

ROCK MASS RATING AND GEOLOGICAL STRENGTH INDEX OF ROCK MASSES OF INDONESIA COAL MINING AREAS

Singgih Saptono ⁽¹⁾, M. Rahman Yulianto ⁽²⁾, Vega Vergiagara ⁽³⁾, Herry Sofyan ⁽⁴⁾

Departement of Mining Engineering, UPN "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

Departement of Informatics

Jalan Babarsari No.2. Yogyakarta

e-mail : singgihseptono@upnyk.ac.id

Abstract

Rock slope stability is important for the safety of personnel and equipment in open pit mines. Slope instability and failure occurs due to many factors such as adverse slope geometries, geological discontinuities, weak or weathered slope materials. External loads such as high rainfall and seismicity can play an important role in slope failure. For this reason, it is necessary to classify the rock mass accurately against a rock mass as the basis for determining the technical policy of the rock mass. Rock slopes in open-pit coal mining areas, especially in Indonesia, are characterized by applying various rock mass classification systems, such as the Rock Mass Rating (RMR) and Geological Strength Index (GSI), because the study area consists of well exposed rock formations. In the RMR system, there are five main parameters namely. Uniaxial Compressive Strength (UCS) of rocks, Rock Quality Designation (RQD), discontinuity distances, discontinuity conditions, and groundwater conditions are considered. In this paper, several rock mass classification systems developed for the assessment of rock slope stability are evaluated against rock slope conditions in the tropics, namely the Indonesian region, especially in sedimentary rocks in coal-open mining areas. So that the corrected GSI equation is obtained which is used to characterize rock slopes based on the quantitative analysis of the rock mass structure and the surface conditions of the discontinuity.

Keywords : RMR, GSI, UCS, Rock, Quality, Designation

Stabilitas lereng batuan penting untuk diperhatikan bagi keselamatan personel dan peralatan di tambang terbuka. Ketidakstabilan dan kegagalan lereng terjadi karena banyak faktor seperti geometri lereng yang merugikan, diskontinuitas geologis, material lereng yang lemah atau lapuk akibat pengaruh cuaca. Beban eksternal seperti curah hujan yang tinggi dan kegempaan dapat memainkan peran penting dalam kegagalan lereng. Untuk itu diperlukan klasifikasi massa batuan secara tepat terhadap suatu massa batuan sebagai dasar penentuan kebijakan teknis terhadap massa batuan tersebut. Lereng batuan di daerah tambang terbuka batubara khususnya di Indonesia, dikarakterisasi dengan menerapkan berbagai sistem klasifikasi massa batuan, seperti Rock Mass Rating (RMR) dan Geological Strength Index (GSI), karena daerah penelitian terdiri dari formasi batuan yang terekspos dengan baik. Dalam sistem RMR, terdapat lima parameter utama yaitu. Uniaxial Compressive Strength (UCS) dari batuan, Rock Quality Designation (RQD), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah dipertimbangkan. Dalam makalah ini, beberapa sistem klasifikasi massa batuan yang dikembangkan untuk penilaian stabilitas lereng batuan dievaluasi terhadap kondisi lereng batuan pada daerah tropis yaitu wilayah Indonesia, khususnya pada batuan sedimen di wilayah tambang terbuka batubara. Sehingga didapatkan persamaan GSI terkoreksi yang digunakan untuk mengkarakterisasi lereng batuan berdasarkan analisis kuantitatif struktur massa batuan dan kondisi permukaan dari diskontinuitas.

Kata Kunci : RMR, GSI, UCS, Rock, Quality, Designation

1. PENDAHULUAN

Salah satu cara yang paling mudah melakukan perubahan desain tambang untuk keperluan efisiensi adalah dengan memperkecil nisbah pengupasan atau membuat lereng tambang baik lereng tunggal maupun lereng keseluruhan setinggi dan setegak mungkin. Kondisi lereng seperti ini akan menjadi efisien dan efektif untuk penambangan. Akan tetapi perubahan dimensi tersebut tidak serta merta dapat segera diwujudkan tanpa mengetahui dengan pasti kekuatan massa batuan atau stabilitas lereng tambang atau faktor keamanan. Pengembangan metode penentuan stabilitas lereng perlu memperhatikan ringkasan berbagai penelitian yang berkaitan dengan batuan lunak, karakteristik massa batuan, pengaruh skala, kekuatan batuan dan massa batuan yang kesemuanya itu berkait dengan masalah stabilitas lereng. Penelitian terhadap kekuatan batuan lunak telah dilakukan oleh **Johnstone & Choi (1986)**, **Indraratna (1990)**, **Johnstone (1991)**. Sementara di Indonesia oleh **Kramadibrata dkk. (2002, 2007)**, **Wattimena dkk. (2009)**, **Kramadibrata dkk. (2009)**, dan **Sulistianto dkk. (2010)**. Karakteristik kekuatan batuan lunak sangat rentan terhadap peningkatan kadar air sehingga batuan akan melapuk dan menyebabkan penurunan kekuatan batuan dari batuan keras menjadi batuan lunak (**Johnstone & Choi, 1986, Johnstone, 1991**). Batuan lunak ini banyak dijumpai di daerah penambangan terbuka batubara di Indonesia, salah satu contohnya adalah tambang batubara di Ombilin (**Herryal, 1999, 2000**). Selain peningkatan kadar air kekuatan batuan juga dipengaruhi oleh bidang kekar. Pengaruh bidang kekar terhadap kekuatan batuan dapat ditentukan oleh pengujian laboratorium dan di lapangan.

Saat ini telah dikembangkan beberapa metode perkiraan kekuatan massa batuan dengan menerapkan klasifikasi massa batuan. Salah satunya adalah klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR, Bieniawski (1973, 1989)). RMR merupakan dasar untuk mengembangkan klasifikasi massa batuan yang lebih khusus, contohnya klasifikasi massa batuan untuk analisis stabilitas lereng. Sistem klasifikasi untuk analisis stabilitas lereng telah dikembangkan oleh beberapa peneliti, yaitu Selby (1980, 1981), Moon & Selby (1983), Romana (1985), Swindells (1985), Robertson (1988), Haines & Terbrugge (1991), Orr (1992) dan Hoek, dkk. (1995).

Ketidastabilan lereng, kondisi massa batuan dan air tanah dan, zona kritis sebagai zona geser perlu diantisipasi sebagai masalah rekayasa geologi (Bhatta, 2006) yang muncul selama penggalian. Oleh karena itu, perlakuan yang mungkin direkomendasikan sebagian besar didasarkan pada klasifikasi massa batuan dengan parameter yang dapat diukur (Goodman, 1989). Perilaku massa batuan diatur oleh sifat material batuan utuh dan diskontinuitas (Sen dan Sadagah, 2003). Kekuatan massa batuan yang diberikan oleh kekuatan geser permukaan bidang diskontinu biasanya tergantung pada satu atau lebih faktor seperti orientasi, jarak, kontinuitas, karakteristik permukaan, pemisahan permukaan diskontinuitas, dan ketebalan serta sifat bahan pengisi yang menyertainya (jika ada). Ada beberapa pendekatan yang mengkarakterisasi dan mengklasifikasikan massa batuan yang dikenal sebagai klasifikasi geomekanis. Seperti Rock Mass Rating (RMR) yang diberikan oleh Bieniawski (1989) yang didasarkan pada studi lapangan dan laboratorium yang terperinci yang melibatkan pengumpulan data di lereng pengamatan. Pendekatan lain adalah Geological Strength Index (GSI). Nilai GSI terkait dengan tingkat patah dan kondisi permukaan retak. Oleh karena itu, pendekatan RMR dan GSI yang digunakan dalam penelitian ini difokuskan pada karakteristik massa batuan sedimen di tambang batubara Indonesia.

2. LOKASI PENELITIAN

Lokasi pengambilan contoh batuan dilakukan di beberapa tempat di Lowwall Pit Pama, Sis, Buma dan RA. Sedangkan, karakterisasi massa batuan dilakukan di 22 penampang yang terdiri dari 13 penampang di Pit Pama, 5 penampang di Pit Sis dan 4 penampang di Pit Buma dan Pit RA. Pemilihan lokasi pengambilan contoh batuan dan karakterisasi massa batuan berdasarkan pada kelengkapan data laboratorium maupun struktur, kemudahan operasional dan aman. Karakterisasi massa batuan yang dilakukan di tambang Tutupan pada umumnya berada di lereng lowwall dan lokasi pengukurannya ditandai dengan Strip (S), Blok (B) dan RL (*Relative Level*).

Tabel 1. Lokasi pengambilan blok contoh batuan

Penampang	Kode contoh	Lokasi		
		S	B	RL
1	BPk1	40	69	49
2	BPk2	40	64	36
3	BPh1	43	61	-5
4	BPh2	43	61	3
5	BPh3	47	102	80
6	BPh4	44	77	-71
7	BPh5	45	77	-50
8	BPh6	52	103	26
9	BPk3	52	102	26
10	BPk4	52	132	86
11	BPk5	60	144	70
12	BPk6	40	61	64
13	BPk7	40	61	70
14	BPk8	39	67	61
15	BPh7	37	68	70
16	BPh8	46	67	-37
17	BPh9	46	68	-37
18	BPh10	44	96	107
19	BPh11	45	96	108
20	BL1	60	127	108
21	BL2	47	93	88
22	BL3	48	96	102

Keterangan: S = strip, B = blok, RL = *relative level*

3. KLASIFIKASI MASSA BATUAN

Klasifikasikan massa batuan yang digunakan adalah klasifikasi RMR dan GSI. Sistem klasifikasi RMR dan GSI dapat diterapkan untuk analisis stabilitas lereng, yaitu dapat menentukan kohesi dan sudut gesek dalam massa batuan sesuai dengan kelas batuan sebagai parameter kriteria runtuh Mohr – Coulomb dan Hoek & Brown.

a. *Rock Mass Rating (RMR)*

Sistem RMR ditemukan oleh Bieniawski (1973 - 1989) untuk mengevaluasi kualitas massa batuan untuk proyek bawah tanah. Sistem RMR terdiri dari lima parameter dasar yang mewakili kondisi batuan yang berbeda dan diskontinuitas. Parameter-parameter tersebut adalah: (1) UCS batuan utuh, (2) RQD, (3) jarak antar diskontinuitas, (4) kondisi diskontinuitas, dan (5) air tanah. Sistem RMR ini dikenal sebagai "RMR dasar" dan memberikan nilai yang berkisar antara 0 dan 100 (Bieniawski, 1973). Parameter tambahan diusulkan oleh Bieniawski (1976) untuk menjelaskan pengaruh orientasi diskontinuitas pada kondisi stabilitas (faktor koreksi). Namun, parameter ini diperkenalkan untuk pondasi terowongan dan bendungan tetapi tidak untuk lereng (Aksoy, 2008). Oleh karena itu, Bieniawski (1989) menerapkan rincian yang lebih deskriptif dalam parameter keempat RMR dasar (kondisi diskontinuitas). Tabel 1 dan 2 menunjukkan kriteria klasifikasi RMR dan kelas massa batuan yang berbeda (Bieniawski, 1989).

b. *Geological Strength Index (GSI)*

Sedangkan untuk menentukan kelas massa batuan berdasarkan GSI dibagi dalam dua parameter yaitu kondisi permukaan massa batuan dan hubungan butir partikel batuan. Berdasarkan parameter kondisi permukaan massa batuan terdiri dari batuan sangat baik, batuan baik, batuan sedang, batuan buruk dan batuan sangat buruk, sedang berdasarkan hubungan butir partikel batuan yaitu batuan utuh, blok besar, blok sedang, blok kecil, terdisintegrasikan dan berlapis (Tabel 3).

Tabel 2. Sistem penilaian batuan (Bieniawski, 1989)

Parameter	Range of values					
1 Strength of intact rock mineral	Point-load strength index (MPa)	>10	4–10	2–4	1–2	For the low range, uniaxial compression test is preferred
	UCS (MPa)	>250	100–250	50–100	25–50	
2 Drill core RQD (%)	Rating	15	12	7	4	2 1 0
	Rating	90–100	75–90	50–75	25–50	<25
3 Spacing of discontinuities	Rating	>2 m	0.6–2 m	200–600 mm	60–200 mm	<60 mm
	Rating	20	15	10	8	5
4 Condition of discontinuities (see Table 2)		<ul style="list-style-type: none"> Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock 	<ul style="list-style-type: none"> Slightly rough surfaces Separation <1 mm Slightly weathered walls 	<ul style="list-style-type: none"> Slightly rough surfaces Separation <1 mm Highly weathered walls 	<ul style="list-style-type: none"> Slickensided surfaces, or Gouge < 5 mm thick, or Separation 1–5 mm (Continuous) 	<ul style="list-style-type: none"> Soft gouge > 5 mm thick, or Separation > 5 mm (Continuous)
	Rating	30	25	20	10	0
5 Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10–25	25–125	>125
	Ratio of joint water pressure to major principal stress	0	<0.1	0.1–0.2	0.2–0.5	>0.5
Rating	General condition	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
Rating		15	10	7	4	0

Tabel 3. Pedoman untuk klasifikasi kondisi diskontinuitas dalam RMR.

Discontinuity length (persistence)		Separation (aperture)		Roughness		Infilling (gouge)		Weathering	
Value (m)	Rating	Value (mm)	Rating	Description	Rating	Description	Rating	Description	Rating
<1	6	None	6	Very rough	6	None	6	Unweathered	6
1–3	4	<0.1	5	Rough	5	Hard filling < 5 mm	4	Slightly weathered	5
3–10	2	0.1–1.0	4	Slightly rough	3	Hard filling > 5 mm	2	Moderately weathered	3
10–20	1	1–5	1	Smooth	1	Soft filling < 5 mm	2	Highly weathered	1
>20	0	>5	0	Slickensided	0	Soft filling > 5 mm	0	Decomposed	0

Rating	Class	Description
100–81	I	Very good rock
80–61	II	Good rock
60–41	III	Fair rock
40–21	IV	Poor rock
<20	V	Very poor rock

Tabel 4. Klasifikasi massa batuan berdasarkan GSI (Hoek & Brown, 2002)

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS	DECREASING SURFACE QUALITY			
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR
<p>INTACT OR MASSIVE—intact rock specimens or massive <i>in situ</i> rock with few widely spaced discontinuities</p>	<p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p>	90			N/A
<p>BLOCKY—well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	<p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p>	80	70		
<p>VERY BLOCKY—interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>	<p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p>		60	50	
<p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY—folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>	<p>POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p>			40	30
<p>DISINTEGRATED—poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>	<p>VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>				20
<p>LAMINATED/SHEARED—lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>		N/A	N/A		10

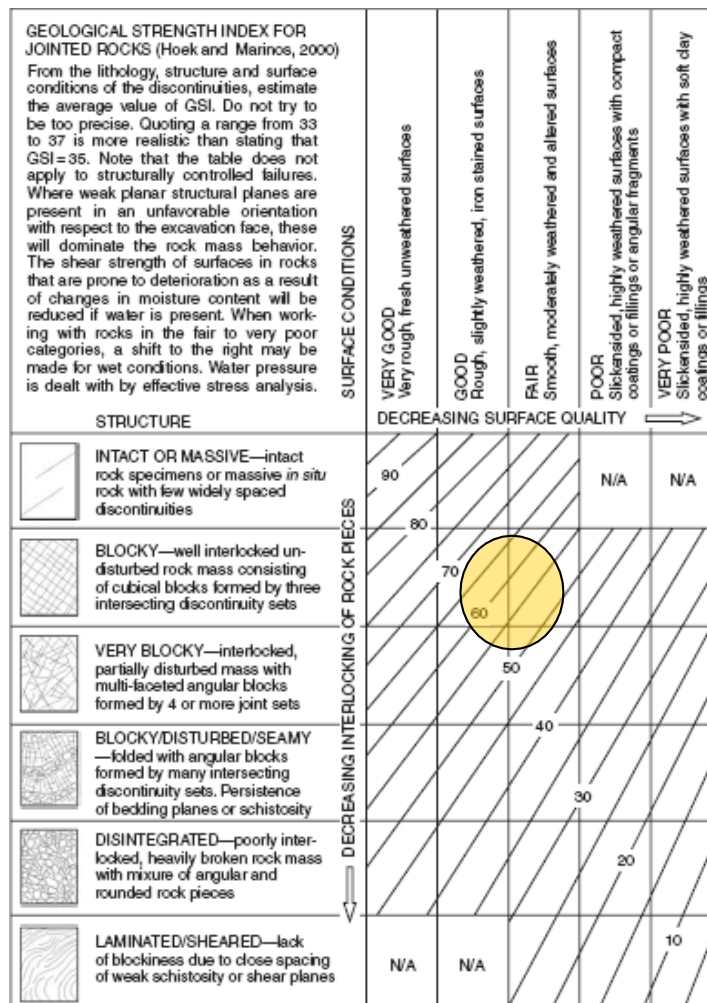
Sebagai masukan untuk menentukan kelas massa batuan daerah Tutupan adalah dari hasil uji kuat tekan uniaksial, orientasi arah umum bidang kekar, pengukuran jarak sebenarnya bidang kekar dan RQD, kondisi bidang kekar dan kondisi air tanah untuk setiap penampang, selanjutnya hasil tersebut dipakai sebagai parameter masukan untuk mengklasifikasi massa batuan setiap penampang ke dalam kelas massa batuan. Parameter kondisi bidang kekar yang terdiri dari kemenerusan, lebar celah, kekasaran, isian dan pelapukan serta parameter kondisi air tanah dibobotkan untuk mendapatkan nilai pembobotan (Tabel 5).

Parameter kuat tekan uniaksial, RQD, dan jarak sebenarnya bidang kekar selanjutnya dibobotkan untuk mendapatkan nilai bobotnya. Hal ini juga dilakukan pada parameter kondisi kekar, kondisi air tanah dan arah umum orientasi kekar untuk setiap penampang (Tabel 5). Untuk memperoleh nilai RMR setiap penampang dengan menjumlahkan nilai bobot masing – masing parameter. Contoh, jika $\sigma_c = 13,4$ MPa maka nilai pembobotannya sebesar 2,3 demikian berikutnya.

Berdasarkan hasil penjumlahan bobot parameter menunjukkan bahwa nilai bobot tertinggi RMR adalah 71 (penampang 5 jenis batuan batupasir halus) dan nilai terendah RMR adalah 24 (penampang 13 jenis batuan batupasir kasar). Berdasarkan nilai pembobotannya (Tabel 4) massa batuan di tambang Tutupan dapat diklasifikasikan masuk dalam massa batuan kelas II (batuan baik) dan kelas IV (batuan buruk).

Berdasarkan hasil karakterisasi massa batuan berdasarkan GSI menunjukkan bahwa nilai GSI tertinggi adalah 66 (penampang 5 batupasir halus) dan terendah adalah 46 (penampang 13 batupasir kasar), maka dapat diklasifikasikan sebagai batuan baik dan sedang dengan struktur hubungan antar butir termasuk blok besar dan blok sedang (Tabel 6).

Tabel 4. Nilai GSI untuk mengklasifikasi massa batuan berdasarkan hubungan butir partikel batuan dan kondisi bidang kekar



Tabel 5. Hasil karakterisasi kondisi bidang kekar pada massa batuan di Tambang Tutupan

Penampang	Jenis Batuan	Lokasi			Kondisi bidang kekar						Kondisi air tanah
		S	B	RL	Kemenerusan		Bukaan	Kekasaran	Isian pada kekar	Pelapukan	
					> 0,6 h	< 0,6 h					
1	Batupasir kasar	40	69	49	6%	94%	< 0,1 mm	Halus	Tidak ada	Pelapukan rendah	Kering
2	Batupasir kasar	40	64	36	17%	83%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan rendah	Kering
3	Batupasir halus	43	61	-5	4%	96%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan Tinggi	lembab
4	Batupasir halus	43	61	3	6%	94%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan rendah	Kering
5	Batupasir halus	47	102	80	3%	97%	< 0,1 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Pelapukan rendah	Kering
6	Batupasir halus	44	77	-71	38%	62%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan rendah	Kering
7	Batupasir halus	45	77	-50	35%	65%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Tidak ada	Pelapukan sedang	Kering
8	Batupasir halus	52	103	26	36%	64%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Tidak ada	Pelapukan sedang	Lembab
9	Batupasir kasar	52	102	26	30%	70%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Tidak ada	Pelapukan rendah	Kering
10	Batupasir kasar	52	132	86	6%	94%	< 0,1 mm	Halus	Tidak ada	Pelapukan rendah	Kering
11	Batupasir kasar	60	144	70	8%	92%	< 0,1 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan rendah	Kering
12	Batupasir kasar	40	61	64	3%	97%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan rendah	Kering
13	Batupasir kasar	40	61	70	5%	95%	0,1 - 1.0 mm	Halus	Isian lunak < 5 mm	Pelapukan sedang	Lembab
14	Batupasir kasar	39	67	61	15%	85%	< 0,1 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan sedang	Kering
15	Batupasir halus	37	68	70	5%	95%	0,1 - 1.0	Halus	Tidak ada	Pelapukan	Lembab

Penampang	Jenis Batuan	Lokasi			Kondisi bidang kekar						Kondisi air tanah
		S	B	RL	Kemenerusan		Bukaan mm	Kekasaran	Isian pada kekar	Pelapukan	
					> 0,6 h	< 0,6 h					
										rendah	
16	Batupasir halus	46	67	-37	7%	93%	< 0,1 mm	Halus	Isian keras < 5 mm	Pelapukan rendah	Kering
17	Batupasir halus	46	68	-37	4%	96%	< 0,1 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Pelapukan rendah	Lembab
18	Batupasir halus	44	96	107	1%	99%	< 0,1 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Pelapukan rendah	Lembab
19	Batupasir halus	45	96	108	3%	97%	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Pelapukan rendah	Lembab
20	Batulumpur	60	127	108	7%	93%	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Pelapukan Tinggi	Kering
21	Batulumpur	47	93	88	3%	97%	< 0,1 mm	Halus	Tidak ada	Pelapukan sedang	Kering
22	Batulumpur	48	96	102	8%	92%	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Pelapukan rendah	Kering

4. PENENTUAN HUBUNGAN GSI DENGAN RMR

Hoek & Brown (1997) membuat persamaan empirik hubungan penentuan GSI sebagai fungsi RMR_{89} , yaitu

$$GSI = RMR_{89} - 5 \dots\dots\dots [4.1]$$

Persamaan [4.1] berlaku untuk $RMR > 23$. Jika $RMR < 23$ maka persamaan GSI, yaitu

$$GSI = RMR_{76} \dots\dots\dots [4.2]$$

Subscrit pada RMR menunjukkan tahun pembuatan, contohnya RMR_{89} menandakan nilai pembobotan parameter RMR tahun 1989 yang nilai pembobotan parameter massa batuan dibuat oleh **Bieniawski** tahun **1989**, demikian juga untuk RMR_{76} . Perbedaan nilai pembobotan RMR_{76} dan RMR_{89} yaitu pada parameter ukuran blok (spasi dan RQD), kondisi kekar dan kondisi air tanah. Nilai pembobotan untuk ukuran blok RMR_{76} antara 8 – 50 dan RMR_{89} antara 8 – 40, nilai pembobotan kondisi kekar pada RMR_{76} antara 0 – 25 dan RMR_{89} antara 0 – 30 dan nilai pembobotan kondisi air tanah pada RMR_{76} antara 0 – 10 dan RMR_{89} antara 0 – 15.

Persamaan empirik **Hoek & Brown** [4.1] dan [4.2] diterapkan untuk RMR dengan kondisi massa batuan kering dengan nilai pembobotan kondisi air tanah sebesar 10 untuk RMR_{76} dan 15 untuk RMR_{89} serta tidak memperhitungkan kondisi arah umum bidang kekar. Hasil RMR ini dihitung dari hasil perhitungan berdasarkan empat parameter dari sistem klasifikasi RMR. Tujuan mengetahui RMR adalah untuk membuat hubungan antara GSI terhadap RMR.

Menurut perhitungan empat parameter utama RMR tambang Tutupan diperoleh $RMR_{(B)}$ seperti pada Tabel 6. Berdasarkan hasil pembobotan RMR diperoleh nilai terendah RMR adalah 54 untuk batupasir kasar (penampang 13) dan nilai tertinggi RMR adalah 75 untuk batupasir halus (penampang 5 dan penampang 18).

Tabel 6. Nilai Pembobotan masing-masing parameter untuk mendapatkan nilai RMR tambang Tutupan

Penampang	σ_c	RQD	Spasi	Kondisi kekar	Kondisi air tanah	RMR
1	2,3	19,5	10	23	15	70
2	1,8	18,9	9	20	15	64
3	1,1	14,7	11	16	15	58
4	1,4	18,4	8	20	15	63
5	3,6	19,8	12	25	15	75
6	2,5	19,4	9	20	15	66
7	1,3	18,1	8	20	15	62
8	1,2	19,3	10	20	15	65
9	1,2	18,1	8	22	15	64
10	1,8	18,9	9	23	15	67
11	2,3	19,7	11	21	15	69
12	1,3	18,5	8	20	15	63
13	1,2	14,5	7	16	15	54
14	1,3	18,6	8	19	15	62
15	1,1	18,1	8	22	15	64
16	1,2	17,2	8	21	15	62
17	1,4	18,1	8	25	15	68
18	3,6	19,8	12	25	15	75
19	3,6	19,7	11	24	15	74
20	1,3	16,9	7	20	15	61
21	1,2	19,8	12	21	15	69
22	1,2	14,2	7	25	15	62

Selanjutnya nilai RMR akan digunakan untuk mengitung nilai GSI dengan persamaan (4.1; **Hoek & Brown, 1997**). Selanjutnya dibuat hubungan antara GSI menurut **Hoek & Brown (1997)** dan GSI hasil karakterisasi. Hasil perhitungan antara nilai GSI menurut persamaan [4.1] dan hasil karakterisasi terdapat perbedaan (Tabel 7). Tabel 7 menunjukkan hasil RMR, GSI menurut **Hoek & Brown (1997)** dan hasil karakterisasi.

Tabel 7. Nilai hasil Rock Mass Rating (RMR) dan GSI hasil Hoek & Brown (1997) dan hasil Karakterisasi

RMR	GSI	GSI ^{*)}	GSI ^{**)}
70	61	65	62
64	56	59	56
58	50	53	50
63	55	58	55
75	66	70	67
66	57	61	58
62	54	57	54
65	57	60	57
64	56	59	56
67	59	62	59
69	60	64	61
63	55	58	55
54	46	49	46
62	54	57	54
64	56	59	56
62	53	57	54
68	58	63	60
75	66	70	67
74	65	69	66
61	52	56	53
69	60	64	61
62	53	57	54

Keterangan:

*) adalah $GSI = RMR - 5$ (Hoek & Brown, 1997) **) adalah $GSI = RMR - 8$

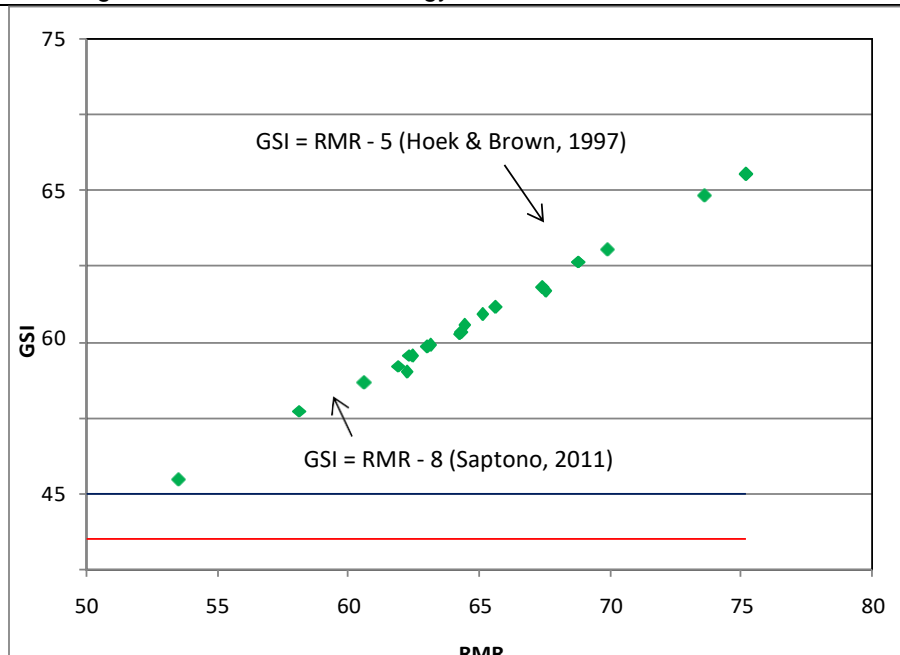
Dengan membuat grafik hubungan nilai RMR, GSI hasil karakterisasi, GSI menurut **Hoek & Brown (1997)** dan GSI hasil koreksi akan jelas terlihat jika persamaan [4.1] diterapkan tampak ada penyimpangan nilai sebesar 3 sampai 4 dari GSI hasil karakterisasi di batuan lunak.

Perbedaan antara GSI menurut **Hoek & Brown (1997)** dengan GSI pengukuran yaitu 3 dan 4, maka nilai untuk menghitung GSI dari RMR dengan mengurangi 8, sehingga persamaan **Hoek & Brown** berubah dari

$$GSI = RMR - 5 \quad \dots [4.3]$$

menjadi

$$GSI = RMR - 8 \quad \dots [4.4]$$



Gambar 2. Persamaan penentuan GSI terhadap RMR antara Hoek & Brown (1997) dengan persamaan GSI hasil koreksi

KESIMPULAN

- Klasifikasi massa batuan di tambang Tutupan menunjukkan bahwa nilai bobot tertinggi RMR adalah 71 (penampang 5 jenis batuan batupasir halus) dan nilai terendah RMR adalah 24 (penampang 13 jenis batuan batupasir kasar). Sehingga massa batuan di tambang Tutupan dapat diklasifikasikan masuk dalam massa batuan kelas II (batuan baik) dan kelas IV (batuan buruk).
- Berdasarkan hasil karakterisasi massa batuan berdasarkan GSI menunjukkan bahwa nilai GSI tertinggi adalah 66 (penampang 5 batupasir halus) dan terendah adalah 46 (penampang 13 batupasir kasar), maka dapat diklasifikasikan sebagai batuan baik dan sedang.
- Persamaan GSI yang didapatkan mengoreksi persamaan Hoek & Brown (1997) untuk diterapkan pada massa batuan di tambang batubara, yaitu $GSI = RMR - 8$

DAFTAR PUSTAKA

- Barton, N. and Stephansson (1990): *Rock Joint Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model in Engineering Practice*, Proc. Intrnl. Symp. On Rock Joint, Leon, Norway.
- Barton, N.R. (1976): *The shear strength of rock and rock joints*, Intl. J. Rock Mech. Min. & Sci. Vol. 13: 255-279.
- Bieniawski, Z.T. (1968): *The Effect of Specimen Size on The Strength of Coal*, International Journal on Rock Mechanics and Mining Sciences & Mechanics Abstracts, V. 5 n. 4, 325-335.
- Bieniawski, Z.T. (1973): *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*, Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15. pp. 335 – 344.
- Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering Rock Mass Classifications*, John-Wiley, New York.
- Brady, B.H.G. and Brown, E.T. (1985): *Rock Mechanics for Underground Mining*, George Allen and Unwin, London.
- Dwinagara, B. (2006): *Penentuan Kekuatan Jangka Panjang Massa Batuan Dengan Metode Tidak Langsung dari Hasil Pengukuran dan Pengujian Insitu*, Disertasi, ITB, Bandung.
- Edmond, J.M. and Paterson, M.S. (1972): *Volume Changes during The Deformation of Rocks at High Pressures*, Int. Journ. Rock Mech. Min. & Sci., Vol. 9, pp. 161-182.

- Grasselli, G. (2001): *Shear Strength of Rock Joints Based on Quantified Surface Description*, Geophysical Technology Department, Sandia National Laboratories, New Mexico, USA.
- Griffith, A.A. (1925): *The Theory of Rupture*, Proceeding of 1st Institutional Congress of Applied Mechanics, Delft. Biezeno and Burgers ed. Waltman, pp. 55 – 63.
- Haines, A. and Terbrugger, P.J. (1991): *Preliminary Estimation of Rock Slope Stability Using Rock Mass Classification System*, Proc. 7th Int. Society Rock Mechanics (Herausgeber ed.) Aachen. Vol 2 pp. 887 – 892.
- Herget, G. (1988): *Stresses in Rock*, A.A. Balkema Publ: 179p.
- Herryal, Z.A., Shimada, H., Ichinose, M., Matsui, K., Zufahmi, M.F., (1999): *Study on The Application of Rock Bolting Technology in Ombilin and Ikesima Coal Mine*, Ed. Matsui K., and Shimada, H. Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, Fukuoka, Japan.
- Herryal, Z.A. (2000): *Study on the progression and control of rock strength deterioration due to water*, Ph.D. Dissertation, Department of Earth Resources Engineering, Kyushu University.
- Hoek, E. (1994): *Strength of Rock and Rock Masses*, ISRM News Journal, 2 No. 2, 4-16.
- ISRM (1981): *Rock Characterization Testing and Monitoring ISRM Suggested Method*. E.T. Brown (Ed). Pergamon Press. 5 – 30.
- Janbu, N. (1954): *Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameter*, D.Sc. thesis, Harvard University, Cambridge, MA.
- Johnstone, I. W. (1991): *Discussion on The Development and Applications of A Synthetic Material to Simulate Soft Sedimentary Rock*, Geotechnique, Vol. 41. No. 1, pp. 165 – 167.
- Kramadibrata, S. (1996): *The Influence of Rock Mass and Intact Rock Properties on The Design of Surface Mines with Particular Reference to The Excavatability of Rock*, Ph. D. Thesis, Curtin University of Technology.
- Kramadibrata, S., Saptono, S., Sulistianto, B. and Wattimena, R.K. (2011a): *Penentuan Kriteria dan Prosedur Analisis Stabilitas Lereng Batuan Lunak di Tambang Terbuka Batubara*, DIPA – Dikti, Pameran Poster, ITB, Bandung.
- Kramadibrata, S., Saptono, S., Sulistianto, B. and Wattimena, R.K. (2011b): *Pengujian Geser Langsung Skala Besar di Lapangan*, Riset – KK ITB, Pameran Poster, ITB, Bandung.
- Li, A.J., Merifield, R.S. and Lyamin, A.V. (2008): *Stability Charts for Rock Slopes Based on The Hoek-Brown Failure Criterion*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 45 (2008) 689 – 700.
- Lin, Y. (1998): *An Introduction of The Chinese Standard for Engineering Classification of Rock Mass*, In Advances in Rock Mechanics (Lin ed.), World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 317-327.
- Londe, P. (1973): *The Role of Rock Mechanics in The Reconnaissance of Rock Foundations*, Qly J. Engng Geol., Vol 6/1.
- Michalowski, R.L. (2002): *Stability Charts for Uniform Slopes*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 128. No.4.
- Muratha, J. and Cunha, P.A. (1990): *About LNEC Experience on Scale Effects in The Mechanical Behaviour of Joints*, Proc. The 1st Intl. Workshop on scale effects in Rock masses, Edited by Cunha, P.A. Luen, Norway 131-148.
- Nakamura, S.T. (1949): *On Visco-Elastic Medium*. Sci. Rep. Tokyo Univ., 5th Series Geophysics, Vol. 1. No. 2, pp. 91-95.
- Newland, P.L. and Alley, B.H. (1957): *Volume Changes in Drained Triaxial Tests on Granular Material*, Geotechnique, Vol. 7, pp. 17 – 34.
- Novello, E.A. (1988): *Geomechanics and The Critical State*, Ph.D. Thesis, Monash University, Melbourne.
- Pankhrust, R.C. (1964): *Dimensional Analysis and Scale Factor*, Chapman & Hall Ltd. London.
- Patton, F.D. (1966): *Multiple Modes of Shear failure in Rock*, In. Proc. 1st International Congress on Rock Mechanics (Lisbon), Vol. 1, pp. 509 – 513.

- Pratt, H.R., Black, A.D. and Brace, W.F. (1972): *Friction and Deformation of Jointed Quartz Diorite*, Proc. 3rd Cong. of Int. Soc. Rock Mech., Denver Colorado, Vol. II. A: 306-310.
- Rai, M.A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, R.K. (2011): *Mekanika Batuan*, Penerbit ITB.
- Saptono, S. (2011): *Penentuan kekuatan geser jangka panjang batupasir dengan pendekatan perilaku rayapan geser visko-elastik*. Seminar Kebumihan Nasional, FTM – UPN "Veteran" Yogyakarta. Yogyakarta.
- Saptono, S., Kramadibrata, S. and Sulistianto, B. (2010): *The Use of Rock Mass Characteristic for Assessing Slope Stability*, The 5th AUTOLE International Postgraduate Students Conference on Engineering, ITB, Bandung, Indonesia.
- Saptono, S., Kramadibrata, S., Sulistianto, B., Wattimena, K.R., Nugroho, P., Iskandar, E. and Bahri, S., (2008a): *Low Wall Slope Monitoring By Robotic Theodolite System Likely to Contribute to Increased Production of Coal in PT. Adaro Indonesia*, Proceeding 1st Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Vol. 1, Potvin et al. eds. Perth. Australia.
- Singh, M.M. (1981): *Strength of rock. Physical properties of rock and materials*, New York.
- Singh, R.N., Hassani, F.P. and Elkington, P.A.S. (1983): *The Application of Strength and Deformation Index Testing to The Stability Assessment of Coal Measures Excavation*,. Proceedings 24th US Symposium on Rock Mechanics, Texas A&M University, 599-609.
- Sulistianto, B., Kramadibrata, S., Saptono, S., Wattimena, R.K. and Nugroho, P. (2009): *Deformation Monitoring at Low-wall slope of coal open pit in PT. Adaro Indonesia*, Earth resource science and technology, 2nd International Symposium of Novel Carbon Resources Science, March, ITB.
- Taylor, D.W. (1937): *Stability or Earth Slopes*, Journal of the Boston Society of Civil Engineer, 24: 197 – 256.
- Terzaghi, K. (1946): *Rock Defects and Loads on Tunnel Support*, Rock Tunneling with Steel Support, Commercial Shearing Co., Youngstown, OH., pp. 15 – 99.
- Terzaghi, R.D. (1965): Sources of Error in Joint Surveys, *Geotechnique*, Vol. XV. Pp. 287 – 304.
- Unal, E. (1996): *Modified Rock Mass Classification: M-RMR System*, Milestone in Rock Engineering, Balkema. Pp. 203 – 223.
- Vutukuri, V.S. Lama, R.D. and Saluja, S.S. (1974): *Handbook on mechanical properties of rocks*, Vol., Trans Tech. Publ.
- Wattimena, R.K., Kramadibrata, S., Sulistianto, B. dan Saptono, S. (2009): *Pengujian Geser Langsung Skala Besar*, Riset – KK ITB, ITB, Bandung.
- Yang, S.Q. and Cheng, L. (2011): *Non-Stationary and Nonlinier Visco-Elastic Shear Creep Model for Shale*, International Journal Rock Mechanics & Mining Sciences, Elsevier.
- Yoshinaka, R., Yoshida, J., Arai, H. and Arisaka, S. (1993): *Scale Effects on Shear Strength The Deformability of Rock Joint*, The 2nd Intl. Workshop on scale effects in Rock masses, Edited by Cunha, P.A. Lisbon, Portugal, 143-149.