

ANALISIS STABILITAS TEROWONGAN DAN KESESUAIAN SISTEM PENYANGGAN BERDASARKAN *ROCK MASS RATING (RMR)* DAN *SLAKE DURABILITY TESTS* BATUAN PADA TAMBANG BATUBARA BAWAH TANAH

ROSIHAN PEBRIANTO*, EDDY IBRAHIM², EDY SUTRIYONO³, BUDHI SETIAWAN⁴

**1234 FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS SRIWIJAYA, PALEMBANG
CORRESPONDING AUTHOR: ROSIHANPEBRIANTO@YMAIL.COM**

ABSTRAK: KEBERADAAN CADANGAN BATUBARA YANG SEMAKIN SEDIKIT DI DEKAT PERMUKAAN MEMBUAT SISTEM PENAMBANGAN HARUS BERUBAH DARI TAMBANG TERBUKA KE TAMBANG BAWAH TANAH. PENERAPAN SISTEM PENAMBANGAN BAWAH TANAH TENTU TIDAK SEMUDAH PENAMBANGAN SECARA TERBUKA. BANYAK VARIABEL YANG HARUS DIPERTIMBANGKAN TERUTAMA DALAM ASPEK KESELAMATAN KERJA. SALAH SATU FAKTOR PENENTU KESELAMATAN KERJA DALAM PENAMBANGAN BAWAH TANAH ADALAH STABILITAS TEROWONGAN. UNTUK MENDAPATKAN KONDISI TEROWONGAN YANG STABIL TENTU PERLU DILAKUKAN KAJIAN MENGENAI KARAKTERISTIK BATUAN YANG DILALUI OLEH TEROWONGAN TERSEBUT. *ROCK MASS RATING (RMR)* DAN *SLAKE DURABILITY* MERUPAKAN PENGUJIAN YANG PALING SERING DILAKUKAN UNTUK MENGIDENTIFIKASI MASSA BATUAN. DARI HASIL PENGUJIAN-PENGUJIAN TERSEBUT, KEMUDIAN DILAKUKAN ANALISIS UNTUK MENENTUKAN SISTEM PENYANGGAAN YANG AKAN DIGUNAKAN. DIHARAPKAN DENGAN PEMILIHAN SISTEM PENYANGGAAN YANG TEPAT AKAN MENJAMIN STABILITAS TEROWONGAN TERSEBUT. BERDASARKAN HASIL UJI, DIPEROLEH NILAI BOBOT *RMR* 65 YANG TEROGOLONG DALAM KELAS II, *SLAKE DURABILITY (I_{d3})* RATA-RATA 67,82%. DARI HASIL PENGUJIAN DIKETAHUI BATUAN YANG DITELITI BERADA PADA JENIS BATUAN LUNAK (P-1). KLASIFIKASI BATUAN P-1 INI MENGGUNAKAN SISTEM PENYANGGAAN BERUPA ATAP YANG MELINGKAR DENGAN KOMBINASI H-BEAM DAN KAYU. KONDISI SAAT INI MENUNJUKKAN KEADAAN TEROWONGAN DALAM KONDISI STABIL BERDASARKAN HASIL PENGUJIAN DAN NILAI RUJUKAN DARI BEBERAPA PENELITIAN SEBELUMNYA.

Kata Kunci: *RMR*, *Slake Durability*, Stabil, Penyanggaan, Sedimen

PENDAHULUAN

Franklin dkk (1972) dan Gamble (1971) menyebutkan bahwa *Slake durability* merupakan salah satu cara untuk mengklasifikasi massa batuan. Ko dkk (2017) menggunakan *Slake durability* untuk mengidentifikasi batuan sedimen yang tidak terkonsolidasi. Ko menggabungkan parameter *Slake durability* dengan *Uniaxial Compressive Strength (UCS)* dalam mengidentifikasi batuan sedimen yang tidak terkonsolidasi tersebut.

Beberapa kasus karakteristik geoteknik yang menggunakan *rock mass* klasifikasi antara lain terowongan di Chili, jalan kereta api di Taiwan, jembatan Akashi-Kaikyo di Jepang, terowongan Seikan di Jepang, dan terowongan B di Jepang. Salah satu parameter *rock mass* klasifikasi yang digunakan dari kasus-kasus tersebut

menggunakan tes kekuatan batuan atau *UCS*. Kasus yang disebutkan diatas juga berada pada jenis batuan sedimen.

Batubara merupakan endapan sedimen yang biasanya terbentuk di suatu morfologi cekungan yang dipengaruhi oleh tekanan dan temperature dalam waktu yang lama. Semua lapisan batubara terbentuk dan berasosiasi dengan batuan sedimen yang lain.

Cadangan batubara yang berada di dekat permukaan tentu tidak menjadi masalah dalam proses penambangannya. Namun jika cadangan batubara tersebut berada di kedalaman yang tidak lagi ekonomis jika ditambang dengan metode tambang terbuka, maka tambang bawah tanah merupakan satu-satunya pilihan yang dapat dilakukan untuk mengeksploitasi cadangan batubara tersebut.

Eksplotasi batubara menggunakan metode tambang bawah tanah sangat sulit dibandingkan dengan metode

tambang terbuka. Tambang bawah tanah batubara banyak parameter-parameter yang perlu dipertimbangkan terutama karakteristik batuan atau material di wilayah tersebut.

Karakteristik material yang paling umum digunakan dalam mengklasifikasi massa batuan adalah dengan menggunakan rock mass rating (RMR) (Rehman, 2018). Terdapat 5 parameter yang dikaji dalam mendapatkan nilai RMR. Berdasarkan nilai RMR tersebut dapat diketahui kelas massa batuan yang diujikan.

Dengan diketahuinya kelas massa batuan, selanjutnya dapat diketahui mekanisme penggalian terowongan yang aman. Kemudian sekaligus untuk merencanakan sistem penyanggaan yang sesuai.

METODE PENELITIAN

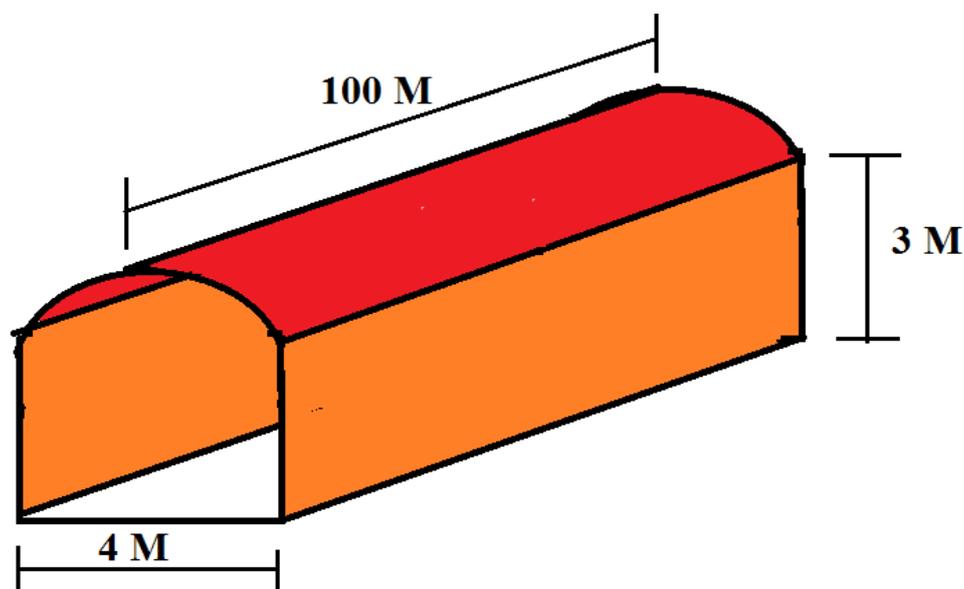
Identifikasi kelas massa batuan dalam penelitian ini menggunakan 2 pendekatan yaitu dengan metode *Rock*

Mass Rating (RMR) dan *Slake durability Test*. RMR terdiri dari 5 komponen pengujian yaitu uniaxial compressive strength (UCS), rock quality designation (RQD), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah.

Sampel pengujian berasal dari pemboran inti. Sampel yang diujikan sebanyak 10 sampel pada masing-masing metode pengujian. Sampel diambil pada terowongan dengan panjang 100 meter dengan ketinggian 3 meter dan lebar 4 meter (Gambar 1). Dalam setiap 1 meter kemajuan dilakukan pengambilan sampel untuk dilakukan pengujian di laboratorium. Sampel ini diambil dari coring dalam persiapan lobang ledak.

Kekuatan Material Batuan Utuh

Rai dkk (2011) mengelompokkan kekuatan material batuan utuh dalam pembobotan parameter RMR seperti pada tabel 1.



Gambar 1. Dimensi Terowongan

Tabel 1. Kekuatan material batuan utuh

Deskripsi kualitatif	UCS (Mpa)	PLI (MPa)	Bobot
Sangat Kuat Sekali (<i>exceptionally strong</i>)	>250	>10	15
Sangat Kuat (<i>very strong</i>)	100 – 250	4 – 10	12
Kuat (<i>strong</i>)	50 – 100	2 – 4	7
Sedang (<i>average</i>)	25 – 50	1 – 2	4
Lemah (<i>weak</i>)	5 – 25		2
Sangat lemah (<i>very weak</i>)	1 – 5	Penggunaan UCS lebih dilanjutkan	1
Sangat lemah sekali (<i>extremely weak</i>)	<1		0

Rock Quality Designation (RQD)

Deere dkk (1970) mengusulkan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) untuk mengidentifikasi kelas masa batuan. RQD merupakan jumlah potongan cutting bor (coring) atau bor inti 10 cm atau lebih dibagi dengan panjang keseluruhan bor inti kemudian dikalikan 100%. Adapun rumusnya dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Rock Quality Designation (RQD)} = \left(\frac{\sum L_{c>10\text{cm}}}{L_t} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Dari persamaan (1) diperoleh nilai RQD yang kemudian dikelompokkan dan diberi bobot seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. Pembobotan nilai RQD

RQD (%)	Kualitas Batuan	Bobot
< 25	Sangat Jelek (<i>Very Poor</i>)	3
25 – 50	Jelek (<i>Poor</i>)	8
50 – 75	Sedang (<i>Fair</i>)	13
75 – 90	Baik (<i>Good</i>)	17
90 – 100	Sangat Baik (<i>Excellent</i>)	20

Tabel 4. Pembobotan Kondisi Kekar

Parameter	Rating					Hasil rating
	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	
Panjang diskontinuitas	6	4	2	1	0	6
Bukaan diskontinuitas	-	<0,1 mm	0,1-0,1 mm	1-5 mm	> 5 mm	1
	6	5	4	1	0	
Kekasaran diskontinuitas	Sangat kasar	Kasar	Sedikit kasar	Halus	Sliken-side	4
	6	5	4	1	0	
Material pengisi (infilling)	Tidak ada	Keras <5mm	Keras >5mm	Lunak <5mm	Lunak >5mm	6
	6	4	2	2	1	
Pelapukan	Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur	3
	6	5	3	1	0	
Jumlah						20

Jarak Antar Kekar

Jarak antar kekar diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran menggunakan meteran panjang. Kemudian jarak antar kekar diukur secara rinci dan dikelompokkan ke dalam tabel 3 berikut:

Tabel 3. Pembobotan jarak antar kekar

Deskripsi	Spasi Kekar (m)	Bobot
Sangat lebar (very wide)	>2	20
Lebar (wide)	0,6 – 2	15
Sedang (moderate)	0,2 – 0,6	10
Rapat (close)	0,006 – 0,2	8
Sangat rapat (very close)	<0,006	5

Kondisi Kekar

Kondisi kekar diukur menggunakan meteran sekaligus pengamatan visual. Parameter yang diukur adalah panjang diskontinuitas, bukaan diskontinuitas, kekasaran diskontinuitas, material pengisi, dan ringkat pelapukan. Hasil pengukuran dan pengamatan lapangan kemudian dikelompokkan dan dibobot menggunakan tabel 4.

Kondisi Air Tanah

tersebut kemudian di kelompokkan dan dibobot menggunakan tabel 5 berikut:

Kondisi air tanah diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan. Berdasarkan hasil pengamatan

Tabel 5. Pembobotan kondisi air tanah

Kondisi Umum	Kering	Lembab	Basah	Terdapat tetesan Air	Terdapat Aliran Air
Aliran/10 m panjang terowongan (liter/menit)	Tidak ada	< 10	10 – 25	25 – 125	>125
Tekanan air pada kekar maks	0	<0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
Bobot	15	10	7	4	0

Dari bobot kelima parameter diatas kemudian digabungkan semua menjadi total bobot kelas batuan (RMR). Dari pembobotan tersebut akan diketahui kelas

batuan dengan mengikuti tabel 6. Kemudian setelah diketahui kelas massa batuan, dapat mengartikan kelas kelompok massa batuan tersebut menggunakan tabel 7.

Tabel 6. Kelas batuan berdasarkan nilai bobot RMR

Kelas	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
No. Kelas	I	II	III	IV	V
Description	Batuan sangat baik	Batuan Baik	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat buruk

Tabel 7. Arti kelas massa batuan

Kelas	I	II	III	IV	V
Stand Up Time	20 th-15 m span	1 th-10 m span	1 mg-5 m span	10 jam-2,5 m span	30 menit- 1 m span
Cm (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
∅	>450	350-450	250-350	150-250	<150

Slake durability Tests

Slake durability Tests digunakan untuk mengetahui ketahanan ikatan antar material terhadap getaran atau deformasi yang terjadi baik dalam keadaan basah maupun kering. Slake durability Tests ini mengikuti standar ISRM.

$$I_{d1} = \frac{B - D}{A - D} \times 100\%$$

$$I_{d2} = \frac{C - D}{A - D} \times 100\%$$

(2)

Indeks Slake durability test diketahui dengan membandingkan berat setelah tes dengan sebelum tes dilakukan. Siklus ke-1 dan ke-2 dapat dilihat pada persamaan (2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Uniaxial Compressive Strength (UCS)

Berdasarkan hasil pengujian point load tests dengan diameter sampel 54mm, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 8. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai UCS tertinggi dari 10 sampel adalah 13 Mpa dan nilai UCS terendah 7 Mpa. Jika dirata-ratakan dari 10

sampel tersebut mendapatkan nilai UCS sebesar 0,63 Mpa.

Tabel 8. Hasil uji *point load tests*

Nomor Sampel	UCS (MPa)
Batubara 1	0,6
Batubara 2	0,5
Batubara 3	0,6
Batubara 4	0,7
Batubara 5	0,7
Batubara 6	0,8
Batubara 7	0,6
Batubara 8	0,6
Batubara 9	0,6
Batubara 10	0,6
Rata-rata	0,63

Jika nilai rata-rata UCS tersebut dimasukkan kedalam gambar komparasi klasifikasi batuan berdasarkan nilai UCS (Gambar 2), maka jenis batuan ini tergolong dalam jenis batuan yang lunak atau rapuk. Bobot RMR untuk kondisi seperti ini bernilai 0.

Hasil Pengujian *Rock Quality Designation* (RQD)

Berdasarkan dari hasil pemboran inti dan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (1) maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil uji *Rock Quality Designation* (RQD)

Jenis Batuan	Nomor Sampel	RQD (%)
Batubara	1	97,25
Batubara	2	90,58
Batubara	3	98,25
Batubara	4	98,25
Batubara	5	96,25
Batubara	6	97,53
Batubara	7	99,53
Batubara	8	95,25
Batubara	9	99,53
Batubara	10	98,53
Rata-rata		97,095

Dari hasil yang didapat pada tabel diatas diketahui bahwa terowongan yang merupakan lapisan batubara tergolong dalam kelas batuan yang baik dengan nilai bobot RMR 20. Nilai RQD tertinggi dengan nilai 99,53% dan rata-rata nilai RQD dari 10 sampel yang diujikan adalah 97,095%.

Jarak Diskontinuitas

Berdasarkan dari hasil pengukuran dilapangan diperoleh data jarak diskontinuitas batubara di dalam

terowongan rata-rata 34,4 cm. Jarak antar diskontinuitas terjauh adalah 78 cm dan jarak terdekatnya 10 cm (Tabel 10). Kondisi seperti ini memberikan bobot RMR bernilai 10.

Tabel 10. Jarak diskontinuitas batubara

No.	Kekar	Jarak (cm)
1.	1 ke 2	50
2.	2 ke 3	10
3.	3 ke 4	17
4.	4 ke 5	28
5.	5 ke 6	17
6.	6 ke 7	16
7.	7 ke 8	18
8.	8 ke 9	76
9.	9 ke 10	78
	Rata-rata	34,4

Kondisi Kekar

Untuk kondisi kekar pada lapisan batubara diperoleh data rata-rata presistensi 17,3 cm, aperture rata-rata 1,7 mm, gouge tidak ditemui, sedikit kasar, lapuk, dan kering. Kondisi seperti ini memberikan bobot RMR 20. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 11.

Kondisi Air Tanah

Dari hasil pengamatan di lapangan diketahui kondisi air tanah dalam kondisi kering. Maka dipastikan untuk kondisi air tanah mendapatkan rating RMR 15.

Klasifikasi Kelas Massa Batuan

Dari kelima parameter diatas diperoleh bobot total massa batuan sebagai berikut:

Tabel 12. Bobot *Rock Mass Rating* (RMR)

No.	Parameter	Bobot
1	UCS	0
2	RQD	20
3	Jarak Antar Kekar	10
4	Kondisi Kekar	20
5	Kondisi Air Tanah	15
	Bobot Total	65

Berdasarkan dari tabel diatas diketahui total bobot RMR batubara sebesar 65. Merujuk dari klasifikasi RMR (Bieniawski, 1984), batuan dengan total bobot 65 tergolong dalam batuan yang baik (kelas II).

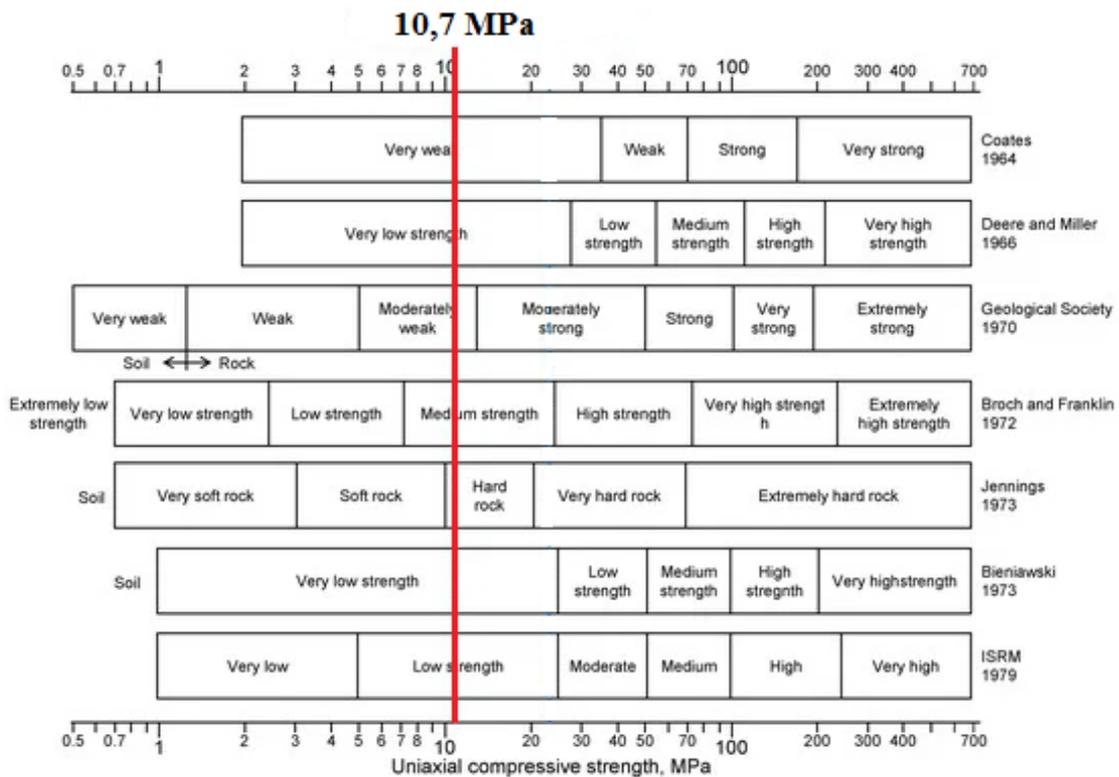
Dalam proses penggalian dan penyanggaan, batuan kelas II memiliki arti bahwa batuan tersebut mampu berdiri hingga 1 tahun tanpa penyanggaan dengan syarat nilai UCS diatas 400 kPa dan sudut geser dalam diatas 450 (Bieniawski, 1984).

Diketahuinya data RMR dan parameter-parameter yang diolah menggunakan software phase2 diperoleh hasil bahwa batubara yang merupakan batuan yang dilalui

terowongan mampu berdiri tanpa penyanggaan selama 1 tahun dengan jarak penyangga 10 meter.

Tabel 11. Kondisi Kekar Batubara

No.	Presistensi (cm)	Aperture (mm)	Gouge	Kekasaran	Pelapukan	Seepage
1	28	1	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
2	30	1	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
3	22	2	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
4	25	3	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
5	10	1	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
6	11	1	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
7	23	1	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
8	9	2	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
9	7	3	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
10	8	2	N/A	Sedikit Kasar	Lapuk	Kering
	17,3	1,7		rata-rata		



Gambar 2. Komparasi Klasifikasi Massa Batuan Berdasarkan Nilai UCS (Modifikasi Bieniawski, 1984)

Hasil Pengujian *Slake durability*

Hasil yang diperoleh dari pengujian *Slake durability* dengan 10 sampel dan pengujian masing-masing sampel sebanyak 4 kali dan menggunakan persamaan (2), maka diperoleh hasil seperti tabel 12.

Nilai dari pengujian *slake durability* dari pengujian pertama rata-rata 87,88%, pengujian kedua 75,7%, pengujian ketiga 67,82% dan pengujian keempat 62,99%. Data tersebut menunjukkan bahwa adanya penurunan daya tanah material terhadap jumlah pengujian.

Franklin (1972) dan Gamble (1971) merekomendasikan penggunaan nilai *slake durability* yang dipakai adalah nilai dari siklus kedua. Franklin dkk (1972) juga menyatakan jika nilai *slake durability* kedua harus lebih besar 0 sampai 10% dari nilai *slake durability* pertama. Hal ini menunjukkan jika kekuatan batuan atau matriks batuan saling mengikat (konvergen).

Sedangkan untuk batuan yang tidak terkonsolidasi digunakan nilai *slake durability* siklus ketiga. Pada siklus ketiga dan keempat akan menunjukkan hasil yang sangat berbeda terutama bagi material lapuk atau lunak dan

ikatan antar butir batuan tidak terkonsolidasi dengan baik. Semakin tinggi nilai *slake durability* maka semakin rendah nilai kuat tekan atau kohesi batuan tersebut.

Tabel 12. Hasil uji *Slake durability*

Nomor Sampel	<i>Slake durability</i> Index (%)			
	I _{d1}	I _{d2}	I _{d3}	I _{d4}
Batubara 1	87.8	74.1	68.1	61.4
Batubara 2	88.3	76.8	65.5	59.6
Batubara 3	90.6	74.5	69.1	67.6
Batubara 4	87.8	74.1	68.1	61.4
Batubara 5	88.3	76.8	65.5	59.6
Batubara 6	89.4	81.8	70.7	67.1
Batubara 7	90.6	76.7	72.5	70.3
Batubara 8	87.2	77.5	70.8	64.9
Batubara 9	89.4	78.1	67.9	61.8
Batubara 10	79.4	66.6	60	56.2
Rata-rata	87.88	75.7	67.82	62.99

Berdasarkan dari tabel 13 diperoleh bahwa nilai selisih hasil uji silksu pertama dan kedua adalah 12,18 dan 7,88. Melihat hasil tersebut sesuai dengan rujukan yang diungkapkan oleh Franklin dkk (1972) untuk menggunakan nilai pada siklus kedua. Pada siklus pertama dalam pengujian *slake durability* belum bisa menggambarkan tingkat pelapukan batuan karena dimungkinkan masih ada pengaruh dari pengotor atau asosiasi material yang menempel pada sampel. Sedangkan pada pengujian ketiga mendapatkan nilai 4,83.

Tabel 13. Hasil uji antar siklus *Slake durability*

Nomor Sampel	I _{d1} -I _{d2}	I _{d2} -I _{d3}	I _{d3} -I _{d4}
Batubara 1	13.7	6	6.7
Batubara 2	11.5	11.3	5.9
Batubara 3	16.1	5.4	1.5
Batubara 4	13.7	6	6.7
Batubara 5	11.5	11.3	5.9
Batubara 6	7.6	11.1	3.6
Batubara 7	13.9	4.2	2.2
Batubara 8	9.7	6.7	5.9
Batubara 9	11.3	10.2	6.1
Batubara 10	12.8	6.6	3.8
Rata-rata	12.18	7.88	4.83

Sebelumnya diperoleh data kuat tekan (UCS) sebesar 0,63 MPa. Nilai UCS tersebut diperoleh dari pengujian point load tests. Merujuk klasifikasi massa batuan berdasarkan ISRM (1979) mengelompokkan batuan ini dalam batuan lunak (low strength).

Merujuk usulan klasifikasi massa batuan berdasarkan nilai kekuatan ikatan matrik batuan (tabel 14), maka diketahui bahwa batuan yang diujikan tergolong dalam kelompok P-1. Sebelumnya telah diketahui *slake durability* (I_{d3}) rata-rata 67,82 dan UCS 0,63 MPa.

Kondisi aktual di terowongan memang tidak menunjukkan adanya air. Kondisi atap dan dinding terowongan dalam kondisi kering. Untuk goresan batuan sampel yang merupakan batubara mengalami goresan jika digores dengan paku atau pisau. Hal inilah yang mendukung jika batuan disini tergolong kelompok P-1.

Tabel 14. Usulan klasifikasi massa batuan pada batuan sedimen yang tidak terkonsolidasi (Ko, 2017)

Factor	P-1	P-2	P-3
	Cementation-Good	Cementation-Fair	Cementation-Poor
UCS (in matrix, MPa)	>5	1~5	0~1
Cementation	Combination between breccia and matix	Combination between breccia and matrix	Separation between breccia and matrix
Condition of tunnel surface	Scratched due to a hit of rock hammer, and no peeling off with a knife	Crushed by a hit of rock hammer, and peeling off with a knife	Pressed with a nail
Wet condition	Complete drying or with moisture	Wetting	Water drops fall
<i>Slake durability</i> index (I _{d3})	>60	<60	<60

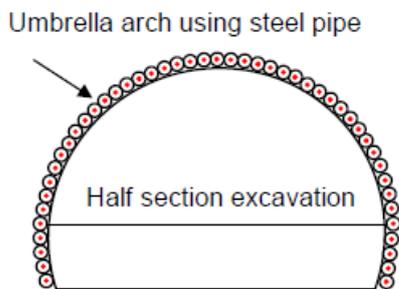
Tabel 15. Usulan sistem penyanggaan pada batuan sedimen yang tidak terkonsolidasi (Ko, 2017)

Types	P-1	P-2	P-3
Round length (m)	Upper: 1.2 m/1.2 m Lower: 1.2 m/1.2 m	Upper: 1.0 m/1.0 m Lower: 1.0 m/1.0 m	Upper: 0.8 m/0.8 m Lower: 0.8 m/0.8 m
Excavation method	Half section	Ring cut, Temporal invert	Ring cut, Temporal invert
Shotcrete	20 cm (steel fiber)	20 cm (steel fiber)	30 cm (steel fiber)
Rock bolt	-	-	-
Invert	-	Lower invert	Lower invert
Reinforcement method	Umbrella arch using steel pipe	Umbrella arch using large-diameter steel pipe, Elephant Foot, Foot Pile (c.t.c. 1.0 m, L = 5.0 m)	Umbrella arch using large-diameter steel pipe, Elephant Foot, Foot Pile (c.t.c. 0.8 m, L = 5.0 m)
UCS (in matrix, MPa)	>5	1~5	0~1
Slake durability index (I_{d3})	>60	<60	<60

Sistem Penguatan Terowongan

Berdasarkan dari hasil pengelompokan kelas massa batuan diatas (tabel 15), maka sistem pengutan terowongan yang dapat dilakukan adalah dengan penyemenan (shotcrete) setebal 20 cm dengan kombinasi wiremess (steel fiber). Dapat juga dilakukan penguatan dengan menggunakan penyanggan baja H-beam.

Sebaiknya dimensi atap terowongan melingkar diikuti dengan penyanggan baja yang dikombinasikan dengan kayu atau H-beam (Gambar 3). Pada proses kemajuan terowongan yang menggunakan sistem penyanggaan ini, dilakukan penggalian sebagian terlebih dahulu yaitu bagian atas kemudian dilanjutkan ke bagian bawah.



Gambar 3. Usulan Pola Penyanggan pada batuan sedimen yang tidak terkonsolidasi (Ko, 2017)

Kondisi Existing

Kondisi terowongan yang dijadikan tempat penelitian menggunakan sistem penyanggaan menggunakan penyanggan baja H-beam berbentuk melingkar pada bagian atas dengan kombinasi penggunaan kayu. Jarak

antar penyanggaan saat ini berkisar antara 3 hingga 5 meter.

Merujuk dari hasil pengamatan, pengujian, dan analisis data dapat dipastikan terowongan yang diteliti dalam kondisi stabil dan aman. Kondisi stabil ini diperoleh berdasarkan hasil pengujian dan sesuai dengan rujukan-rujukan penelitian sebelumnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengamatan lapangan, pengujian dan analisis data disimpulkan bahwa kondisi terowongan tambang batubara tergolong dalam kelas II yang tergolong dalam batuan kelas baik. Tingkat pelapukan batuan cukup rendah yaitu rata-rata 67.82% pada siklus ketiga.

Kondisi terowongan saat ini dalam kondisi stabil dan sistem penyanggaan yang dipakai sudah sesuai dengan kriteria kelas massa batuan. Sistem penyanggaan juga sesuai dengan rujukan penelitian sebelumnya dengan jarak antar penyangga sekitar 3 sampai 5 meter.

DAFTAR PUSTAKA

Bieniawski, Z.T. 1984. Rock Mechacnis Design in Mining and Tunneling; A.A. Balkema: Rotterdam, The Netherlands.
 Deere, D.U.; Peck, R.B.; Parker, H.W.; Monsees, J.E.; Schmidt, B. 1970. Design of tunnel support systems. In Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Highway Research Board, Washington, DC, USA, 12–16 January; Volume 339, pp. 26–33.

- Franklin, J.A.; Chandra, R. 1972. The slake-durability test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 9, 325–328.
- Gamble, J.C. 1971. Durability-Plasticity Classification of Shales and other Argillaceous Rocks. Ph.D. Thesis, University of Illinois, Champaign, IL, USA.
- International Society for Rock Mechanics. 1981. Rock Characterization, Testing & Monitoring: ISRM Suggested Methods, 1st ed.; Brown, E.T., Ed.; Pergamon Press: Oxford, UK; pp. 30–33.
- Ko j., Sangseom j. 2017. A Study on Rock Mass Classifications and Tunnel Support Systems in Unconsolidated Sedimentary Rock. *Sustainability* 9 573. doi:10.3390/su9040573
- Rai, Made Astawa. 2011. *Mekanika Batuan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rehman, H., Naji A. M., Kim J., Yoo H. 2018. Empirical Evaluation of Rock Mass Rating and Tunneling Quality Index Sistem for Tunnel Support Design. *Applied Science* 8, 782; doi:10.3390/app8050782