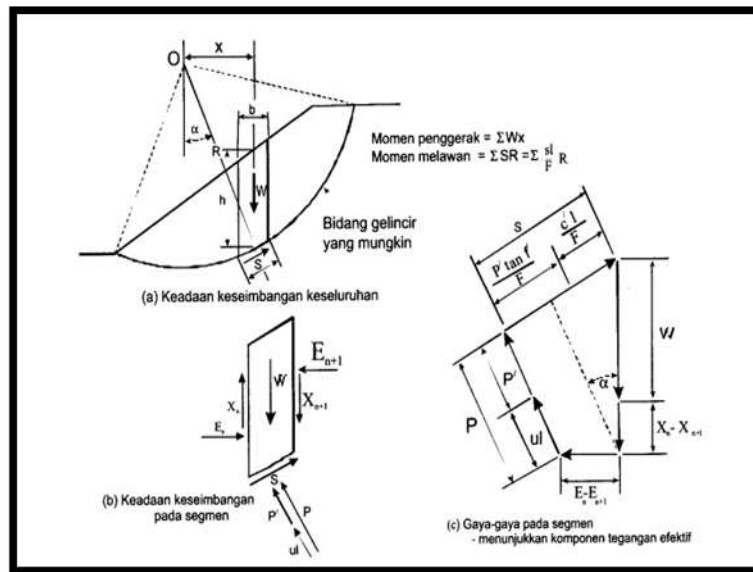
R = nilai *rebound Schmidt hammer*

Banyak sekali karakteristik massa batuan yang telah menghasilkan persamaan empiris hubungan nilai rebound Schmidt hammer dan nilai kuat tekan batuan. Adapun beberapa usulan sebagai berikut (Tabel 1)

Tabel 1. Usulan Persamaan Empiris Korelasi Antara Rebound Schmidt Hammer dan Kuat Tekan Uniaksial (Saptono dkk, 2013).

Equation	R ²	Researcher	Lithology
$UCS = 6.9 \times 10^{[0.0087aR + 0.16]}$	0.94	Deere & Miller (1966)	Varied
$UCS = 6.9 \times 10^{[1.348 \log(aR) - 1.325]}$	-	Aufmuth	Varied
$UCS = 0.447 \exp^{[0.045(R + 3.5) + a]}$	-	Kidybinski	Coal, Shale, Mudstone
$UCS = 0.308 R^{1.327}$	0.90	Saptono & Kramadibrata	Sandstone, Mudstone
$UCS = 2R$	0.72	Singh Et Al (1983)	Sandstone, Mudstone
$UCS = 2.75R - 36.83$	-	Dincer Et Al (2004)	Andesite, Basalt, Tuff
$UCS = 702R - 1104$	0.77	O'rourke (1989)	Sandstone

Pada tahun 1995, memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti daripada metode irisan yang sederhana. Dalam metode ini, pengaruh gaya – gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan faktor keamanan dengan metode bishop yang disederhanakan harus dilakukan dengan iterasi. (Braja, 1995).



Gambar 2. Gaya – gaya yang bekerja pada irisan dengan Bishop Simplified Method.

Cara bishop yang disederhanakan (*simplified bishop method*), tetapi sering disebut cara bishop (*bishop method*) saja. Isitilah “*simplified*” dipakai karena resultan vertical gaya – gaya antarsemen diabaikan. Bishop menjelaskan cara untuk mengikutsertakan gaya – gaya ini kedalam persamaan keseimbangan, tetapi pengaruh pada nilai faktor keamanan sangat kecil.

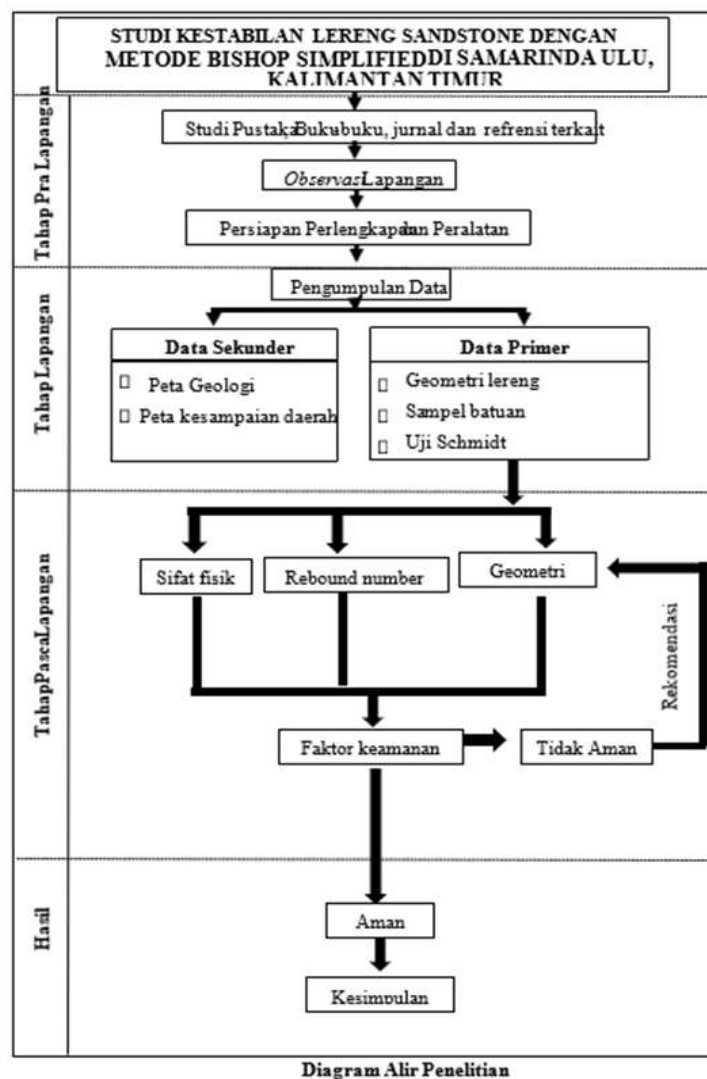
3. METODE PENELITIAN

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian yang memakai teori-teori ilmiah yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu serta mengetahui hubungan empiris antara hasil penelitian terdahulu dengan penelitian yang sekarang, Jenis penelitian ini, merupakan jenis penelitian evaluasi yang bertujuan untuk mencari, menghitung, menganalisis, dan memberikan solusi berupa evaluasi agar tercapai hal-hal yang semestinya atau sesuai dengan standar yang berlaku.

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan untuk penelitian dan penyusunan skripsi ini, terkhususnya data primer yang didapatkan dari hasil pengujian batuan dilaboratorium dan pengambilan titik koordinat serta data sekunder berupa peta kesampaian daerah dan peta geologi regional.



Gambar 3. Pengambilan sampel.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

Pada tahap pengolahan data yaitu tahap pengujian sampel dan pengolahan data serta analisis data yang telah didapatkan dari lapangan seperti pengujian schmidt hammer untuk mendapatkan rebound number dan akan dikorelasikan berupa nilai kuat tekan *uniaksial* batuan (*Uniaxial Compressive Strength*) dan serta pengujian yang akan dilakukan pada laboratorium

seperti kadar air batuan, berat jenis batuan, bobot isi batuan lalu data tersebut diolah dengan menggunakan software slide.

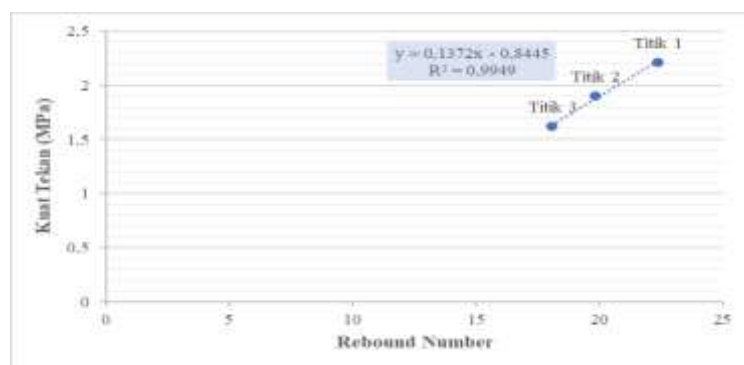
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rebound number merupakan nilai kekerasan permukaan batuan berdasarkan elastisitas dan sifat mekanis lereng *sandstone*. Nilai *rebound number* dihasilkan dari pengujian menggunakan *Schmidth hammer* yang dilakukan di lapangan. Selain itu, dilakukan pula pengambilan data *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) untuk mengetahui nilai kekuatan tekan material sampel dari hasil pengujian laboratorium.

Tabel 2. Hasil *Rebound Number*.

Titik	Lokasi Kordinat	<i>Rebound Number</i>	UCS (MPa)
1	X : 00265675 Y : 117081121	18,07	1,43
2	X : 00265631 Y : 117081132	19,83	1,96
3	X : 00265627 Y : 117081147	22,34	1,90

Hasil pengujian *rebound number* sebagai estimasi kekuatan material dikorelasikan menggunakan grafik linier terhadap data *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) untuk menghubungkan hasil uji kekuatan tekan batuan *sandstone* (UCS) dengan hasil uji non-destruktif menggunakan palu *Schmidt* (*rebound number*). Korelasi ini penting karena *rebound number* hanya memberikan indikasi kekerasan permukaan material, sementara UCS memberikan kekuatan tekan actual. Berikut korelasi antara nilai *rebound number* dengan data UCS.



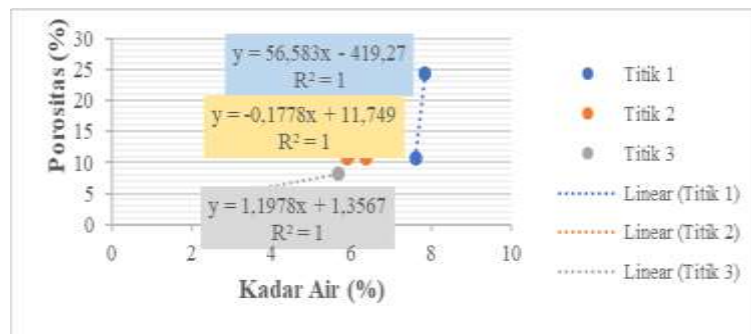
Gambar 5. Grafik Korelasi *rebound number* dengan kuat tekan (UCS).

Dari Grafik pada gambar 5 menunjukkan hubungan linier positif antara nilai rebound number dan kuat tekan (UCS). Nilai determinasi yang mendekati 1 yaitu $R^2=0,99$ menunjukkan kuatnya korelasi kedua parameter tersebut. Dengan kata lain, semakin tinggi nilai rebound number, semakin tinggi pula nilai kuat tekan (UCS) yang terukur. Korelasi positif

antara data UCS dan *rebound number* mengindikasikan bahwa batuan lereng *sandstone* memiliki struktur batuan homogen. Kelebihan dari batuan *sandstone* homogen yaitu mampu menahan tekanan karena beban terdistribusi secara merata tanpa tegangan, mengurangi potensi keruntuhan akibat gesekan rendah pada bidang diskontinuitas, dan stabil terhadap tekanan air pori dan aliran air. Selanjutnya, data ini menjadi dasar evaluasi kekuatan batuan terhadap kestabilan lereng *sandstone*.

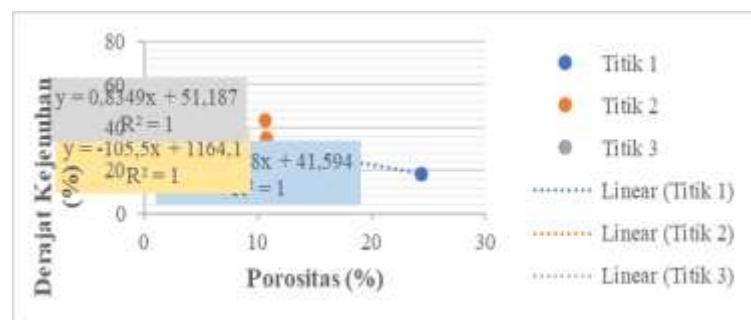
Analisis Kestabilan Lereng

Korelasi kadar air, derajat kejenuhan dan porositas lereng

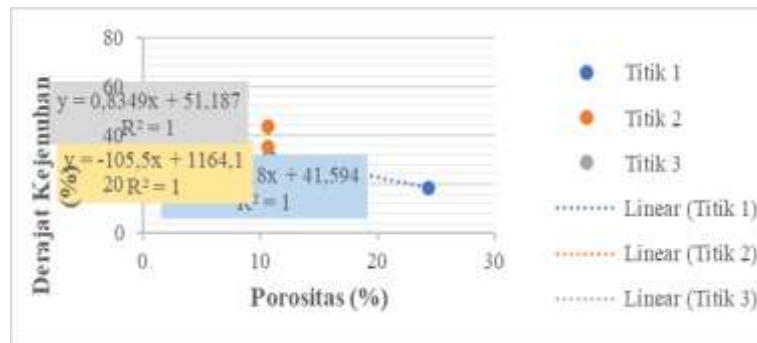


Gambar 6. Hasil korelasi antara kadar air dan porositas.

Korelasi antara kadar air dan porositas terhadap 3 titik pengambilan sampel pada lereng *sandstone* di Samarinda Ulu memiliki korelasi positif yang kuat ditunjukkan dari pola garis naik dengan nilai determinasi R^2 sebesar 1 yang berarti semakin besar persentase kadar air maka semakin besar pula porositasnya. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya kadar air disebabkan oleh volume pori *sandstone* yang besar untuk menyerap air. Kadar air dan porositas yang tinggi akan meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng *sandstone* yang ada di Samarinda Ulu Kalimantan Timur.



Gambar 7. Hasil korelasi antara kadar air dan derajat kejenuhan.



Gambar 8. Hasil korelasi antara porositas dan derajat kejenuhan.

Kadar air dan derajat kejenuhan menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.7 dari nilai determinasi (R^2) sebesar 1. Derajat kejenuhan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar air, tetapi kenaikannya tergantung pada porositas *sandstone*. Semakin tinggi porositas, semakin besar kapasitas penyimpanan air, sehingga hubungan antara kadar air dan derajat kejenuhan lebih lambat. Hubungan tersebut ditunjukkan dari nilai determinasi (R^2) porositas dan derajat kejenuhan sebesar 1. Peningkatan derajat kejenuhan dan kadar air secara bersamaan dapat menyebabkan tekanan air pori meningkat, yang berdampak negatif pada stabilitas lereng sandstone, terutama saat curah hujan tinggi.

Geological strength indeks (GSI)

Geological Strength Index (GSI) adalah sistem klasifikasi empiris yang digunakan untuk memperkirakan kekuatan dan deformabilitas massa batuan berdasarkan kondisi geologi. Nilai GSI didapatkan dari hasil pengamatan lapangan di 3 titik dan posisi yang berbeda. Data yang didapatkan selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan Hoek-Brown, *Geological Strength Index* (GSI) untuk mengetahui nilai kualitas massa setiap sampel batuan dari gambaran geologi seperti litologi batuan, kondisi diskontinuitas, struktur dan bentuk massa batuan. Berikut hasil GSI dari batuan lereng *sandstone* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Nilai Pengamatan GSI.

Titik	Litologi	Geological Strength Index			
		Rating	Rockmass Structure	Rockmass Surface Condition	Rockmass Quality
1	Sandstone	85	Intact/massive	Fresh unweathered	Very good
2		85	Intact/massive	Fresh unweathered	Very good
3		80	Intact/massive	Fresh unweathered	Very good

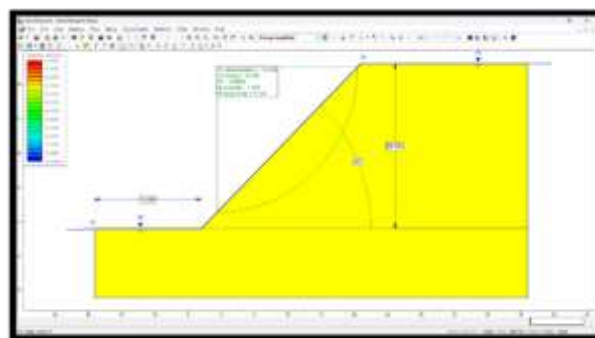
Nilai Faktor Keamanan Dan Probabilitas Kelongsoran

Factor of Safety atau Faktor Keamanan (FK) adalah rasio antara gaya penahan (mencegah lereng bergerak atau longsor) dan gaya penggerak (penyebab lereng longsor). Nilai FK dapat memberikan gambaran kestabilan dari lereng sandstone atau berisiko mengalami kegagalan. Nilai $FK > 1$ berarti lereng stabil. Semakin besar nilai FK maka akan semakin aman lereng tersebut. Sebaliknya, jika nilai $FK < 1$ menunjukkan lereng berada dalam kondisi kritis atau tidak stabil dan berpotensi longsor. Sedangkan *Probability of Failure* atau Probabilitas Kelongsoran (PK) merupakan nilai yang menggambarkan tingkat kemungkinan atau peluang terjadinya kegagalan atau longsor pada lereng, berdasarkan parameter-parameter yang memengaruhi stabilitas lereng, seperti sifat fisik, sifat mekanik, dan lainnya. Dari data tersebut didapatkan nilai deskriptif statistik seperti pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Deskriptif Statistik Probabilitas Kelongsoran.

Parameter	Titik	Nilai	Rata-rata	Standar Deviasi	Relatif	
					Minimum	Maksimum
UCS (Mpa)	1	2206.059				
	2	1899.757	1909.4513	291.8813	1622.5378	2206.0589
	3	1622.538				
a	1	0.5004				
	2	0.5004	0.5004	0.0001	0.5004	0.5006
	3	0.5006				
s	1	0.1889				
	2	0.1889	0.1620	0.0465	0.1084	0.1889
	3	0.1084				
Unit Weight	1	0.2190				
	2	0.1735	0.1803	0.0359	0.1483	0.2190
	3	0.1483				
mb	1	11.1198				
	2	11.1198	10.5136	1.0499	9.3013	11.1198
	3	9.3013				

Data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan software untuk menentukan probabilitas kelongsoran dengan metode *Maximum Likelihood Estimates* (MLE) dengan parameter *Kolmogorov Smirnov*, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Hasil FK DAN PK Lereng Sandstone.

Dari data di atas, lereng *sandstone* memiliki nilai $FK > 6$ menunjukkan kestabilan lereng dengan nilai FK 6,525 sebesar yang berarti gaya penahan sekitar 6,5 kali lebih besar daripada gaya penggerak. Hal ini mengindikasikan bahwa lereng *sandstone* berada dalam kondisi sangat aman bahkan di bawah tekanan eksternal seperti hujan deras atau gempa kecil. Nilai FK rata-rata sebesar 6,525 menunjukkan hasil konsisten, dimana lereng *sandstone* memiliki stabilitas tinggi di hampir semua titik (1, 2, dan 3).

Tabel 5. Hasil Analisis Faktor Keamanan (FK) Dan Probabilitas Kelongsoran (PK).

Jenis Lereng	Titik	FK Deterministik	FK Rata-rata	PK
Lereng Tunggal	Keseluruhan	16.674	6.525	0.000%

Perbedaan nilai FK spesifik (16.674) sedikit di bawah nilai rata-rata (6.525) dapat disebabkan oleh variasi lokal seperti retakan kecil atau perbedaan tekanan air pori. Adapun probabilitas kelongsoran sebesar 0,000% yang berarti tidak ada kemungkinan kegagalan lereng (longsor). Nilai PK yang sangat rendah (0%) umumnya berkorelasi dengan nilai FK yang sangat tinggi ($FK > 6$). Pada keadaan ini, hampir semua kondisi baik kondisi normal maupun ekstrem menunjukkan bahwa lereng *sandstone* tetap stabil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan Nilai *rebound number* yang dihasilkan pada titik 1 sebesar 18.07, titik 2 sebesar 19,83 dan titik 3 sebesar 22.34. Sedangkan nilai kuat tekan (UCS) pada titik 1 sebesar 1.43 MPa, titik 2 sebesar 1.96 MPa, dan titik 3 sebesar 1.90 Mpa, Lereng *sandstone* di Samarinda Ulu memiliki tingkat kestabilan yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dari data *Geological Strength Index* dengan rating 80 – 85 yang menunjukkan struktur batuan yang utuh (*intact/massive*), kondisi permukaan batuan yang segar atau tidak mengalami pelapukan (*unweathered*), dan kualitas batuan yang sangat baik (*very good*), Nilai faktor keamanan menggunakan metode *bishop* didapatkan sebesar 6.525 dan probabilitas kelongsoran 0,000% yang menunjukkan lereng *sandstone* berada dalam kondisi sangat aman bahkan di bawah tekanan eksternal seperti hujan deras atau gempa kecil.

REFERENSI

- Arif, I. (2021). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama. ISBN: 978-602-03-2735-8
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 2883:2016. Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. Badan Standarisasi Nasional.
- Batali, L., & Andreea, C. (2016). Slope stability analysis using the unsaturated stress analysis: Case study. *Procedia Engineering*, 143(ICTG), 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.036>

- Braja, M. D. (1985). *Mekanika tanah (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis)*, Jilid 2 (Mochtar, N. E. & Mochtar, I. B., Trans.). Erlangga.
- Damanik, H. I. (2019). *Analisis kemantapan lereng PIT Selatan dengan menggunakan metode Bishop PT. Borneo Prima Coal Indonesia, Kabupaten Barito Utara, Provinsi Kalimantan Tengah* (Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman).
- Das, B. M. (1993). *Mekanika tanah Jilid 2 (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis)*. The University of Texas: El Paso.
- Das, B. M. (2007). *Fundamentals of geotechnical engineering* (3rd ed.). CI Engineering. ISBN: 978-0-495-29572-3
- Fahni, M. G. (2022). *Studi kestabilan lereng dan probabilitas kelongsoran menggunakan metode Bishop Simplified di Samarinda Ulu, Kalimantan Timur* (Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman).
- Goudie, A. S. (2006). The Schmidt hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography*. <https://doi.org/10.1177/0309133306071954>
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika tanah I* (6th ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock slope engineering*. Institution of Mining and Metallurgy. <https://doi.org/10.1201/9781482267099>
- Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (2000). *Engineering rock mechanics: An introduction to the principles*. Elsevier Science Ltd. ISBN: 008-043864-4
- Kementrian ESDM. (2018). *Kepmen 1827/K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan teknik pertambangan yang baik*. Jakarta.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- 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. 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 Kebumian Ke-10*, Yogyakarta.
- Lollong, M. M., dkk. (2019). Analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR) dan metode Slope Mass Rating (SMR) pada penambangan batu pasir daerah Bukit Pinang Kecamatan Samarinda Ulu Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT Unmul*, 7(1), 50–60.
- Malhotra, V. M., & Carino, N. J. (2004). *Handbook on nondestructive testing of concrete*. <https://doi.org/10.1201/9781420040050>
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation.