

Zonasi Kekuatan Batuan Berdasarkan Pengeboran Geoteknik dan Uji Laboratorium di Pit Bara 7 PT Baramulti Suksessarana Site Batuah KM 28 Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur

Strength Zoning Based on Geotechnical Drilling and Laboratory Testing at Pit bara 7 PT Baramulti Suksessarana Batuah Site KM 28 Loa Janan District Kutai Kartanegara Regency East Kalimantan Province

Mardiana^{1*}, Tommy Trides², Henny Magdalena³

^{1*} Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman

*Email Korespondensi : mardhymardiana@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan penambangan memerlukan data sifat-sifat dan karakteristik batuan. Pendekatan ini memungkinkan untuk melakukan kegiatan eksplorasi seperti kegiatan pengeboran geoteknik. Pengeboran geoteknik merupakan kegiatan pengambilan contoh batuan di dalam lapisan tanah untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik geologi suatu area. Penelitian ini dapat mengetahui terkait analisis zonasi kekuatan batuan berdasarkan pengeboran geoteknik dan uji laboratorium. Analisis ini mencakup beberapa parameter penting terkait litologi batuan, *Rock Quality designation* (RQD), *Geological Strength Index* (GSI), kekuatan batuan, daya dukung (*bearing capacity*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif deskriptif dimana menggunakan proses data-data berupa angka untuk menganalisis dan melakukan penelitian, terutama mengenai penelitian yang sudah dilakukan. Pengeboran geoteknik di lokasi penelitian pit bara 7, adapun batuan penyusun utama pada BH-07 dengan kedalaman 70 m setiap lubang bor didominasi oleh *organic soil* (*fat clay*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*), dengan ketebalan lapisan batubara bervariasi. Kualitas massa batuan menggunakan nilai RQD menunjukkan variasi yang signifikan. *Excavator* yang menggunakan *crawler track* (rantai) terbukti memiliki *ground pressure* yang jauh lebih rendah, karena beratnya disebar secara merata pada area kontak yang luas. Sebaliknya, *dump truck* yang menggunakan roda menghasilkan *ground pressure* yang tinggi, karena seluruh beban yang berat disalurkan ke tanah melalui area kontak yang kecil pada roda-rodanya.

Kata kunci: daya dukung, *geological strength index* (GSI), geoteknik, *ground pressure*, *rock quality designation* (RQD).

ABSTRACT

Mining activities require data on rock properties and characteristics. This approach enables exploration activities such as geotechnical drilling. Geotechnical drilling is the process of taking rock samples from soil layers to determine the geological properties and characteristics of an area. This study examines rock strength zoning analysis based on geotechnical drilling and laboratory testing. This analysis covers several important parameters related to rock lithology, Rock Quality Designation (RQD), Geological Strength Index (GSI), rock strength, and bearing capacity. The method used in this study is a descriptive quantitative method, which uses numerical data to analyze and conduct research, especially regarding research that has already been conducted. Geotechnical drilling was conducted at the coal pit 7 research site. The main rock types at BH-07, with a depth of 70 m per borehole, were dominated by organic soil (fat clay), mudstone, and coal, with varying thicknesses of coal layers. The rock mass quality using the RQD value shows significant variation. Excavators that use crawler tracks (chains) have been proven to have much lower ground pressure, because their weight is spread evenly over a wide contact area. In contrast, dump trucks that use wheels generate high ground pressure, because their entire heavy load is transferred to the ground through a small contact area on their wheels.

Keyword : *bearing capacity, geological strength index (GSI), geotechnical, ground pressure, rock quality designation (RQD).*

PENDAHULUAN

PT. Baramulti Suksessarana, Tbk (PT. BSSR) merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara yang terletak di km 28 Desa Batuah, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Perusahaan ini mengelola area konsesi seluas 2.459,76 Ha. Kegiatan penambangan ini memerlukan data sifat-sifat dan karakteristik batuan. Pendekatan ini memungkinkan PT. BSSR untuk melakukan kegiatan eksplorasi seperti kegiatan pengeboran geoteknik yang dilakukan dengan menggunakan metode *full coring*.

Pengeboran geoteknik merupakan kegiatan pengambilan contoh batuan di dalam lapisan tanah untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik batuan pada pit Bara 7 dengan tujuan untuk pengumpulan data dan penentuan sifat material tanah serta batuan (*material properties*). Fungsi utama dari pengeboran geoteknik untuk menentukan kestabilan lereng, potensi longsor, dan kondisi struktur tanah serta batuan. Informasi ini membantu dalam perencanaan tambang yang aman dan efisien, mengurangi risiko kecelakaan, serta memastikan pengelolaan sumber daya yang optimal dan keberlanjutan operasional pertambangan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terkait analisis zonasi kekuatan batuan berdasarkan pengeboran geoteknik dan uji laboratorium. Analisa ini mencakup beberapa parameter penting terkait litologi batuan, *Rock Quality designation* (RQD), *Geological Strength Index* (GSI), kekuatan batuan, daya dukung (*bearing capacity*).

Sifat Fisik Batuan

Menurut Rai (2013) bahwa sifat fisik batuan yang ditentukan untuk kepentingan penelitian geoteknik adalah bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), berat jenis sejati (*true specific gravity*), kadar air asli (*natural water content*), kadar air jenuh (*degree of saturation*), derajat kejenuhan, porositas (n), dan *void ratio* (e).

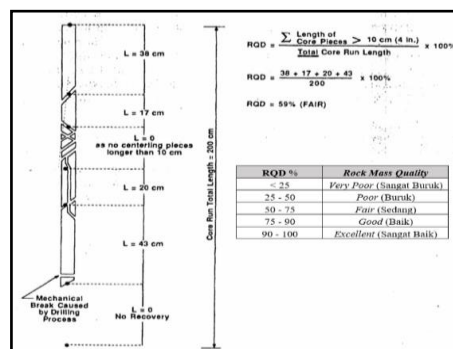
Pengeboran Geoteknik

Menurut Didiek Djarwadi (2012) dalam Arif (2016) hasil pengeboran akan disusun dalam bentuk bor-log. Informasi yang dapat diperoleh dari bor-log tersebut di antaranya elevasi, kedalaman, deskripsi tanah dan batuan, titik pengambilan contoh tanah dan batuan, contoh yang diperoleh (*sample recovery*), simbol tanah dan batuan, nilai penetrasi. Menurut Rusni (2019) dalam Santoso (2024) parameter sifat mekanik yang dianalisis adalah kuat tekan, kohesi (kPa) dan sudut geser dalam (°). Sifat mekanik suatu material ini didapat dari hasil uji triaksial.

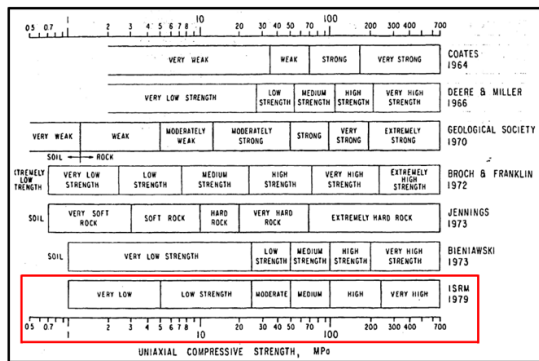
Menurut Naim (2016) pengertian kata zonasi dan geoteknik dapat dilihat dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia. Kata zonasi di dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah kata benda dan mempunyai arti sebagai pembagian atau pemecahan suatu areal menjadi beberapa bagian, sesuai dengan fungsi dan sedangkan tujuan pengelolaan geoteknik merupakan penerapan asas teknik secara ilmiah dalam memperoleh, menafsirkan, dan menggunakan pengetahuan tentang kerak bumi untuk penyelesaian permasalahan teknik sipil.

Rock Quality Designation (RQD)

Menurut (Siswanto, 2018) RQD digagas oleh Deere dkk. (1967, dalam Deere dan Deere, 1988) Konsep dari klasifikasi RQD ini sederhana yaitu persentase patahan batuan dari total panjang uji bor inti, semakin tinggi nilai RQD maka semakin baik kualitas batuan. Kelemahan RQD adalah pada saat *no recovery* atau pengeboran yang tidak menghasilkan sampel inti, kesulitan dalam mendapatkan data pada batuan aluvium (batuan lunak), hasil sampel inti akan terganggu saat ada isian di antara lapisan batuan dan hasil RQD yang hanya berdasar presentase retakan tidak merepresentasikan parameter kekuatan serta jenis batuanya.



Gambar 1. Prosedur Pengukuran dan Perhitungan Penetapan Kualitas Batuan (Deere, 1989) dalam (Bienawski, 1989)



Gambar 3. Various strength classification for intact rock (Bieniawski, 1989)

Uji Kuat Geser (Direct Shear Strength Test)

Kuat geser batuan merupakan perlawanan internal batuan terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam batuan tersebut, yang dipengaruhi oleh karakteristik intrinsik dan faktor eksternal (Rumbiak, 2020). Menurut Supandi (2022) untuk mempermudah perhitungan di dalam mekanika batuan maka *envelope* Mohr dianggap sebagai garis lurus. Oleh karena itu didefinisikan kriteria Mohr-Coulomb sebagai berikut:

$$\tau = C + \mu\sigma \dots\dots\dots(5)$$

dengan :

τ = tegangan geser

σ = tegangan normal

C = kohesi

μ = koefisien geser dalam dari batuan = $\tan \phi$

Daya Dukung (Bearing Capacity)

Menurut Hardiyatmo (2003) analisis kapasitas dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi yang bekerja di atasnya. Kapasitas dukung ijin (q_a) adalah tekanan maksimum yang dapat dibebankan pada tanah, sedemikian rupa sehingga kedua persyaratan di atas terpenuhi. Jadi bila hitungan kapasitas dukung tanah yang didasarkan pada kapasitas dukung ultimit dibagi faktor aman telah memenuhi, padahal penurunan yang akan terjadi, yang dihitung berdasarkan tekanan dari hasil hitungan kapasitas dukung tanah tersebut, melampaui batas nilai toleransinya, maka nilai kapasitas dukungnya harus dikurangi sampai penurunan yang terjadi memenuhi syarat. Kapasitas dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan.

Analisis Kapasitas Dukung Tanah Teori Terzaghi

Analisis keruntuhan kapasitas dukung dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan bersifat plastis. Persamaan dapat dituliskan dalam persamaan umum:

$$q_u = cN_c + D_f\gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots(6)$$

dengan:

c = kohesi (kN/m²)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/ m³)

B = lebar fondasi (m)

N_γ, N_c, N_q = faktor kapasitas dukung tanah (fungsi ϕ)

Faktor N_γ adalah faktor kapasitas dukung yang disebabkan oleh berat tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek dalam tanah (ϕ). Faktor kapasitas dukung N_c dan N_q merupakan faktor kapasitas dukung akibat pengaruh kohesi dan beban terbagi rata yang keduanya merupakan fungsi dari sudut gesek dalam (ϕ) (Hardiyatmo, 2003).

Tabel 1. Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung Tanah Terzaghi (Hardiyatmo, 2003)

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5.7	1	0	5.7	1	0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	19.7	19	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35	23.7	11.7	9
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	60.4
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan gabungan antara teori dengan data-data yang akan diambil di lapangan, sehingga diharapkan didapatkan pendekatan penyelesaian masalah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif deskriptif dimana menggunakan proses data-data berupa angka untuk menganalisis dan melakukan kajian penelitian, terutama mengenai penelitian yang sudah dilakukan. Adapun tahapan dan metode penelitian yang digunakan terbagi menjadi 4 tahapan yaitu tahapan pra lapangan, tahapan lapangan, tahapan pasca lapangan, dan hasil. Tahapan dan metode penelitian dijabarkan sebagai berikut:

1. Tahapan Pra Lapangan

Pada tahapan ini dilakukan persiapan berupa studi literatur untuk mencari referensi literatur yang berhubungan dengan penelitian, pengamatan lapangan merupakan pengamatan terhadap kondisi dan keadaan langsung yang ada di lapangan, persiapan alat dan bahan untuk pengambilan maupun pengolahan data.

2. Tahapan Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang nantinya akan digunakan untuk membandingkan perencanaan dengan kondisi aktual di lapangan, sumber data yang digunakan pada penelitian ini yaitu pengumpulan data log bor berupa deskripsi batuan, interpretasi *coring sample* (*core recovery*, GSI, dan RQD), uji laboratorium berupa uji sifat fisik dan sifat mekanik (berupa uji kuat tekan uniaksial) dan peta daerah penelitian (berupa peta geologi lokal, peta geologi regional, peta kesampaian daerah dan peta titik bor)

3. Tahapan Pasca Lapangan

Pada tahap ini pengolahan data di dapatkan litologi batuan, RQD, GSI, kekuatan batuan, *bearing capacity*, dan kemampuan.

4. Hasil

Pada tahapan ini hasil yang diperoleh memberikan informasi analisis zonasi kekuatan batuan, daya dukung (*bearing capacity*), dan metode pemberaian batuan.

(1)

HASIL DAN ANALISIS

Penelitian dilakukan di area pit Bara 7 yang dikelola oleh PT. Mitra Muda Makmur (PT. MMM) pada area konsesi PT. BSSR. Lokasi penelitian ini merupakan area pit yang sedang berlangsung kegiatan penambangan. Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian pada pit Bara 7 pengeboran geoteknik dilakukan di bagian *highwall* yang dilakukan oleh PT. Mitrajasa Sentosa Cemerlang (PT. MJSC). Pada area penelitian dilakukan pengambilan data sebanyak 1 titik bor dengan BH-07 kedalaman 70 m. *Sample* inti bor pengeboran dilakukan pengujian di laboratorium oleh PT. Tectona Mitra Utama (PT. TMU).

Litologi, RQD, GSI

Adapun litologi, RQD dan GSI pada BH-07 dengan kedalaman 70 m dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Litologi, RQD dan GSI pada BH-07

Method	Depth (m)		Sample Recovery (%)	NSPT	Lithology	RQD	Kategori	GSI
	From	To						
Coring	0.00	0.50	100		Organic Soil (Fat Clay)			
Coring	0.50	1.00	0		Coreloss			
SPT1	1.00	1.45	0.21	5	Organic Soil (Fat Clay)			
Coring	1.45	2.00	100		Organic Soil (Fat Clay)			
UDS1	2.00	2.50	0.30		Organic Soil (Fat Clay)			
SPT2	2.50	2.95	0.16	5	Organic Soil (Fat Clay)			
Coring	2.95	3.50	100		Organic Soil (Fat Clay)			
UDS2	3.50	4.00	0.41		Organic Soil (Fat Clay)			
SPT3	4.00	4.45	0.18	13	Organic Soil (Fat Clay)			
Coring	4.45	5.50	100		Organic Soil (Fat Clay)			
SPT4	5.50	5.95	0.25	14	Organic Soil (Fat Clay)			
Coring	5.95	7.00	100		Mudstone			
SPT5	7.00	7.45	0.18	15	Mudstone			
Coring	7.45	8.50	100		Mudstone			
SPT6	8.50	8.95	0.14	17	Mudstone			
Coring	10.45	11.50	100		Solid Mud	0	Very Poor	0
SPT8	11.50	11.95	0.40	21	Solid Mud			
Coring	11.95	13.00	100		Solid Mud			
SPT9	13.00	13.45	0.26	22	Solid Mud			
Coring	13.45	14.50	100		Solid Mud			
SPT10	14.50	14.95	0.28	25	Solid Mud			
Coring	14.95	16.00	100		Solid Mud			
SPT11	16.00	16.45	0.26	26	Solid Mud			
Coring	16.45	17.50	100		Solid Mud			
SPT12	17.50	17.95	0.28	28	Solid Mud			
Coring	17.95	19.00	100		Solid Mud			
SPT13	19.00	19.45	0.25	32	Solid Mud			
Coring	19.45	20.50	100		Solid Mud			
SPT14	20.50	20.95	0.22	37	Solid Mud			
Coring	20.95	22.00	100		Solid Mud			
Coring	22.23	23.50	100		Coal	90	Excellent	40-50
Coring	23.50	25.00	100		Coal			30-35
SPT17	25.00	25.00	0	HB	Coal	85	Good	
Coring	25.00	26.50	100		Coal	95	Excellent	
Coring	26.50	28.00	100		Coal	90	Excellent	60-65
Coring	28.00	28.55	100		Coal			
Coring	28.55	29.50	100		Mudstone			40-50
Coring	42.50	44.00	100		Mudstone			60-65
Coring	44.00	45.50	100		Mudstone	100	Excellent	50-60
Coring	45.50	47.00	100		Mudstone			60-65
Coring	47.00	48.50	100		Mudstone			
Coring	48.50	49.30	100		Mudstone			50-60
Coring	49.30	50.00	100		Coal	82	Good	30-25
Coring	50.00	54.50	100		Coal			60-65
Coring	54.50	56.00	100		Coal			40-45
Coring	56.00	56.30			Coreloss			
Coring	56.30	57.50	80		Carbonaceous Mudstone	100	Excellent	60-65
Coring	57.50	66.50	100		Mudstone			60-65
Coring	66.50	68.00	100		Carbonaceous Mudstone			50-60
Coring	68.00	70.00	100		Mudstone			60-65

Kekuatan Batuan

Untuk mendapatkan nilai kekuatan batuan maka dapat diperoleh dari hasil pengujian sifat mekanik yaitu uji UCS di laboratorium, kemudian hasil UCS di kategorikan berdasarkan gambar 3. Adapun kekuatan batuan

Zonasi Kekuatan Batuan Berdasarkan Pengeboran Geoteknik dan Uji Laboratorium di Pit Bara 7 PT Baramulti Suksessarana Site Batuah KM 28 Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur (Mardiana)

pada hasil uji laboratorium dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Kekuatan Batuan Hasil Uji Laboratorium

Borehole ID		Depth		USCS From LAB	Unconfined Compressive Strength (Mpa)	Kategori
		Top	Bottom			
BH-07	SOIL	2.00	2.50	CH	0.082	EVL
		3.50	4.00	CL	0.023	EVL
	33.00	33.40	Mudstone	0.22	EVL	
	35.20	35.60	Mudstone	0.55	EVL	
	ROCK	45.50	45.90	Mudstone	0.51	EVL
		57.00	57.34	Mudstone	0.72	EVL
		59.90	60.30	Mudstone	0.82	EVL
		51.30	51.50	Coal	4.60	VL

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan uniaksial (UCS), nilai kekuatan ini jauh di bawah rata-rata batuan segar pada umumnya, yang mengindikasikan bahwa batuan telah mengalami perubahan yang signifikan. Analisis lebih lanjut terhadap karakteristik fisik batuan menunjukkan korelasi kuat antara rendahnya kekuatan mekanik dengan tingkat pelapukan yang tinggi. Sampel batuan yang diklasifikasikan sebagai *extreme very low* umumnya menunjukkan tingkat pelapukan yang lanjut, ditandai dengan perubahan warna, tekstur yang rapuh, dan kandungan lempung yang tinggi pada material pengisi rekahan. Sementara itu, sampel *very low* menunjukkan pelapukan yang lebih moderat, tetapi sudah cukup signifikan.

Daya Dukung Tanah (*Bearing Capacity*)

Untuk mendapatkan nilai daya dukung dilakukan pengukuran panjang dan lebar tapak ban dan perhitungan *ground pressure* pada *excavator* dan *dump truck*. Adapun *ground pressure* pada *dump truck* dan *excavator* yang diperbolehkan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. *Ground Pressure* pada *Dump Truck* dan *Excavator* yang diperbolehkan

Borehole	Depth		Dump Truck Ground Pressure (kPa)							Excavator Ground Pressure (kPa)					
			USCS From LAB	Q _{ult} kN/m ²	Q _{aw}	LGMG CMT 96	Dongfeng KC Dumper 6x4	Mercedes Benz Axor 2528 CH (6x4)	Sany SYZ 320C 8W®	Hino 500 FM 260 JD	Hitachi ZX 890 LCH 7G	Hitachi ZX 350 LCH 7G	Sany SY 500 H	Doosan DX 530 LCA 7M	Komatsu PC 400 LCSE 8R
	Top	Bottom													
BH 07	2.00	2.50	CH	495,38	412,81	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	3.50	4.00	CL	208,20	173,5	-	-	√	-	√	√	√	√	√	√
	35.20	35.60	Mudstone	12.558	10.465	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	59.90	60.30	Mudstone	31.118	25.932	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Keterangan:

* GP < Q_{aw} = aman (√)

* GP > Q_{aw} = tidak aman (-)

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel di atas, maka terlihat perbedaan yang sangat signifikan pada nilai *ground pressure* (GP) antara *dumptruck* dan *excavator*. *Excavator* yang menggunakan *crawler track* (rantai) terbukti memiliki GP yang jauh lebih rendah, karena beratnya disebar secara merata pada area kontak yang luas. Sebaliknya, *dump truck* yang menggunakan roda menghasilkan *ground pressure* yang tinggi, terutama saat bermuatan penuh. Hal ini karena seluruh beban yang berat disalurkan ke tanah melalui area kontak yang kecil pada roda-rodanya.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil pengeboran geoteknik di lokasi penelitian pit bara 7, batuan penyusun utama pada BH-07 didominasi oleh *claystone*, batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*), dengan ketebalan lapisan batubara bervariasi. Evaluasi kualitas massa batuan menggunakan nilai RQD menunjukkan variasi yang signifikan. Material permukaan seperti tanah organik dan lumpur umumnya memiliki RQD 0% (*very poor*), sedangkan lapisan batulumpur dan batubara di

kedalaman yang lebih dalam seringkali menunjukkan nilai RQD baik hingga sangat baik mencapai 90%-100%. Penilaian GSI mengkonfirmasi kondisi massa batuan, di mana material permukaan memiliki GSI rendah (0-20), sementara batuan yang lebih solid di kedalaman menunjukkan GSI sedang hingga tinggi (40-65) dengan struktur *blocky* dan kondisi permukaan yang bervariasi dari *fair* hingga *good*. Kekuatan batuan di lokasi tersebut umumnya rendah hingga sangat rendah, dengan nilai UCS batubara 4,60 MPa. Nilai daya dukung yang diizinkan bervariasi, dari ratusan kPa pada lapisan *claystone* dangkal hingga puluhan ribu kPa pada lapisan *mudstone* yang lebih dalam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, orang tua, keluarga, dosen pembimbing, dosen penguji, pihak perusahaan dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, I., "Geoteknik Tambang," Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2016.
- [2] Ariyanto, K. D., Rabin, S., Saleky, D. B., Titirloloby, A., and Cahyono, Y. D. G., *Analisis Pengaruh Porositas terhadap Uji Kuat Tekan Uniaxial pada Batu Gamping*, Prosiding, Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN II) vol. 2, no. 1, pp 467–471, 2020.
- [3] Bieniawski, Z. T., "Engineering Rock Mass Classifications," Published simultaneously in Canada, 1989.
- [4] Dinoy, E., Tampaty, Y. G., Mabaat, I. S., Sutiray, J. A. D., and Cahyono, Y. D. G., *Analisis Rekahan Batuan pada Uji Kuat Tekan Uniaksial*, Prosiding, Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN II) vol. 2, no.1, pp 411–415, 2020.
- [5] Hardiyatmo, H. C., "Mekanika Tanah II," Edisi-3, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2003
- [6] Naim, Priadi, E., and Aprianto, "Pemetaan Zonasi Geoteknik di Kota Pontianak Berdasarkan Data Konsistensi dan Sifat-sifat Tanah dengan Sistem Informasi Geografis," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 16, no. 2, pp. 288-303, 2019.
- [7] Pamuji, A. F. A., Sophian, R. I., and Muslim, D., "Pengaruh *Geological Strength Index* (GSI) terhadap Nilai Faktor Keamanan Melalui Simulasi Kestabilan Lereng Tambang, Kecamatan Batu Kajang, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur," *Padjadjaran Geoscience Journal*, vol. 2, no. 6, pp. 487–497, 2018.
- [8] Rai, M. A., Kramadibrata, S., and Wattimena, R. K., "Mekanika Batuan," Bandung Jawa Barat: Institut Teknologi Bandung, 2013.
- [9] Rumbiak, V., Silva, A. I. N. D. E., Da Costa, J. O. A., & Cahyono, Y. D. G., *Pengaruh Uji Kuat Geser terhadap Batu Andesit*, Prosiding, Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN II), vol. 2, no. 1, pp 605–609, 2020.
- [10] Santoso, H., and Situmorang, R. M., "Penyelidikan Stabilitas Rencana Pit Tambang dengan Analisis Kemantapan Lereng Majemuk di Desa Mekar Jaya, Kecamatan Sebulu," *Bulletin of Science Contribution: GEOLOGY*, vol. 22, no.1, pp 51–64.
- [11] Siswanto, and Anggraini, D., "Perbandingan Klasifikasi Massa Batuan Kuantitatif (Q, RMR dan R_{Mi})," *Jurnal Geosains dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp 67-73, 2018.
- [12] Supandi, "Mekanika Batuan," Jawa Barat, CV. Mega Press Nusantara, 2022.
- [13] Wyllie, D. C., and Mah, C. W., *Rock Slope Engineering: Civil and Mining 4th Edition*, In the Taylor & Francis e-Library, 2005.