

Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Sifat Fisik Batuan, Metode RMR, dan Perancangan Lereng Stabil dengan Perangkat Lunak Slide pada Singkapan Ringroad, Samarinda

**Nauval Rafiq Izzudin^{1)*}, Koeshadi Sasmito¹⁾, Dewi Patmawati¹⁾, Nur Aini Hardianti¹⁾,
Muhammad Arif¹⁾**

¹⁾ Fakultas Teknik, Teknik Geologi, Universitas Mulawarman

E-mail: nauvalrfq13@gmail.com

ABSTRAK

Singkapan yang terletak di kawasan Ring Road dekat Sekolah Menengah Pertama Granada, Samarinda, diidentifikasi sebagai zona yang berpotensi rawan longsor akibat kemiringan lereng alami yang curam serta adanya aktivitas penggalian manual yang masih berlangsung. Beberapa kejadian runtuh batu telah terjadi, yang menunjukkan kondisi ketidakstabilan lereng dan berpotensi menimbulkan risiko bagi masyarakat sekitar serta infrastruktur di sekitarnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik geoteknik dan kondisi kestabilan lereng di daerah tersebut. Investigasi lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data mengenai kualitas massa batuan, jarak antar diskontinuitas, serta orientasinya, yang kemudian dilanjutkan dengan pengambilan sampel batuan untuk pengujian di laboratorium. Sifat fisik dan mekanik sampel batuan ditentukan melalui pengujian Batas Atterberg dan Point Load Index (PLI). Sistem Rock Mass Rating (RMR) digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi massa batuan, sedangkan analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan metode Bishop pada perangkat lunak Slide. Nilai Faktor Keamanan (Safety Factor/FoS) yang diperoleh dari hasil analisis menunjukkan tingkat kestabilan yang bervariasi pada setiap kondisi lereng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa bagian lereng berada dalam kondisi stabil marginal dan berpotensi mengalami kegagalan, terutama di bawah pengaruh eksternal seperti curah hujan atau aktivitas penggalian yang terus berlangsung. Temuan ini menegaskan pentingnya pemantauan berkelanjutan serta pengelolaan lereng yang tepat guna memitigasi bahaya longsor di kawasan Ring Road.

Kata Kunci: Penilaian Geoteknik, Kestabilan Lereng, Klasifikasi Massa Batuan, Faktor Keamanan, Mitigasi Longsor.

ABSTRACT

The outcrop located in the Ring Road area near Granada Junior High School, Samarinda, was identified as a potential landslide-prone zone due to its steep natural slopes and ongoing manual excavation activities. Several rockfall incidents had occurred, indicating slope instability that could pose risks to nearby residents and infrastructure. Therefore, this research aimed to evaluate the geotechnical characteristics and slope stability conditions in the area. Field investigations were conducted to collect data on rock quality, discontinuity spacing, and orientations, followed by rock sampling for laboratory testing. The physical and mechanical properties of the rock samples were determined through the Atterberg Limits and Point Load Index (PLI) tests. The Rock Mass Rating (RMR) system was applied to classify rock mass conditions, while slope stability analysis was performed using the Bishop method in Slide software. The Safety Factor (FoS) values obtained from the analysis indicated varying levels of stability across different slope conditions. The results showed that certain slope sections were marginally stable and potentially susceptible to failure, particularly under external influences such as rainfall or continued excavation. These findings highlighted the importance of continuous monitoring and appropriate slope management to mitigate landslide hazards in the Ring Road area.

Keywords: Geotechnical Assessment, Slope Stability, Rock Mass Classification, Safety Factor, Landslide Mitigation.

1. Pendahuluan

Tanah longsor dan kegagalan lereng merupakan salah satu permasalahan geoteknik paling signifikan yang mempengaruhi pembangunan infrastruktur di wilayah tropis seperti Kalimantan Timur, Indonesia. Kombinasi antara lereng yang curam, struktur geologi yang kompleks, serta intensitas curah hujan yang tinggi menjadikan ketidakstabilan lereng sebagai permasalahan yang berulang dan mengancam keselamatan masyarakat serta keberlanjutan pemanfaatan lahan (Rahmawati & Sugianto, 2021; Pratama & Wulandari, 2023). Di Samarinda sebagai ibu kota Kalimantan Timur, ekspansi perkotaan semakin banyak melibatkan wilayah dengan kondisi geologi dan topografi yang menantang, khususnya di sepanjang kawasan Ring Road, Kecamatan Samarinda Ulu. Pesatnya pembangunan infrastruktur di kawasan ini menuntut pemahaman yang andal terhadap kondisi bawah permukaan guna meminimalkan potensi bahaya geoteknik.

Penelitian terdahulu mengenai kestabilan lereng di Indonesia umumnya berfokus pada lereng yang didominasi oleh tanah serta korelasi empiris antara parameter tanah dan indeks kestabilan (Perdana & Putra, 2021; Darwis, 2018). Meskipun memberikan kontribusi yang berharga, penelitian yang secara khusus membahas pengaruh sifat fisik batuan dan klasifikasi massa batuan terhadap kestabilan lereng pada formasi sedimen masih terbatas (Ridwan et al., 2022; Wulandari & Susanto, 2021). Selain itu, banyak analisis kestabilan lereng yang hanya mengandalkan pendekatan kualitatif atau evaluasi satu parameter, sehingga belum mampu merepresentasikan secara menyeluruh interaksi kompleks antara faktor geologi dan mekanik pada lereng alami.

Untuk menjawab keterbatasan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan pengujian sifat batuan berbasis laboratorium dengan pemodelan kuantitatif kestabilan lereng guna memperoleh evaluasi yang lebih komprehensif. Metode Rock Mass Rating (RMR) yang dikembangkan oleh Bieniawski (1973) digunakan untuk menilai kualitas massa batuan, sedangkan pemodelan numerik menggunakan metode Bishop pada perangkat lunak Slide diterapkan untuk menentukan kestabilan lereng pada berbagai kondisi (Nugroho & Hidayat, 2022). Pendekatan ini memberikan kerangka ilmiah dalam mengkorelasikan karakteristik fisik dan mekanik batuan dengan hasil kestabilan lereng.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat fisik dan mekanik batuan pada singkapan Ring Road di Kecamatan Samarinda Ulu serta mengevaluasi kestabilan lereng menggunakan integrasi metode RMR dan pemodelan berbasis Slide. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan penting bagi perancangan lereng, perencanaan infrastruktur, serta strategi mitigasi longsor di wilayah Kalimantan Timur yang berkembang pesat.

2. Metode Penelitian

A. Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada singkapan di kawasan Ring Road, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia, dengan koordinat $X = 513498$ dan $Y = 9949570$ (UTM). Elevasi lokasi sekitar 50 meter di atas permukaan laut, dengan tinggi singkapan keseluruhan mencapai 19,08 meter. Geometri lereng menunjukkan orientasi jurus/kemiringan (strike/dip) sebesar $N307^{\circ}E/35^{\circ}$, dan pengamatan lapangan dilakukan dalam kondisi cuaca cerah. Satuan batuan yang tersingkap termasuk dalam Formasi Pulau Balang, yang didominasi oleh batupasir dengan sisipan batulempung, serta telah dipengaruhi oleh aktivitas tektonik regional di Cekungan Kutai (Satyana et al., 1998).

B. Alat dan Bahan

Sub-Bab Peralatan lapangan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kompas geologi, perangkat GPS, pita ukur, palu geologi, buku catatan lapangan, klinometer, serta pita ukur scanline. Instrumen-instrumen tersebut digunakan untuk memperoleh data struktur dan geoteknik, antara lain jurus (strike), kemiringan (dip), jarak antar kekar (joint spacing), bukaan rekahan (aperture), geometri lereng, serta kekasaran permukaan. Peralatan laboratorium terdiri atas sampel batuan yang diambil dari Formasi Pulau Balang. Sampel batupasir diuji menggunakan alat tekan (load frame) dan jangka sorong untuk menentukan nilai Point Load Index (PLI) sesuai dengan standar ASTM (ASTM, 2000). Peralatan pendukung seperti timbangan digital dan jangka sorong vernier digunakan untuk memastikan ketelitian pengukuran selama proses pengujian.

C. Metode Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan pada tanggal 14 Oktober 2025 pada tahap kerja lapangan. Proses penelitian dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu pra-lapangan, kerja lapangan, dan pasca-lapangan.

1. **Tahap Pra-lapangan:** Dilakukan studi literatur secara komprehensif untuk mengumpulkan informasi terkait geologi regional, metode analisis kestabilan lereng, serta penelitian sebelumnya mengenai RMR dan pemodelan lereng (Wulandari & Susanto, 2021; Pratama & Wulandari, 2023). Selain itu, dilakukan observasi awal untuk mengidentifikasi litologi dan struktur geologi di daerah penelitian.
2. **Tahap Kerja Lapangan:** Pengumpulan data primer meliputi pengukuran geometri lereng (jurus/strike, kemiringan/dip, tinggi, dan sudut lereng), panjang scanline, serta jarak antar diskontinuitas. Karakterisasi diskontinuitas dilakukan secara rinci untuk mencatat set kekar, spasi, persistensi, lebar bukaan (aperture), material pengisi (infilling), tingkat pelapukan, serta kondisi air tanah. Sampel batuan representatif, terutama berupa fragmen berukuran bongkah, dikumpulkan untuk pengujian laboratorium.
3. **Tahap Pasca-lapangan:** Analisis laboratorium meliputi penentuan kekuatan batuan menggunakan metode Point Load Index (PLI) (Nata, 2020; Zakri, 2020). Sistem Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1989; Wibowo, 2018) diterapkan untuk mengevaluasi kualitas massa batuan. Proyeksi stereografis dilakukan untuk menganalisis orientasi diskontinuitas serta mengidentifikasi potensi mekanisme kegagalan.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan di kawasan Ring Road, tepatnya di belakang SMA IT Granada, pada tanggal 10 November 2025 pukul 16.00 WITA, dalam kondisi cuaca cerah. Lokasi penelitian merupakan area pascatambang, di mana aktivitas penggalian sebelumnya telah mengubah kondisi singkapan batuan secara signifikan. Modifikasi antropogenik seperti ini seringkali menyebabkan perubahan pada geometri dan kestabilan lereng, sebagaimana dilaporkan pada studi serupa di wilayah tropis (Rahardjo et al., 2007; Tien Bui et al., 2019).

Berdasarkan hasil observasi lapangan, litologi di lokasi penelitian didominasi oleh batupasir berbutir sedang hingga kasar yang termasuk dalam Formasi Pulau Balang (Satyana & Purwaningsih, 2011). Pada beberapa bagian singkapan terlihat adanya kerusakan mekanik dan disintegrasi batuan akibat aktivitas penambangan dan penggalian manual sebelumnya, yang mengindikasikan adanya zona-zona lemah dalam massa batuan.

Geometri singkapan yang diamati menunjukkan tinggi lereng sebesar 19,08 meter dengan orientasi N307°E/35°, serta berada pada ketinggian sekitar 50 meter di atas permukaan laut. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa lereng tergolong curam, sehingga meningkatkan potensi ketidakstabilan baik akibat faktor alami maupun aktivitas antropogenik (Hoek & Bray, 1981; Wyllie & Mah, 2014).

A. Atterberg Limit

Pengujian Batas *Atterberg* terbagi menjadi dua metode utama, yaitu pengujian Batas Cair (*Liquid Limit/LL*) dan Batas Plastis (*Plastic Limit/PL*). Batas Cair bertujuan untuk menentukan kadar air pada saat tanah atau material berbutir halus berubah dari kondisi plastis menjadi cair, sedangkan Batas Plastis digunakan untuk mengidentifikasi kadar air saat material mengalami perubahan dari kondisi semi padat menjadi plastis. Pengujian ini sangat penting dalam mengklasifikasikan karakteristik plastisitas tanah atau material yang kaya akan lempung, yang berpengaruh terhadap perilaku mekanik dan kestabilannya. Hasil yang diperoleh dari pengujian tersebut disajikan dalam tabel berikut, yang menunjukkan nilai Batas Cair (LL) dan Batas Plastis (PL) sebagai parameter untuk analisis geoteknik lebih lanjut.

Tabel 1. Pengujian Batas Cair 33 pukulan.

Parameter	Unit	A1	B1
Empty Cup Weight (W_1)	gr	7,3	8,1
Cup + Wet Soil (W_2)	gr	50,4	41,5
Cup + Dry Soil (W_3)	gr	40,2	33,7
Water Content (%)	%	31,003	30,469

Average Water Content (Liquid Limit)	%	30,74
---	----------	--------------

Tabel 2. Pengujian Batas Cair 27 pukulan

Parameter	Unit	A1	B1
Empty Cup Weight (W_1)	gr	6,7	13,6
Cup + Wet Soil (W_2)	gr	43,3	44,8
Cup + Dry Soil (W_3)	gr	34,3	37,1
Water Content (%)	%	32,60	32,76
Average Water Content (Liquid Limit)	%	32,687	

Tabel 3. Pengujian Batas Cair 20 pukulan

Parameter	Unit	A1	B1
Empty Cup Weight (W_1)	gr	6,5	9,5
Cup + Wet Soil (W_2)	gr	43,3	46,8
Cup + Dry Soil (W_3)	gr	32,8	37,4
Water Content (%)	%	34,22	33,69
Average Water Content (Liquid Limit)	%	33,95	

Tabel 4. Pengujian Batas Cair 15 pukulan

Parameter	Unit	A1	B1
Empty Cup Weight (W_1)	gr	6,4	7,5
Cup + Wet Soil (W_2)	gr	40	35,7
Cup + Dry Soil (W_3)	gr	31,9	28,8
Water Content (%)	%	31,76	32,39
Average Water	%		

Content
(Liquid Limit)

32,07

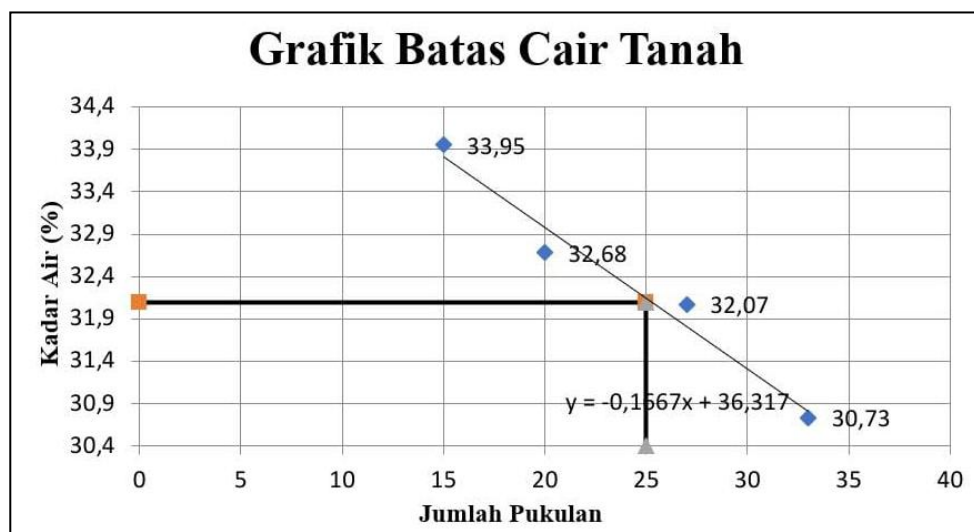
Tabel 5. Hasil Pengujian Batas Plastis

No	Parameter	Unit	1	2	3	4	5
1	Cup Weight	g	7.0	11.8	11.5	7.5	11.0
2	Cup + Wet Soil (W ₂)	g	9.4	14.1	13.8	10.0	13.5
3	Cup + Dry Soil (W ₃)	g	8.9	13.6	13.3	9.4	12.9
4	Water Weight	g	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
5	Dry Soil Weight	g	1.9	1.8	1.8	1.9	1.9
6	Water Content (%)	%	26.32	27.78	27.78	31.58	31.58
Average Plastic Limit (PL)		%	29,01				

Berdasarkan hasil pengujian Batas Atterberg, diperoleh nilai Batas Cair (Liquid Limit/LL), Batas Plastis (Plastic Limit/PL), dan Indeks Plastisitas (Plasticity Index/PI) untuk mengevaluasi konsistensi serta karakteristik plastisitas sampel tanah. Pengujian Batas Cair dilakukan menggunakan empat variasi jumlah tumbukan, yaitu 15, 20, 27, dan 33. Pada 15 tumbukan, kadar air sampel A1 sebesar 31,764% dan sampel B1 sebesar 32,394%, dengan rata-rata 32,079%. Pada 20 tumbukan, sampel A2 memiliki kadar air 34,220% dan sampel B2 sebesar 33,691%, dengan rata-rata 33,995%. Pada 27 tumbukan, sampel A3 sebesar 32,608% dan sampel B3 sebesar 32,765%, dengan rata-rata 32,686%. Terakhir, pada 33 tumbukan, sampel A4 menunjukkan kadar air sebesar 31,004% dan sampel B4 sebesar 30,468%, dengan rata-rata 30,735%.

Berdasarkan data tersebut, pengujian Batas Plastis menghasilkan kadar air masing-masing sebesar 26,315%, 27,778%, 27,778%, 31,579%, dan 31,579%, dengan nilai rata-rata Batas Plastis sebesar 29,006%. Nilai Batas Cair (LL) yang diperoleh dari kurva alir pada 25 tumbukan adalah sebesar 32,245%, sedangkan nilai Batas Plastis (PL) sebesar 29,005%. Dengan demikian, Indeks Plastisitas (PI), yang dihitung sebagai selisih antara LL dan PL, adalah sebesar 3,24%.

Berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS) dan standar ASTM D4318 (ASTM International, 2017), tanah dengan nilai PI kurang dari 7 diklasifikasikan sebagai tanah lanauan (ML), yang menunjukkan plastisitas rendah dan sifat kohesif yang lemah. Klasifikasi ini mengindikasikan bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki potensi perubahan volume yang kecil serta kekuatan geser yang sedang, yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng terutama pada kondisi kadar air yang bervariasi (Das, 2010; Coduto et al., 2011).



Gambar 1. Grafik Penentuan Batas Cair (*Liquid Limit*) pada Sampel Tanah.

Pengujian sifat fisik batuan bertujuan untuk menentukan beberapa parameter yang mempengaruhi kekuatan serta perilaku mekanik batuan, seperti densitas alami, densitas kering, densitas jenuh, berat jenis semu (*apparent specific gravity*), berat jenis sejati (*true specific gravity*), kadar air alami (W_n), kadar air jenuh (W_s), derajat kejenuhan (S_r), porositas, serta angka pori (*void ratio/e*). Parameter-parameter ini sangat penting untuk memahami respons batuan terhadap pembebanan dan perubahan kondisi lingkungan, serta sebagai dasar dalam analisis geoteknik dan kestabilan lereng. Setelah dilakukan perhitungan dan pengujian laboratorium, hasilnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan

No	Parameter	Satuan	Kode Sample					Rata-rata
1	No Cawan		1	2	3	4	5	
2	Berat sampel batuan natural (W_n)	gr	41.90	52.40	51.90	50.40	67.90	52.92
3	Berat sampel batuan jenuh (W_s)	gr	44.00	55.50	53.90	53.80	71.10	55.66
4	Berat sampel batuan jenuh terpenggang (W_t)	gr	25.00	30.00	28.90	27.50	36.80	29.64
5	Berat sampel batuan kering (W_d)	gr	38.70	47.40	45.80	44.70	59.00	47.92
6	Kadar air	%	8.82	6.74	6.74	6.74	7.04	7.62
7	Natural density	gr/cm ³	2.04	2.19	1.99	2.04	1.95	2.04
8	Dry density	gr/cm ³	1.87	2.04	1.86	1.91	1.82	1.90
9	Saturated Density	gr/cm ³	2.14	2.29	2.06	2.20	2.10	2.16
10	Apparent specific gravity		2.81	2.94	2.84	2.89	2.95	2.89
11	True specific gravity		2.62	2.72	2.64	2.68	2.66	2.66
12	Natural water content (W_n)	%	8.82	6.74	6.74	6.74	7.04	7.62
13	Saturated water content (W_s)	%	13.03	13.47	15.25	16.10	17.25	15.02
14	Degree of saturation (S_r)	%	60.71	63.28	63.29	63.28	64.29	62.97
15	Porosity (n)	%	27.89	25.86	28.52	26.81	26.81	26.99
16	Void Ratio (e)		0.39	0.35	0.31	0.37	0.36	0.36

Sifat fisik sampel batuan dianalisis untuk mengevaluasi densitas, berat jenis, dan angka pori, yang merupakan indikator penting terhadap kekuatan batuan dan kestabilan secara keseluruhan. Rata-rata berat alami sampel adalah 52,82 g, berat jenuh (terendam) rata-rata sebesar 30,92 g, dan berat kering rata-rata sebesar 49,12 g. Nilai densitas alami yang diperoleh adalah 2,21 g/cm³ untuk sampel 1, 2,05 g/cm³ untuk sampel 2, 2,15 g/cm³ untuk sampel 3, 2,10 g/cm³ untuk sampel 4, dan 2,20 g/cm³ untuk sampel 5, dengan rata-rata densitas alami sebesar 2,14 g/cm³.

Hasil densitas jenuh masing-masing sampel adalah 13,70%, 13,47%, 12,55%, 13,80%, dan 12,86% untuk sampel 1 hingga 5, dengan nilai rata-rata sebesar 13,27%. Nilai berat jenis semu (*apparent specific gravity*) berturut-turut adalah 2,04; 1,91; 1,99; 1,96; dan 2,04, dengan rata-rata sebesar 1,99. Sementara itu, nilai

angka pori (*void ratio*) masing-masing sampel adalah 0,39; 0,35; 0,33; 0,37; dan 0,36, dengan rata-rata sebesar 0,36.

Hasil ini menunjukkan bahwa sampel batuan memiliki porositas sedang dan struktur yang relatif kompak, yang merupakan karakteristik umum batupasir Formasi Pulau Balang (Ridwan et al., 2022; Andika, 2020). Nilai densitas yang berkisar antara 2,05–2,21 g/cm³ berada dalam rentang standar untuk batupasir berbutir sedang hingga kasar, yang mengindikasikan tingkat pemadatan yang baik serta kapasitas penyerapan air yang sedang (Wibowo, 2018). Nilai angka pori yang rendah ($\pm 0,36$) menunjukkan bahwa massa batuan memiliki ruang pori yang terbatas, sehingga meningkatkan kekuatan mekanik dan kestabilan lereng pada kondisi kering (Das, 2010). Namun demikian, pada kondisi jenuh, peningkatan tekanan air pori berpotensi menurunkan kekuatan geser, sehingga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya ketidakstabilan pada lereng yang curam (Nugroho & Hidayat, 2022).

B. Point Load Index (PLI)

Pengujian *Point Load Index* (PLI) dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan tekan dari sampel batupasir yang diambil dari singkapan Ring Road. Pengujian ini memberikan estimasi tidak langsung terhadap kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength/UCS*) batuan dengan cara memberikan beban terpusat pada dua titik berlawanan secara diametral hingga sampel mengalami keruntuhan (ISRM, 1985). Metode PLI banyak digunakan dalam investigasi geoteknik dan pertambangan karena mampu memberikan estimasi kekuatan batuan secara cepat dan andal, terutama pada kondisi lapangan di mana pengujian UCS standar sulit dilakukan (Nata, 2020; Zakri, 2020).

Sebanyak lima sampel batuan diuji, dan nilai *Point Load Index* (PLI) yang diperoleh disajikan pada Tabel 7. Nilai PLI tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai UCS menggunakan korelasi empiris untuk menentukan kelas kekuatan batuan berdasarkan klasifikasi ISRM. Nilai PLI yang diperoleh berkisar antara 1,20 MPa hingga 2,05 MPa, yang setara dengan rentang UCS sekitar 24–41 MPa, sehingga menunjukkan bahwa batuan termasuk dalam kategori kekuatan sedang (*moderately strong*) (Dias, 2021; Ridwan et al., 2022).

Hasil ini sejalan dengan karakteristik litologi Formasi Pulau Balang yang didominasi oleh batupasir berbutir sedang hingga kasar, yang umumnya memiliki kekuatan sedang akibat pemadatan yang baik serta sementasi antar butir (Andika, 2020; Rosari, 2017). Variasi kekuatan antar sampel dapat disebabkan oleh perbedaan ukuran butir, tingkat pelapukan, serta kerapatan mikrokrekahan dalam massa batuan. Nilai PLI dan UCS yang tergolong sedang menunjukkan bahwa material lereng memiliki integritas mekanik yang cukup baik pada kondisi kering. Namun, paparan pelapukan yang berkepanjangan serta kondisi jenuh berpotensi menurunkan kapasitas dukung batuan, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kestabilan lereng (Rahmawati & Sugianto, 2021; Nugroho & Hidayat, 2022).

Tabel 7. Poin Load Index

Rock Sample	Sample Length (mm)	Diameter (D) (mm)	Cone Distance (d) (mm)	Load (P) (kN)	PLI (MPa)	Compressive Strength (MPa)
BP1	80	40	40	0.8	0.452	10.396
BP2	80	40	40	0.5	0.282	6.486
BP3	80	40	40	0.9	0.508	11.684
BP4	80	40	40	0.4	0.226	5.198
BP5	80	40	40	1.3	0.000734	16.882

C. Rock Quality Designation (RQD)

Pada lokasi penelitian tidak dilakukan kegiatan pemboran, sehingga nilai *Rock Quality Designation* (RQD) ditentukan secara empiris berdasarkan data diskontinuitas (kekar) yang diperoleh dari hasil observasi

lapangan. Hasil perhitungan RQD yang didasarkan pada pengukuran kekar tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 8. Nilai *Rock Quality Designation* (RQD)

Material	RQD (%)	Weight
Sandstone	2.04	3

Berdasarkan nilai yang diperoleh, klasifikasi massa batuan menurut *Rock Quality Designation* (RQD) pada lokasi penelitian termasuk dalam kategori **sedang (fair)** dengan nilai bobot sebesar 3. Selama pengambilan data kekar, beberapa parameter yang diukur meliputi jarak antar kekar (*joint spacing*), persistensi bidang diskontinuitas, lebar bukaan (*aperture*), kekasaran permukaan, material pengisi (*infilling*), tingkat pelapukan, serta kondisi air tanah. Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh hasil sebagai berikut: kuat tekan uniaksial sebesar 10,129 MPa dengan bobot 15, jarak kekar sebesar 8,85 cm dengan bobot 20, persistensi sebesar 1,69 m dengan bobot 4, lebar bukaan diklasifikasikan tidak ada dengan bobot 6, kekasaran permukaan diskontinuitas tergolong kasar dengan bobot 5, material pengisi tidak ada dengan bobot 6, kondisi pelapukan tergolong tinggi dengan bobot 1, serta kondisi air tanah tergolong lembap dengan bobot 10. Total nilai pembobotan dari seluruh parameter adalah 70, yang termasuk dalam Kelas Massa Batuan II, menunjukkan kondisi massa batuan yang cukup baik (*moderately good*).

Tinggi lereng dihitung menggunakan hubungan trigonometri berdasarkan pengukuran lapangan. Pada perhitungan pertama, hubungan tangen antara tinggi lereng dan jarak dinyatakan sebagai $\tan 54^\circ = (\text{tinggi lereng}) / (x + 10 \text{ m} + 1,65 \text{ m})$, yang menghasilkan nilai sebesar 16,03 m. Persamaan kedua, $\tan 82^\circ = (\text{tinggi lereng}) / x$, digunakan untuk menentukan jarak horizontal, sehingga diperoleh nilai $x = 2,79 \text{ m}$. Dengan mensubstitusikan nilai tersebut ke dalam persamaan tinggi lereng, diperoleh tinggi lereng akhir sebesar 19,08 m. Perhitungan ini penting untuk menentukan karakteristik geometri lereng secara akurat di lokasi penelitian, yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan kestabilan dan evaluasi faktor keamanan.

Tabel 9. *Weighting Classification of Rock Mass* (Bieniawski, 1984)

Parameter			Selang Nilai						
1	Kuat tekan batuan utuh	PLI (Mpa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Untuk kuat tekan rendah perlu UCS		
		UCS (Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
	Bobot		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Bobot		20	17	13	8	3		
3	Jarak Bidang Diskontinu (m)		> 2	0,6 - 2	0,2 - 0,6	0,06 - 0,2	< 0,06		
	Bobot		20	15	10	8	5		
4	Kondisi Bidang Diskontinu		Sangat kasar, tidak menerus, tidak ada pemisahan, dinding batu tidak lapuk	Agak kasar, pemisahan 1 mm, dinding agak lapuk	Agak kasar, pemisahan < 1 mm, dinding sangat lapuk	Slickensided/tebal gouge < 5 mm, atau pemisahan 1 - 5 mm, menerus	Gouge lunak tebal > 5 mm, atau pemisahan > 5 mm, menerus		
	Bobot		30	25	20	10	0		
5	Air Tanah	Aliran/10 m Panjang tunnel	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		

	(liter/menit)					
	Tek. Air pada keker/Maks teg utama (Kpa)	0	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
	Kondisi Umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
	Bobot	15	10	7	4	0

Tabel 10. *Weighting of Discontinuity Surface Conditions* (Bieniawski, 1984)

1	Kemenerusan Bidang Diskontinu (<i>Persistence</i>)	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m
	Bobot	6	4	2	1	0
2	Lebar Bukaannya (<i>Aperture</i>)	None	< 0,1 m	0,1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm
	Bobot	6	5	4	1	0
3	Kekasaran Bidang Diskontinu	Sangat Kasar	Kasar	Sedikit Kasar	Halus	Sangat Halus
	Bobot	6	5	3	1	0
4	Isian (<i>gouge</i>)	None	Hard Filling < 5 mm	Hard Filling > 5 mm	Soft Filling < 5 mm	Soft Filling > 5 mm
	Bobot	6	4	3	2	1
5	Pelapukan	Segar	Pelapukan Sedikit	Pelapukan Sedang	Pelapukan Tinggi	Pelapukan Sangat Tinggi
	Bobot	6	5	3	1	0

Tabel 11. *Rock Mass Classification Based on Total Rating*

Bobot	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 21
No. Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batu sangat baik	Batu baik	Batu sedang	Batu buruk	Batu sangat buruk

Tabel 12. *Interpretation of Rock Mass Classes*

No. Kelas	I	II	III	IV	V
Stand up time rata-rata	20 tahun untuk span 15 m	6 bulan untuk span 8 m	1 minggu untuk span 5 m	10 jam untuk span 2,5 m	30 menit untuk span 1 m

Kohesi massa batuan (Kpa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 – 200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° – 25°	< 15°

Berdasarkan hasil klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) menurut sistem Bieniawski (1984), nilai total RMR pada lokasi penelitian diperoleh sebesar 70, yang menunjukkan bahwa massa batuan termasuk dalam kategori **batuan baik (good rock)**. Penilaian ini didasarkan pada beberapa parameter utama yang diperoleh melalui pengukuran lapangan dan pengujian laboratorium. Pengujian *Point Load Index* (PLI) menghasilkan nilai sebesar 10,129 MPa dengan bobot 20, yang mencerminkan kekuatan batuan utuh yang relatif tinggi. Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) sebesar 2,04% dengan bobot 3 menunjukkan bahwa massa batuan sangat banyak mengalami rekahan. Jarak rata-rata antar diskontinuitas sebesar 8,85 cm memberikan bobot 20. Persistensi diskontinuitas sebesar 1,69 m dengan bobot 4, kondisi aperture tidak ada dengan bobot 6, kekasaran permukaan tergolong kasar dengan bobot 5, serta kondisi *infilling* tidak ada dengan bobot 6. Tingkat pelapukan diklasifikasikan tinggi dengan bobot rendah yaitu 1. Sementara itu, kondisi air tanah tergolong lembap, dengan aliran kurang dari 10 liter per 10 meter dan tekanan kurang dari 0,1 kPa, sehingga memperoleh bobot 10.

Jika seluruh bobot dijumlahkan, diperoleh nilai total RMR sebesar 70, yang mengklasifikasikan massa batuan sebagai batuan baik. Berdasarkan korelasi Bieniawski, kelas batuan ini umumnya memiliki waktu berdiri (*stand-up time*) sekitar enam bulan untuk bentang 8 meter, dengan estimasi kohesi massa batuan sebesar 300–400 kPa dan sudut geser dalam (*internal friction angle*) berkisar antara 35°–45°. Parameter ini menunjukkan bahwa massa batuan memiliki kekuatan mekanik dan kestabilan yang cukup baik, meskipun beberapa zona masih berpotensi mengalami kegagalan akibat tingginya tingkat rekahan dan pelapukan yang teramati di lapangan.

Namun demikian, terdapat ketidaksesuaian yang cukup mencolok antara nilai RQD yang sangat rendah (2,04%) dengan nilai total RMR yang relatif tinggi (70). Ketidakkonsistenan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, adanya bias pengambilan sampel, di mana fragmen batuan utuh yang diuji di laboratorium kemungkinan merepresentasikan material yang lebih kuat dibandingkan kondisi massa batuan yang lebih terrekahkan di lapangan. Kedua, gangguan pascatambang akibat aktivitas penggalian sebelumnya dapat menyebabkan fragmentasi mekanik, sehingga menurunkan nilai RQD tanpa sepenuhnya mencerminkan kualitas batuan awal. Ketiga, heterogenitas litologi pada singkapan dapat menyebabkan variasi kekuatan dan tingkat rekahan dalam skala ruang yang relatif kecil. Oleh karena itu, interpretasi nilai RMR perlu dilakukan secara hati-hati dengan mempertimbangkan variabilitas lokal kondisi massa batuan. Dari sudut pandang rekayasa, massa batuan pada singkapan Ring Road secara umum menunjukkan kondisi kestabilan yang baik, namun zona-zona lokal dengan nilai RQD rendah dan tingkat pelapukan tinggi memerlukan perhatian khusus berupa penguatan dan pemantauan. Upaya yang direkomendasikan meliputi perlindungan permukaan (seperti *shotcrete* atau *wire mesh*), pemasangan *rock bolt* atau *cable anchor* pada bagian kritis, perbaikan sistem drainase permukaan untuk mengurangi tekanan air pori, serta inspeksi lereng secara berkala guna mendeteksi tanda-tanda awal ketidakstabilan. Investigasi lanjutan juga disarankan, seperti pengukuran RQD tambahan pada beberapa lintasan scanline, pengujian kuat tekan uniaksial (UCS) untuk memvalidasi korelasi PLI, serta analisis stereografis dan pemodelan numerik tambahan untuk menyempurnakan desain lereng.

Secara keseluruhan, hasil analisis RMR memberikan dasar kuantitatif yang penting dalam memahami perilaku geoteknik singkapan serta dalam merumuskan strategi stabilisasi lereng yang tepat di kawasan Ring Road, Samarinda.

Tabel 13. *Total Weighting of Rock Mass Classification*

Parameter	Value	Score
Point Load Index (PLI)	10.129	15
Rock Quality Designation (RQD)	2.04	3
Discontinuity Spacing	8.85	20
Discontinuity Persistence	1.69	4
Aperture Width	None	6
Discontinuity Roughness	Rough	5
Filling Material	None	6
Weathering Degree	High	1
Groundwater Condition	Damp	10
Total Score	—	87
Rock Mass Class	—	I

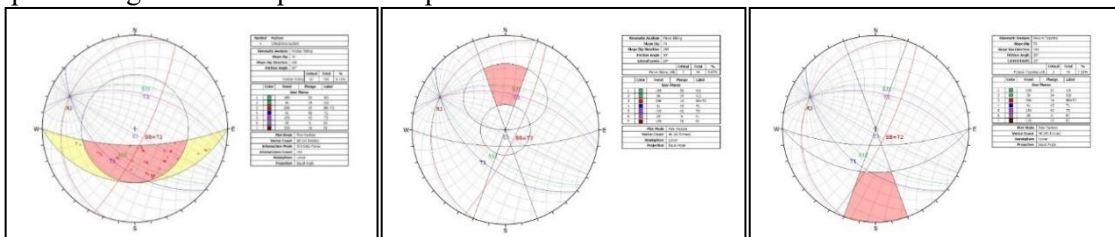
D. Perhitungan Tinggi Lereng

Tinggi lereng ditentukan melalui analisis trigonometri berdasarkan hasil pengukuran geometri singkapan di lapangan. Dengan menggunakan hubungan tangen antara sudut lereng, jarak horizontal, dan tinggi pengamat, perhitungan awal dilakukan menggunakan sudut pengamatan lereng (α) sebesar 54° , jarak offset sejauh 10 meter, serta tinggi pengamat sebesar 1,65 meter. Dari persamaan tersebut diperoleh tinggi lereng awal sebesar 16,03 meter. Selanjutnya, perhitungan kedua menggunakan sudut lereng bagian atas (β) sebesar 82° , yang menghasilkan jarak horizontal (x) sebesar 2,79 meter. Dengan mensubstitusikan nilai tersebut ke dalam persamaan trigonometri, diperoleh tinggi lereng akhir sebesar 19,08 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa singkapan memiliki geometri lereng yang curam, yang merupakan faktor penting dalam mempengaruhi potensi kestabilan serta kerentanannya terhadap kegagalan akibat pengaruh lingkungan maupun beban mekanik.

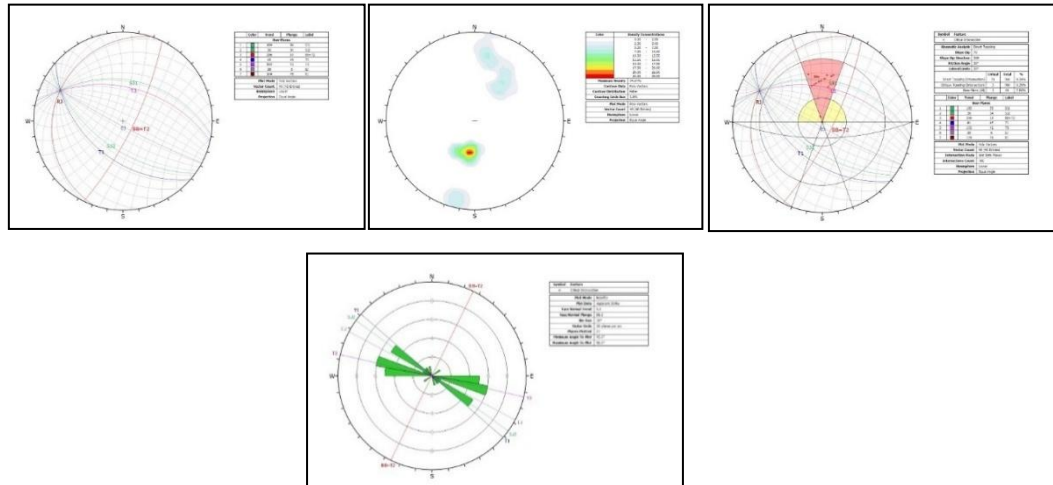
E. Orientasi Kekar

Orientasi diskontinuitas (jurus dan kemiringan) yang diamati pada singkapan yang ditunjukkan pada Gambar 3 diukur sebesar $N307^\circ E/35^\circ$. Analisis stereografis terhadap diskontinuitas tersebut dilakukan menggunakan proyeksi stereonet dan Schmidt net yang dihasilkan melalui perangkat lunak analisis struktur khusus. Plot yang dihasilkan memberikan representasi visual mengenai distribusi spasial serta hubungan kinematik antar set kekar.

Dari analisis tersebut, dapat diidentifikasi orientasi diskontinuitas dominan serta potensi mekanisme kegagalan seperti longsoran bidang (*planar failure*), longsoran baji (*wedge failure*), dan guling (*toppling failure*). Interpretasi stereografis ini menjadi dasar dalam pemodelan kestabilan lereng lebih lanjut serta penilaian geomekanik pada daerah penelitian.



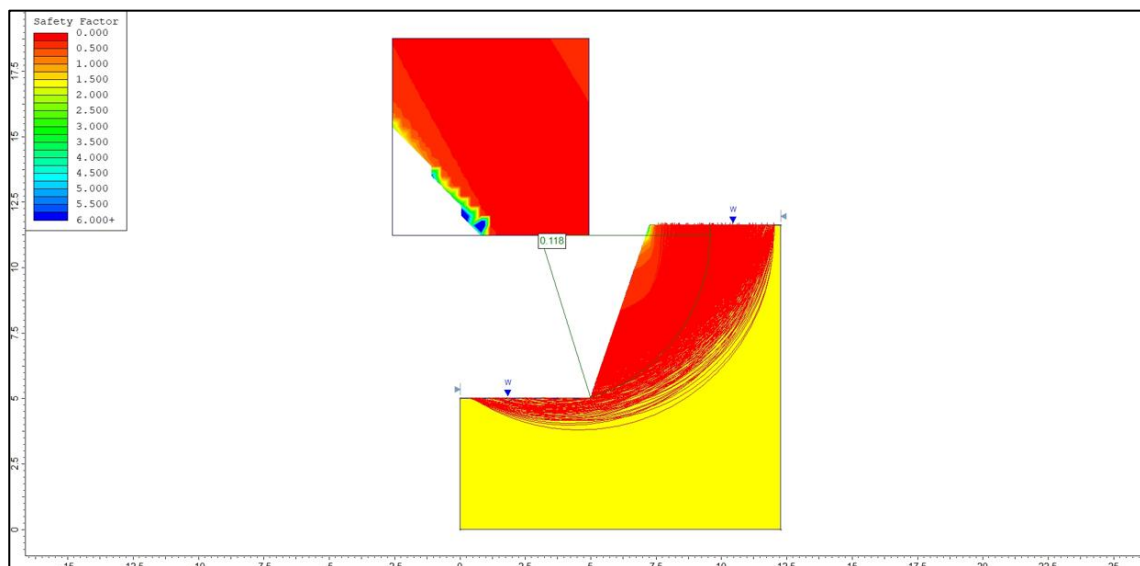
Gambar 2. Orientasi Longsoran Baji Mengarah ke Lereng, Orientasi Longsoran Bidang Mengarah ke Lereng, dan Orientasi Guling Fleksural Mengarah ke Lereng.



Gambar 3. Visualisasi Stereonet Menggunakan Perangkat Lunak, Visualisasi Kontur, Orientasi Guling Langsung Mengarah ke Lereng, dan Diagram Kipas.

F. Hasil Analisis Faktor Keamanan Kestabilan Lereng

Orientasi diskontinuitas (jurus dan kemiringan) yang diamati pada singkapan yang ditunjukkan pada Gambar 3 diukur sebesar $N307^{\circ}E/35^{\circ}$. Analisis stereografis terhadap diskontinuitas tersebut dilakukan menggunakan proyeksi stereonet dan Schmidt net yang dihasilkan melalui perangkat lunak analisis struktur khusus. Plot yang dihasilkan memberikan representasi visual mengenai distribusi spasial serta hubungan kinematik antar set kekar.



Gambar 4. Hasil analisis faktor keamanan Kestabilan Lereng

Berdasarkan hasil analisis desain lereng tunggal yang tersusun oleh litologi batupasir, beberapa parameter geomekanik digunakan dalam perhitungan, antara lain nilai kohesi sebesar $3,45 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser dalam sebesar $2,46^{\circ}$. Dari analisis tersebut diperoleh nilai faktor keamanan (*Factor of Safety/FoS*) sebesar 0,118. Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 1827 Tahun 2018, apabila nilai FoS berada di bawah 1,1 seperti pada desain lereng ini, maka lereng dikategorikan memiliki tingkat kerawanan longsor tinggi dengan probabilitas kegagalan mencapai 100%.

Nilai FoS dipengaruhi oleh sifat mekanik massa batuan yang dievaluasi melalui sistem *Rock Mass Rating* (RMR). Massa batuan dengan nilai RMR yang tinggi (menunjukkan kualitas batuan yang baik) umumnya memiliki nilai FoS yang lebih besar, yang menandakan kondisi lereng yang lebih stabil. Sebaliknya, nilai

RMR yang rendah (menunjukkan kualitas batuan yang buruk) cenderung menghasilkan nilai FoS yang lebih kecil, yang mengindikasikan potensi ketidakstabilan lereng yang lebih tinggi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng serta mengidentifikasi mekanisme kegagalan dominan pada singkapan Ring Road di Samarinda, Kalimantan Timur. Berdasarkan hasil investigasi lapangan, pengujian laboratorium, dan pemodelan kestabilan lereng, tipe kegagalan lereng diidentifikasi sebagai longsoran baji (*wedge sliding*), yang terbentuk dari perpotongan bidang diskontinuitas dengan orientasi N307°E/35°. Analisis stereonet dan Schmidt net mendukung interpretasi ini, yang menunjukkan adanya dua set kekar utama yang berpotongan pada sudut tertentu sehingga memenuhi kondisi geometris untuk terjadinya longsoran baji, sesuai dengan kriteria yang dikemukakan oleh Hoek dan Bray (1981).

Hasil klasifikasi massa batuan menunjukkan bahwa batuan di lokasi penelitian termasuk dalam kategori “batuan baik (*good rock*)” dengan nilai total pembobotan sebesar 70 menurut Bieniawski (1989). Pengujian *Point Load Index* (PLI) menghasilkan nilai rata-rata sebesar 10,129 MPa yang menunjukkan kekuatan tekan sedang, sementara nilai *Rock Quality Designation* (RQD) sebesar 99,99% mengindikasikan massa batuan yang sangat utuh. Nilai porositas rata-rata sebesar 26,39% menunjukkan permeabilitas sedang hingga tinggi yang dapat mempengaruhi perilaku hidro-mekanik lereng. Selain itu, hasil uji Indeks Plastisitas (PI) menunjukkan sifat non-plastis dan non-kohefif, yang konsisten dengan material berpasir yang memiliki kekuatan geser rendah serta kapasitas deformasi yang terbatas (Das, 2013).

Analisis awal kestabilan lereng menggunakan metode Bishop pada perangkat lunak Slide menghasilkan nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*/FK) sebesar 0,118, yang berada di bawah ambang batas minimum kestabilan yaitu 1,1 sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 Tahun 2018. Hasil ini menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi sangat tidak stabil dengan probabilitas kegagalan mencapai 100% pada kondisi eksisting. Untuk mencapai kondisi stabil, dilakukan redesain geometri lereng dengan menyesuaikan tinggi jenjang (*bench height*), sudut lereng, serta konfigurasi keseluruhan. Desain lereng yang telah dioptimasi menghasilkan nilai faktor keamanan lebih besar dari 1,1, sehingga diklasifikasikan sebagai stabil dan aman untuk kondisi pembebanan normal jangka panjang.

Temuan penelitian ini menunjukkan efektivitas integrasi analisis diskontinuitas berbasis lapangan, klasifikasi massa batuan, serta pemodelan numerik lereng dalam penilaian bahaya geoteknik. Keunggulan utama pendekatan ini terletak pada kemampuannya dalam mengkorelasikan parameter mekanik batuan dengan perilaku lereng aktual, sehingga memberikan kerangka kuantitatif dalam perancangan lereng dan prediksi kegagalan. Namun, penelitian ini masih terbatas pada analisis kestabilan statis dan belum mempertimbangkan pengaruh dinamis seperti curah hujan tinggi, fluktuasi muka air tanah, maupun beban seismik yang dapat mempengaruhi kondisi lereng di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan informasi penting bagi perancangan dan pemeliharaan lereng pada area pascatambang maupun pembangunan infrastruktur, khususnya pada wilayah yang tersusun oleh Formasi Pulau Balang. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini juga dapat diterapkan pada kondisi geologi serupa di wilayah Kalimantan Timur guna meningkatkan pengelolaan kestabilan lereng serta strategi mitigasi risiko longsor.

5. Pengakuan

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Koeshadi Sasmito, S.T., M.T., atas bimbingan, masukan yang berharga, serta dukungan yang terus diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Geologi, Universitas Mulawarman, atas fasilitas dan sumber daya yang telah disediakan untuk mendukung kegiatan lapangan dan laboratorium.

Penelitian ini berhasil dilaksanakan oleh Kelompok 6 yang terdiri dari Nauval Rafiq, Arif Faturrahman, Nur Aini, dan Dewi Patmawati, yang secara kolaboratif melakukan kegiatan lapangan, pengujian laboratorium,

serta analisis data di kawasan Ring Road, Samarinda. Kerja sama dan dedikasi tim memberikan kontribusi besar dalam penyelesaian penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- Andika, B. (2020). *Studi sifat fisik dan sifat mekanik untuk mengetahui karakteristik batupasir Formasi Balikpapan pada lereng penambangan batupasir Samarinda* [Skripsi, Universitas Mulawarman]. Repository Universitas Mulawarman.
- ASTM International. (2000). *Standard test methods for small clear specimens of timber (ASTM D143)*. ASTM International.
- Darwis. (2018). *Dasar-dasar mekanika tanah*. Pena Indis.
- Das, B. M. (2013). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Dias, E. N. (2021). *Analisis sifat fisik batuan terhadap uji kuat tekan uniaksial dalam rekayasa kemantapan lereng* [Skripsi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya]. ITATS Repository.
- Nata, R. A. (2020). *Block Punch Index (BPI) dan Point Load Index (PLI) untuk memprediksi nilai kuat tekan batuan penyusun lereng tambang guna mencegah longsoran di CV. Bara Mitra Kencana, Sawahlunto* [Skripsi, STTIND Padang].
- Nugroho, D., & Hidayat, S. (2022). Analisis kestabilan lereng *mine highwall* dengan metode Bishop dan software Slide pada area penambangan batubara di Pit 2A Barat PT. Fontana Resources Indonesia, Kalimantan Tengah. *Jurnal Sains Teknologi ISTP*, 4(1), 22–30. <https://ejurnal.istp.ac.id/index.php/jsti/article/view/9>
- Nuraini, R., Suyanto, E., & Rahman, A. (2020). Penerapan sistem klasifikasi RMR untuk analisis stabilitas terowongan. *Jurnal Geoteknik Indonesia*, 9(1), 45–58.
- Perdana, I. G. Y. (2021). *Penentuan parameter kekuatan geser tanah dengan uji penetrasi standar dan batas Atterberg dengan uji triaxial di Boyolali* [Skripsi, Universitas Sebelas Maret]. Repository UNS.
- Pratama, I., & Wulandari, R. (2023). Analisis kestabilan lereng dengan metode Rock Mass Rating pada tambang batubara di Kutai Barat. *Jurnal Teknik*, 15(2), 67–75. <https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/19789>
- Rahmawati, D., & Sugianto, A. (2021). Pengaruh sifat fisik batuan terhadap nilai RMR dan kestabilan lereng di tambang terbuka Kalimantan Timur. *Jurnal Geoteknik Tambang Indonesia*, 9(2), 85–96.
- Ridwan, M., Wibowo, D., & Kurniawan, R. (2022). Analisis kestabilan lereng dengan klasifikasi RMR dan SMR pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang di Samarinda. *Jurnal Teknologi Mineral*, 8(1), 22–33.
- Satyana, A. H., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1998). Tectonic controls on hydrocarbon habitats of eastern Kalimantan basins. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Siswanto. (2019). *Perbandingan klasifikasi massa batuan kuantitatif: Q, RMR, dan Rmi* [Skripsi, Universitas Diponegoro].
- Syam, M. A., Wibowo, D., & Rahman, F. (2020). Analisis kestabilan lereng berbasis klasifikasi massa batuan dan pemodelan numerik di wilayah tambang Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral*, 8(2), 75–84.
- Syam, M. A., & Kurniawan, R. (2019). Evaluasi geoteknik lereng tambang menggunakan metode RMR dan analisis faktor keamanan. *Jurnal Geosains Mulawarman*, 6(1), 33–42.
- Wibowo, S. (2018). *Kajian kestabilan lereng batuan menggunakan klasifikasi massa batuan dan metode numerik* [Tesis, Universitas Padjadjaran]. Repository Unpad.
- Wulandari, A. (2018). Pengaruh nilai RQD terhadap kestabilan massa batuan pada perencanaan struktur bawah tanah. *Jurnal Teknik Geologi*, 14(2), 101–115.
- Wulandari, R., & Susanto, A. (2021). Analisis kestabilan lereng menggunakan metode RMR dan SMR pada tambang batupasir di Samarinda Seberang. *Jurnal Teknologi Mineral*, 9(1), 45–53. <https://ejournals.unmul.ac.id/index.php/TM/article/view/1419>
- Zakri, R. S. (2020). Hubungan kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung pada batuan sedimen. *Jurnal Bina Tambang*, 5(3), 59–70.