

# Analisis Kestabilan *Tunnel* Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Batubara Bawah Tanah Metoda *Room and Pillar* PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ) Sawahlunto

Muhammad Deno Akbar<sup>1,\*</sup>, Bambang Heriyadi<sup>1</sup>, Ansosry<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

\*mdenoakbar@gmail.com  
bambangh@ft.unp.ac.id  
osh5161@ft.unp.ac.id

**Abstract.** Excavation of tunnels in underground mines is quite a complex job, because it will give a change in balance from rock conditions that can be failure. This research was conducted to determine rock strength, rock mass class, and open hole stability based on the potential of wedge debris by estimating the Safety Factor (FS) value of the planned tunnel. Based on the RMR-System method, the value for coal is 49 points, where this rock is included in class III (fair rock) with maximum stand up time is 310 hours ( $\pm 13$  days) for 3m of span. The results of the RMR ground support recommends using Rock bolt with a diameter of 20 mm, fully grouted length 4 m, and spacing 1.5-2 m. Another alternative is to use a Class V wooden stand. Based on the results, the value of safety factor (FS) on the roof (siltstone) is 1,944, FS on the left wall (Coal) is 1,346, and the right wall (Coal) is 4,067. From the results of rock reinforcement using the RMR-System ground support recommendations, the result is an increase in the Safety Factor (FS) value from the value of 1,346 to 2,377 so that the wedge is more stable.

**Keywords:** Tunnel, Safety Factor (FS), RMR System, Stand-Up Time, Ground Support.

## 1 Pendahuluan

Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang<sup>[1]</sup>.

PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ) merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang menggunakan sistem tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Sangat diperlukan analisis geoteknik yang baik agar dapat memberikan perlakuan yang tepat terhadap batuan yang dibongkar.

Segala aktivitas penambangan bawah tanah dilakukan dengan membuat lubang bukaan, baik lubang bukaan

produksi maupun pengembangan. Lubang bukaan dibuat dengan menjaga kestabilannya agar aman bagi pekerja dan peralatan tambang. Hal tersebut akan mempengaruhi produksi karena terhindar dari kerugian, seperti terjadinya runtuh<sup>[2]</sup>.

Pada proses penambangannya, PT. AICJ menggunakan metode *room and pillar*, yaitu penambangan yang dilakukan dengan membuat ruang dan menyisakan pilar-pilar untuk mencegah keruntuhan atap dan *subsidence* (penurunan permukaan tanah). Untuk meningkatkan *recovery*, pengembangan metode ini dilakukan dengan menambang sebagian pilar batubara pada area yang sudah selesai dibuat blok-blok dengan arah penggalian mundur (*retreated mining*). Penerapan metode ini memberikan tingkat perolehan batubara yang lebih tinggi, namun potensi terjadinya *failure* akan meningkat dan akan mempengaruhi kestabilan lubang bukaan.

Sistem penyanggaan yang ada sekarang menggunakan penyangga baja I-Beam dengan jarak antar tiang

penyangga 1,2 m. Sistem penyanggaan dipasang tanpa mempertimbangkan karakteristik massa batuan, sehingga tidak diketahui berapa nilai dari FK lubang bukaan tersebut.

Selain itu, di beberapa lokasi banyak ditemukan bidang lemah batuan yang potensi menyebabkan longsoran baji. Hal tersebut mengindikasikan terjadinya perubahan tegangan yang cukup signifikan di sekitar lubang bukaan dan pilar batubara.

## 2 Tinjauan Pustaka

### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Tambang Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya (PT.AICJ) yang terletak di Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Penelitian akan difokuskan pada area rencana pembuatan *tunnel* baru.



Gambar 1. Peta Rencana Pembuatan *Tunnel* Baru<sup>[3]</sup>

### 2.2 Sistem Rock Mass Rating (RMR)

*Rock Mass Rating* atau dikenal dengan *Geomechanics Classification* dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1989. Metode klasifikasi ini dengan menggunakan rating yang besarnya didasarkan pada pengalaman Bieniawski dalam mengerjakan proyek-proyek terowongan dangkal.

Metode ini telah dikenal luas dan banyak diaplikasikan pada keadaan dan lokasi yang berbeda-beda seperti tambang pada batuan kuat, terowongan, tambang batubara, kestabilan lereng, dan kestabilan pondasi.

Metode ini dikembangkan selama bertahun-tahun seiring dengan berkembangnya studi kasus yang tersedia dan disesuaikan dengan standar dan prosedur yang berlaku secara internasional<sup>[4]</sup>.

#### 2.2.1 Kuat Tekan Batuan Utuh

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan *Point Load Test* (PLI). Tujuan uji kuat tekan adalah untuk mengukur nilai kuat tekan sebuah sampel batuan dalam geometri yang beraturan, baik dalam bentuk silinder (tabung), balok atau tidak beraturan, sesuai dengan standar yang ada.

#### 2.2.2 Rock Quality Design (RQD)

Perhitungan nilai RQD bisa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik perlapisan batuan maupun kekar atau sesar) dengan persamaan sebagai berikut :

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad [5] \quad (3)$$

\* $\lambda$  adalah rasio antara jumlah kekar dengan panjang scanline (kekar/meter).

#### 2.2.3 Spasi Diskontinuitas

Spasi bidang diskontinuitas didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang.

#### 2.2.4 Kondisi bidang diskontinu

Kondisi bidang diskontinu dapat diperkirakan dengan mengamati beberapa parameter, diantaranya :

- Kemenerusan (*Persistence/Continuity*)
- Bukaan/rekahan (*separation/aperture*)
- Kekasaran permukaan bidang diskontinu (*roughness*)
- Material pengisi (*Infilling /gouge*)
- Pelapukan (*weathering*)

#### 2.2.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah ditentukan dengan mengamati atap dan dinding terowongan secara visual. Kemudian kondisi air tanah yang ditemukan dapat dinyatakan sebagai keadaan umum seperti kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), terdapat tetesan air (*dripping*), atau terdapat aliran air (*flowing*).

#### 2.2.5 Koreksi dilakukan bila diperlukan untuk orientasi diskontinuitas/ kekar

Koreksi RMR dasar selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinu yang ada pada lokasi tersebut. Arah umum bidang diskontinu merupakan kedudukan relatif dari bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan terowongan.

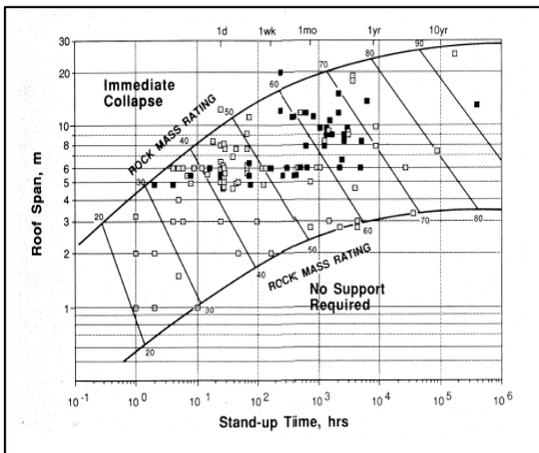
### 2.3 Sistem Penyanggaan berdasarkan Klasifikasi Rock Mass Rating

RMR dapat digunakan sebagai panduan memilih sistem penguatan atau penyanggaan terowongan. Panduan ini tergantung pada beberapa faktor seperti kedalaman terowongan dari permukaan, ukuran dan bentuk terowongan, serta metode penggalian yang dipakai<sup>[4]</sup>.

#### 2.3.1 Perhitungan Stand-Up Time

Dalam penentuan kestabilan lubang bukaan dapat ditentukan menggunakan *stand up time* dan nilai RMR menggunakan grafik *span* seperti pada Gambar 2. Keakuratan dari *stand-up time* ini menjadi diragukan karena nilainya sangat dipengaruhi oleh penggalian, ketahanan terhadap pelapukan, dan kondisi tegangan *in-situ* yang merupakan parameter-parameter penting yang tidak tercakup dalam metode klasifikasi RMR. Oleh karena itu grafik ini hanya dijadikan sebagai perbandingan semata.

Menurut Laufer (1958), lebar terowongan tanpa penyangga (*left span*) didefinisikan sebagai lebar terowongan atau jarak antara muka dan posisi terdekat dengan penyangga, jika jarak tersebut lebih panjang dari lebar terowongan. Selain *left span*, terdapat waktu runtuh batuan (*stand up time*) yang merupakan rentang waktu lamanya massa batuan di atap lubang bukaan tidak runtuh (lubang bukaan tetap dalam keadaan stabil) meski tanpa pemasangan penyangga, setelah penyanggaan, maupun waktu pemasangan. Apabila waktu runtuh batuan terlampaui, maka batuan akan runtuh jika tidak segera dipasang penyangga<sup>[6]</sup>.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Stand-up Time dengan Span berdasarkan Nilai RMR<sup>[4]</sup>

#### 2.3.2 Rekomendasi Sistem Penyanggaan

Rekomendasi sistem penyanggan/ penguatan massa batuan dapat menentukan seberapa panjang terowongan yang aman tanpa disangga dengan waktu swasangganya. Selain itu, Bieniewski juga menentukan jenis, diameter, dan panjang dari baut batuan (*rockbolt*), jejaring besi (*steel set*), beton tembak (*shotcrete*), dan beton cor (*concrete*), seperti dijelaskan pada tabel di bawah.

Tabel 1. Pedoman untuk Penggalian dan Penyanggaan Terowongan dengan Klasifikasi RMR-sistem<sup>[7]</sup>

Kelas RMR	Metode Penggalian	Baut Batuan (diameter 20 mm, fully grouted)	Beton Tembak	Stell Set
I	Full face, dengan kemajuan 3 m.	Secara umum tidak membutuhkan penyangga		
II	Full face, dengan kemajuan 1.5 - 3 m. Pemasangan penyang-gaan penuh 20 m dari face	Baut batuan pada atap panjang 3 m, spasi 2.5 m, dengan penambahan wire mash	50 mm pada atap	Tidak Dibutuhkan
III	Top heading and bench 1.5 - 3 m kemajuan pada top heading, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1.5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mash	50 - 100 mm pada atap, dan 30 mm pada dinding	Tidak Dibutuhkan
IV	Top heading and bench 1 - 1.5 m kemajuan pada top heading. Penyanggaan sesegera pada saat penggalian. Penyanggaan penuh 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mash	100 - 150 mm pada atap, 100 mm pada dinding.	Ringan s/d medium dengan spasi 1.5 m
V	Multiple drift kemajuan 0.5 - 1.5m pada top heading. Pemasangan penyangga sesegera mungkin pada saat penggalian. Beton tembak sesegera mungkin setelah peledakan	Baut batuan panjang 5 - 6 m spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mash	150 - 200 mm pada atap, 150 mm pada dinding, 50 mm pada face	Medium s/d berat sengan spasi 0.75 m. Forepolling jika dianggap perlu

### 3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 17 Juni s/d 15 Juli 2019. Lokasi penelitian di PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ), Sawahlunto.

#### 3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan atau *applied research* dilakukan berkenaan dengan kenyataan-kenyataan praktis, penerapan, dan pengembangan ilmu pengetahuan yang dihasilkan oleh penelitian dasar dalam kehidupan nyata. Penelitian terapan berfungsi untuk mencari solusi tentang masalah-masalah tertentu, tujuan utamanya adalah pemecah masalah sehingga hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia baik secara individu atau kelompok maupun keperluan industri atau politik dan bukan untuk wawasan keilmuan semata<sup>[8]</sup>.

#### 3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi. Data yang dikumpulkan dari lapangan berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat langsung di lapangan, seperti data dimensi rencana lubang bukaan, kondisi struktur geologi umum seperti : *Strike and dip* perlapisan batubara, *dip and dip direction* kekar, spasi, panjang, dan lebar kekar diukur menggunakan meteran. Kondisi, isian, dan kekasaran kekar diamati langsung secara megaskopis.

Sedangkan data data sekunder diperoleh dari studi literatur maupun dari Pusat Informasi yang ada pada bagian *mine planning* di perusahaan. Adapun data tersebut meliputi : data batas IUP perusahaan, data geologi lokasi penambangan, data litologi perlapisan batubara, data kualitas batubara, *layout* penambangan bawah tanah, geometri perencanaan tambang bawah tanah, dan data *log bor*.

### 3.3 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan perencanaan awal. Penelitian ini terdiri atas beberapa variabel yang saling berhubungan, sehingga proses pengolahan data dilakukan secara runut dari awal sampai akhir.

Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan yaitu penentuan sifat fisik dan mekanik batuan, menentukan klasifikasi massa batuan pada lokasi penambangan, menentukan arah orientasi kekar menggunakan *software* Dips, analisis *Rock Mass Rating (RMR-System)*, analisis nilai *span* dan *stand-up time* berdasarkan grafik, pemodelan dan analisis kestabilan *tunnel* menggunakan *software* Unwedge, dan evaluasi teknis penambangan berupa rekomendasi penyangga yang sesuai dengan hasil analisis data.

**Tabel 1.** Ringkasan *Rock Mass Rating System*<sup>4,91</sup>

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. Strength	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (see E)		Very rough surfaces Not continuous No spation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Highly weathered walls	Slickside surfaces or Gauge < 5mm thick or Separation 1-5 mm continuous	Split gauge > 5 mm thick Or Separation > 5 mm continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m Tunnel length (l/m)	None	< 10	10-25	25-125	> 125		
		(Joint water press)/ (Mayor principal $\sigma$ )	0	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		General Conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable		
Rating	Tunnels and mines		0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations		0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes		0	-5	-25	-30			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100-81	80-61	60-41	40-21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300-400	200-300	100-200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35-45	23-35	15-25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)			< 1m	1-3 m	3-10	10-20	> 20 m		
Rating			6	4	2	1	0		
Separation (aperture)			None	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5		
Rating			5	5	4	1	0		
Roughness			Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slicksided		
Rating			6	5	3	1	0		
Infilling (gauge)			None	Hard filling<4mm	Hard filling > 5mm	Soft filling<5mm	Soft filling>5mm		
Rating			6	4	2	2	0		
Weathering			Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Rating			6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis None					Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip-Dip 45-90°			Drive with dip-Dip 20-45°		Dip 45-90°		Dip 20-45°		
Very favourable			Favourable		Very unfavourable		Fair		
Drive against dip-Dip 45-90°			Drive against dip-Dip 20-45°		Dip 0-20 – Irrespective of strike°				
Fair			Unfavourable		Fair				

## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data

#### 4.1.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada area rencana pembuatan *tunnel* baru yang terdapat pada lapisan batubara seam B1. Arah *strike and dip* per lapisan batubara (*Seam B1*) adalah N 190 E / 130. Lubang bukaan baru direncanakan dengan dimensi berbentuk trapesium dengan ukuran lebar bawah 3 m, lebar atas 2,5 m, dan tinggi 2,5 m.

#### 4.1.2 Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Utuh

##### 4.1.2.1 Uji Sifat Fisik

Penentuan sifat fisik batuan utuh dilakukan dengan cara penimbangan berat sampel batuan (*coal* dan *siltstone*) berbentuk irregular. Sebanyak masing-masing 5 buah sampel ditimbang menggunakan neraca dengan ketelitian pengukuran 0,01 gram.

**Tabel 3.** Data Pengujian Sifat Fisik Sampel Batuan

Material	Sampel	W <sub>n</sub> (gr)	W <sub>w</sub> (gr)	W <sub>s</sub> (gr)	W <sub>o</sub> (gr)
Coal	1	46,46	52,03	16,23	44,62
	2	39,75	44,429	13,84	38,29
	3	63,82	71,148	21,03	61,27
	4	42,10	47,542	14,94	40,77
	5	46,10	51,491	15,96	45,73
Siltstone	1	134,97	135,40	82,76	133,60
	2	130,04	131,32	79,22	127,58
	3	113,08	114,09	68,76	111,16
	4	125,59	126,13	77,94	124,15
	5	129,73	130,07	79,32	127,59

##### 4.1.2.2 Uji Sifat Mekanik

###### 4.1.2.2.1 Point Load Test

Uji *Point Load* atau pengujian beban titik merupakan uji mekanika batuan yang digunakan untuk memprediksi nilai batuan secara langsung di lapangan. Pengujian ini paling sering digunakan karena mudah dalam persiapan maupun pengujiannya. Adapun sampel yang digunakan dapat berbentuk silinder maupun berbentuk tidak beraturan sesuai dengan persyaratan sampel yang ada.

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat penekan *Point Load*, dimana percontoh batuan ditekan diantara 2 konus penekan pada satu arah garis lurus. Dari uji ini didapatkan nilai *Point Load Index* (IS) yang akan menjadi patokan untuk mendapatkan nilai kuat tekan batuan ( $\sigma_c$ ).

**Tabel 4.** Hasil Pengujian *Point Load - Test* Sampel Batuan

Material	Sampel	D (cm)	L (cm)	P (MPa)
Coal	1	5	5,1	0,31
	2	5	5	0,28
	3	5,1	5	0,40
Rata-rata				0,33
Siltstone	Axial 1	5,44	5,85	1,09
	Axial 2	5,42	5,9	1,32
	Diametrikal 1	5,44	8,16	1,32
	Diametrikal 2	5,40	7,94	1,20
Rata-rata				1,23

###### 4.1.2.2.2 Uniaxial Compression Strength Test

*Uniaxial compression strength* (UCS) adalah salah satu parameter umum yang diperlukan dalam hampir semua metode klasifikasi batuan yang ada.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian UCS

Material	Sampel	D (cm)	h (cm)	Bacaan Alat	P (KN)
Siltstone	U 1	5,40	10,80	1,913	58,77
	U 2	5,43	11,30	2,210	68,75
	U 3	5,45	10,93	1,810	54,85

##### 4.1.3 Pemetaan Bidang Diskontinuitas

Pengamatan bidang diskontinuitas dilakukan secara langsung di lapangan pada area rencana pembuatan *tunnel* baru. Pemetaan kekar dilakukan dengan cara membuat *scanline horizontal* sepanjang 10 m pada singkapan batubara dan 7 m pada singkapan *siltstone* di area yang akan dibuat *tunnel* baru.

Pengambilan data yaitu dengan mengukur langsung parameter kekar dengan alat bantu kompas dan meteran serta pengamatan langsung di lapangan.

**Tabel 6.** Hasil Pengamatan Bidang Kekar Pada Lapisan Batubara di Area Rencana Pembuatan *Tunnel*

No	Strike (N_E)	Dip (°)	Dip direction	Spasi (cm)	Persistence (m)	Pelapukan	Lebar Rongga (mm)	Pengisi	σ	Kondisi Air tanah
1	326	86	56	0	0,65	Tidak Melapuk	2	None	5	kering
2	332	81	62	11	0,47	sedikit lapuk	3	Clay		kering
3	145	47	235	18	0,37	Tidak Melapuk	1	None		kering
4	335	80	65	19	0,67	Tidak Melapuk	2	None		lembab
5	331	74	421	7	0,49	Tidak Melapuk	2	None		lembab
6	351	73	81	0	0,34	Tidak Melapuk	3	Clay	4	kering
7	330	74	60	13	0,28	Tidak Melapuk	1	None		kering
8	342	75	432	19	0,35	Tidak Melapuk	1	None		kering
9	341	82	71	9	0,21	sedikit lapuk	1	None		kering
10	343	74	73	0	0,35	Tidak Melapuk	1	None	2	kering
11	339	76	69	37	0,17	Tidak Melapuk	1	None		kering
12	351	71	441	0	0,3	Tidak Melapuk	1	None	3	kering
13	352	56	82	15	0,19	Tidak Melapuk	1	None		kering
14	3	65	93	40	0,47	sedikit lapuk	3	Clay		lembab
15	330	23	60	0	0,7	Tidak Melapuk	1	None	2	kering
16	341	74	71	50	0,34	Tidak Melapuk	1	None		kering
17	339	17	69	0	0,5	sedikit lapuk	1	None	2	lembab
18	165	58	255	60	0,38	Tidak Melapuk	1	None		kering
19	341	75	71	0	0,57	Tidak Melapuk	1	None	3	kering
20	343	72	73	14	0,46	Tidak Melapuk	1	None		kering
21	340	83	70	47	0,32	Tidak Melapuk	1	None		kering
22	327	79	57	0	0,37	Tidak Melapuk	2	Clay	4	lembab
23	325	29	55	61	0,7	Tidak Melapuk	1	None		kering
24	326	32	56	16	0,27	Tidak Melapuk	1	None		kering
25	330	42	60	13	0,44	Tidak Melapuk	1	None		kering
26	177	62	267	35	0,17	sedikit lapuk	1	None	2	lembab
27	337	45	67	23	0,41	Tidak Melapuk	1	None		kering
28	356	56	86	0	0,31	Tidak Melapuk	1	None	3	kering
29	6	65	96	11	0,21	Tidak Melapuk	1	None		kering
30	350	58	80	20	0,48	Tidak Melapuk	3	Clay		kering

**Tabel 7.** Hasil Pengamatan Bidang Kekar Pada Lapisan *Siltstone* di Area Rencana Pembuatan Tunnel

No.	Strike (N_E)	Dip (°)	Dip direction	Spasi (cm)	Persistence (m)	Pelapukan	Lebar Rongga (mm)	Pengisi	σ	Kondisi Air tanah
1	165	69	255	0	0,35	Tidak Melapuk	2	None	2	kering
2	163	73	253	56	0,25	sedikit lapuk	2	None		kering
3	6	80	96	48	0,31	Tidak Melapuk	1	None	2	kering
4	213	66	303	61	0,58	sedikit lapuk	1	None		lembab
5	29	78	119	27	0,27	sedikit lapuk	1	None	2	lembab
6	144	84	234	73	0,85	Tidak Melapuk	1	None		kering
7	157	87	247	46	0,56	Tidak Melapuk	1	None	4	kering
8	156	84	246	10	0,77	sedikit lapuk	1	None		lembab
9	28	68	118	22	0,53	sedikit lapuk	1	None		lembab
10	33	87	123	18	0,29	Tidak Melapuk	2	None		kering
11	44	72	134	46	0,33	Tidak Melapuk	1	None	4	kering
12	22	58	112	17	0,91	Tidak Melapuk	1	None		kering
13	9	42	99	35	0,63	sedikit lapuk	2	None		lembab
14	339	47	69	24	0,27	Tidak Melapuk	1	None		kering
15	18	74	108	54	0,35	Tidak Melapuk	1	None	3	kering
16	192	75	282	20	0,57	Tidak Melapuk	2	None		kering
17	61	86	151	39	0,7	sedikit lapuk	1	None		lembab
18	322	55	52	45	0,81	Tidak Melapuk	1	None	3	kering
19	183	35	273	28	0,56	Tidak Melapuk	1	None		kering
20	18	77	108	32	0,23	Tidak Melapuk	1	None		kering

## 4.2 Hasil Analisis dan Pembahasan

### 4.2.1 Uji Sifat Fisik

Uji sifat fisik batuan dilakukan untuk mendapatkan karakteristik fisik contoh batuan, dan dilakukan dengan melakukan penimbangan contoh batuan dalam kondisi natural, jenuh, dan kering, serta penimbangan contoh batuan jenuh dalam kondisi tergantung di dalam air<sup>[7]</sup>.

**Tabel 8.** Nilai Rata-rata Sifat Fisik Batuan

No.	Parameter	Coal	Siltstone
1	Bobot isi asli (gr/cm <sup>3</sup> )	1,292	2,543
2	Bobot isi kering (gr/cm <sup>3</sup> )	1,252	2,506
3	Bobot isi jenuh (gr/cm <sup>3</sup> )	1,447	2,558
4	Berat jenis semu	1,252	2,506
5	Berat jenis asli	1,555	2,644
6	Kadar air asli (%)	3,234	1,504
7	Kadar air jenuh (%)	15,594	2,091
8	Derajat kejenuhan (%)	20,098	73,287
9	Porositas (n)	4,024	3,753
10	Angka pori (e)	0,049	0,039

### 4.2.2 Uji Sifat Mekanik

Uji sifat mekanik dilakukan untuk mendapatkan karakteristik mekanik contoh batuan, khususnya kekuatannya terhadap tekanan, tahik, dan geseran, yang merupakan bentuk beban yang sering dialami massa batuan pada konstruksi bawah tanah. Selain itu, uji sifat mekanik dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik deformabilitas contoh batuan<sup>[7]</sup>.

**Tabel 9.** Hasil Analisis Pengujian Kuat Tekan Batuan *Siltstone*

Material	Sam-pel	D (cm)	Bacaan Alat	P (KN)	P (Kg)	σc (kg/cm <sup>2</sup> )	σc (MPa)
<i>Siltstone</i>	U 1	5,40	1,913	58,77	5992,19	261,78	25,65
	U 2	5,43	2,210	68,75	7009,75	302,85	29,68
	U 3	5,45	1,810	54,85	5592,51	244,31	23,94
<b>Rata-rata</b>						<b>269,65</b>	<b>26,43</b>

Nilai kuat tekan batuan ( $\sigma_c$ ) untuk lapisan batubara didapatkan melalui pendekatan dengan nilai *Point Load Index* (IS). Berdasarkan nilai hasil pengujian PLI dan UCS sampel *siltstone* maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\text{Nilai UCS} : \text{Nilai PLI} = \text{Faktor Pengali}$$

$$26,43 : 1,23 = 21,49$$

Sehingga

$$\sigma_c = 21,49 \times \text{Is} \quad (2)$$

Berikut adalah hasil analisis uji *Point Load Index* (PLI) untuk mendapatkan nilai kuat tekan uniaksial batuan (UCS).

**Tabel 10.** Hasil Perhitungan Nilai Kuat Tekan Uniaksial Batubara

Material	Sampel	D	L	Is	σc
		(cm)	(cm)	(MPa)	(MPa)
Coal	1	5	5,1	0,31	6,66
	2	5	5	0,28	6,02
	3	5,1	5	0,40	8,60
<b>Rata-rata</b>				<b>0,33</b>	<b>7,09</b>

### 4.2.3 Klasifikasi Massa Batuan (RMR-System)

Nilai RMR adalah penjumlahan total dari bobot kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength*), *Rock Quality Designation* (RQD), spasi diskontinuitas, keadaan diskontinuitas, keadaan air tanah dan orientasi diskontinuitas. Bobot masing-masing parameter RMR diperoleh dari tabel ringkasan *rock mass rating system*. Bobot yang digunakan adalah berdasarkan nilai ataupun kondisi parameter<sup>[10]</sup>.

Sistem klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) telah dimodifikasi berulang kali begitu informasi baru dari studi-studi kasus diperoleh dan menjadikannya sesuai dengan standar dan prosedur internasional<sup>[11]</sup>.

#### 4.2.3.1 Nilai Kekuatan Massa Batuan

Berdasarkan data hasil pengujian laboratorium yang telah dilaksanakan pada tanggal 30 Juni - 1 Juli 2019 di Laboratorium Tambang Jurusan Teknik Pertambangan UNP, maka diketahui bahwa nilai kuat tekan massa batuan pada lokasi rencana pembuatan tunnel cukup bervariasi akan tetapi masih dalam rating yang sama pada pengklasifikasian RMR-System.

Pengujian kuat tekan batuan utuh menggunakan alat UCS manual juga dilakukan sebagai pembandingan terhadap nilai PLI, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai kuat tekan rata-rata dari 3 buah sampel *siltstone* sebesar 26,43 MPa.

Pada penelitian ini penulis menggunakan data *real* hasil pengujian UCS langsung untuk material *siltstone* sedangkan untuk material batubara menggunakan data hasil pendekatan. Berdasarkan persamaan nomor (2) maka diperoleh nilai kuat tekan batubara adalah sebesar 7,09 MPa.

Selanjutnya nilai kuat tekan massa batuan tersebut di cocokkan dengan Tabel 1, maka diperoleh nilai bobot 2 poin untuk batubara dan nilai bobot 4 poin untuk *siltstone*.

#### 4.2.3.2 Nilai Rock Quality Designation (RQD)

Perhitungan nilai RQD dilakukan dengan cara menghitung jumlah rata-rata kekar per meter dengan membuat *scan-line* dengan panjang lintasan 10 meter untuk lapisan batubara dan 7 meter untuk lapisan *siltstone*. Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh persentase rata-rata nilai RQD material area rencana pembuatan tunnel sebagai berikut.

**Tabel 11.** Hasil Perhitungan RQD Batubara

No	Rata-rata spasi per meter (m)	$\Delta$	RQD (%)
1	0,110	9,09	76,92
2	0,102	9,76	74,47
3	0,185	5,41	89,73
4	0,183	5,45	89,57
5	0,250	4,00	93,84
6	0,300	3,33	95,54
7	0,203	4,92	91,23
8	0,225	4,44	92,61
9	0,290	3,45	95,26
10	0,103	9,68	74,76
Rata-rata			87,39

**Tabel 12.** Hasil Perhitungan RQD *Siltstone*

No	Rata-rata spasi per meter (m)	$\Delta$	RQD (%)
1	0,280	3,57	94,96
2	0,545	1,83	98,51
3	0,500	2,00	98,25
4	0,240	4,17	93,39
5	0,305	3,28	95,67
6	0,377	2,65	97,04
7	0,350	2,86	96,62
Rata-rata			96,34

Dari hasil pemetaan geoteknik dan pengolahan data RQD yang telah dilakukan maka diperoleh nilai RQD rata-rata batubara pada lokasi penelitian adalah sebesar 87,39% dan RQD rata-rata *siltstone* sebesar 96,34%. Untuk pembobotan, penulis mengambil nilai RQD terkecil batubara yaitu 74,47% sehingga diperoleh bobot sebesar 13 poin. Sedangkan untuk batuan *siltstone* RQD terkecilnya yaitu 93,39% sehingga diperoleh bobot sebesar 20 poin.

#### 4.2.3.3 Data Spasi Bidang Diskontinu

Setelah dilakukan pengolahan data spasi bidang diskontinuitas diperoleh jarak rata-rata antar kekar pada

batubara adalah 179,33 mm, kemudian dicocokkan dengan tabel 14, maka nilai tersebut masuk kedalam kelompok 60-200 mm dengan nilai bobot sebesar 8 poin. Sedangkan untuk batuan *siltstone* jarak kekar rata-rata adalah 350,5 mm sehingga termasuk dalam kategori 200-600 mm dengan bobot nilai 10 poin.

#### 4.2.3.4 Data Kondisi Bidang Diskontinu

Dari hasil pemetaan geoteknik yang telah dilakukan, diperoleh informasi bahwa pada lokasi penelitian memiliki panjang kekar rata-rata <1 meter dengan lebar bukaan berkisar 1-5 milimeter. Tingkat kekasaran bidang diskontinuitas berada pada kelas kasar.

Untuk isian (*gouge*), saat pengujian melakukan pengamatan langsung di lapangan, rata-rata kekar yang pengujian temukan tidak terisi material lain. Pelapukan batuan tergolong kategori tidak lapuk. Maka berdasarkan tabel pembobotan RMR-System, untuk kondisi bidang diskontinu diperoleh bobot sebesar 24 poin.

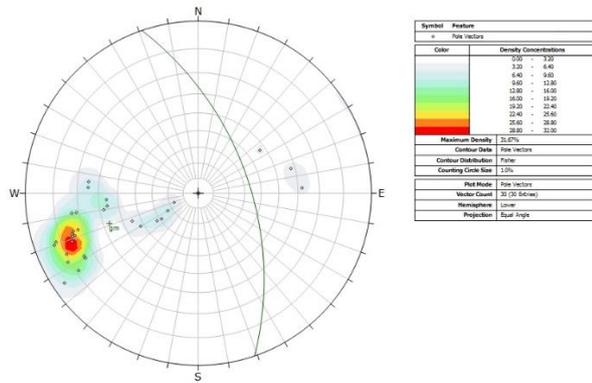
#### 4.2.3.5 Kondisi Air Tanah

Pada penelitian ini kondisi air tanah diamati langsung secara visual. Berdasarkan hasil pengamatan dapat disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada area penelitian digolongkan kering, sehingga untuk pembobotan RMR-System mendapatkan bobot sebesar 15 poin.

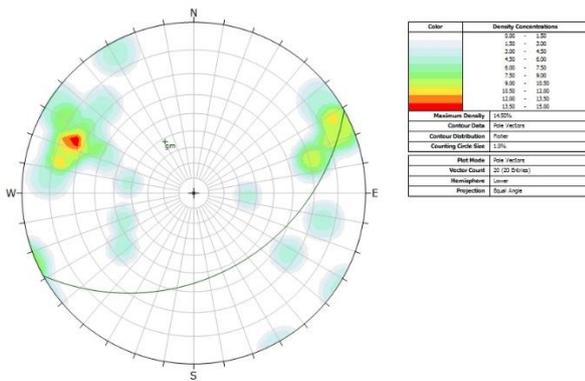
#### 4.2.3.6 Orientasi Bidang Diskontinu

Orientasi *strike and dip* pada bidang diskontinu merupakan kedudukan relatif dari suatu bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan lubang bukaan. Dalam menentukan arah *strike and dip* peneliti menggunakan bantuan kompas geologi. Pada penelitian ini, penentuan arah umum orientasi *strike and dip* untuk setiap *join set* penulis menggunakan *software dips* dari *roccience*.

Penyesuaian orientasi kekar setelah diolah dengan *software dips* V:6.008 diketahui arah kekar dominan pada lapisan batubara yaitu N347°E dengan nilai *dip* rata-rata sebesar 57° dan arah kekar dominan *siltstone* yaitu N61°E dengan rata-rata *dip* sebesar 38°, sedangkan arah rencana lubang bukaan adalah N10°E/13°. Hal ini berarti arah kekar searah dengan arah rencana lubang bukaan. Berdasarkan Tabel 1, jurus dengan kemiringan 45-90° tergolong ke kondisi sangat tidak menguntungkan (*very unfavourable*) untuk batubara dengan bobot -12 poin. Sedangkan untuk lapisan *siltstone* adalah sedang dengan bobot -5 poin.



Gambar 3. Arah Kekar Dominan Batubara (N347°E/57°)



Gambar 4. Arah Kekar Dominan Siltstone (N61°E/38°)

#### 4.2.3.7 Pembobotan Berdasarkan RMR-System

Untuk menentukan nilai parameter-parameter yang akan digunakan pada perhitungan RMR dilakukan perhitungan statistik sebagai berikut.

Tabel 13. Hasil Klasifikasi Massa Batuan (RMR-System)

Parameter	Nilai Batubara	Nilai Siltstone	Bobot Batubara	Bobot Siltstone
Kuat Tekan (Point Load)	7,09	26,43	2	4
RQD (%)	74,47	96,34	13	20
Spasi (mm)	60-200 mm	200-600 mm	8	10
<b>Kondisi Discontinuitas</b>				
1. Persistence (m)	<1m	<1m	6	6
2. Lebar Rongga (mm)	1-5 mm	1-5 mm	1	1
3. Kekasaran Kekar	Kasar	Kasar	5	5
4. Material Pengisi	Tidak Ada	Tidak Ada	6	6
5. Pelapukan	Sedikit Lapuk	Tidak Lapuk	5	6
<b>Kondisi Air</b>				
Kondisi Air	Kering	Kering	15	15
<b>Orientasi kekar</b>				
Orientasi kekar	Sangat Tidak Menguntungkan	Sedang	-12	-5
<b>RMR</b>			49	68
<b>Kelas Massa Batuan</b>			III	II
<b>Deskripsi Masa Batuan</b>			Fair Rock	Good Rock
<b>Nilai GSI = (RMR-5)</b>			44	63

Berdasarkan hasil pembobotan menurut parameter RMR-System, maka dapat disimpulkan bahwa batuan pada area rencana pembuatan tunnel baru tergolong batuan kelas III yaitu kelas sedang untuk lapisan batubara, sedangkan lapisan siltstone tergolong batuan kelas II.

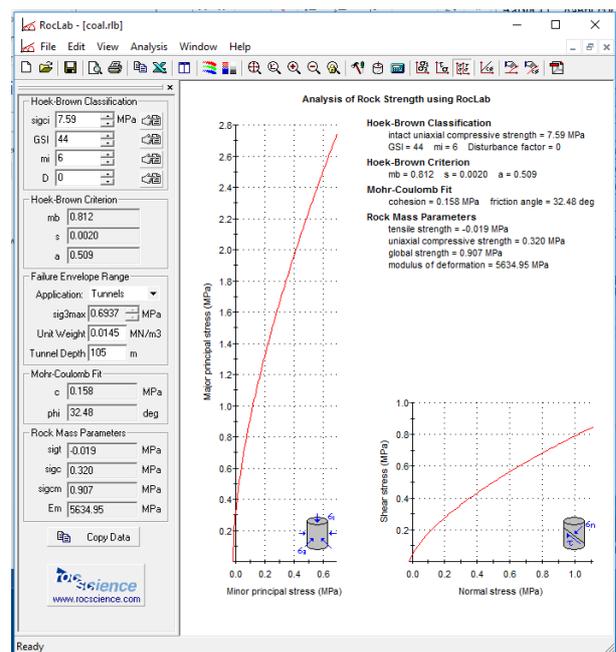
### 4.3 Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Potensi Keruntuhan Berdasarkan Software Rocklab dan Unwedge

#### 4.3.1 Pengolahan menggunakan Software Rocklab Rockscience

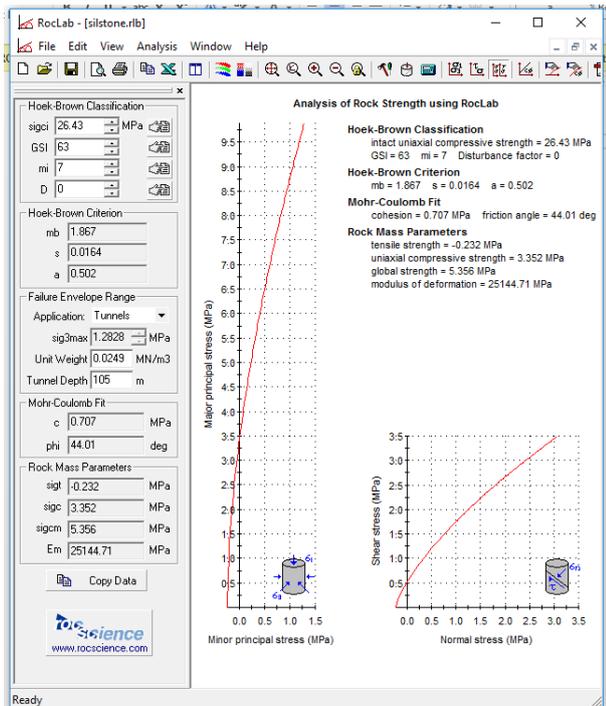
Tabel 14. Parameter Input Rocklab

No	Data masukan	Coal	Siltstone
1	Kuat tekan batuan (UCS)	7,09	26,43
2	GSI	44	63
3	Jenis batuan (Mi)	6	7
4	Metode pengalihan (D)	0	0
5	Kedalaman lubang	466 m	466 m
6	Berat isi	0.0127 MN/m <sup>3</sup>	0.0249 MN/m <sup>3</sup>

Setelah data-data diinputkan ke dalam software RockLab maka secara otomatis akan di proses oleh sitem dan hasilnya langsung ditampilkan berupa grafik dan data hasil analisis seperti gambar berikut.



Gambar 5. Output Software Rocklab untuk Lapisan Batubara



Gambar 6. Output Software Rocklab untuk Lapisan Siltstone

Tabel 15. Parameter Output Rocklab

Siltstone		Coal	
<b>Hoek Brown Classification</b>			
sigci	26,53 MPa	sigci	7,09 MPa
GSI	63	GSI	44
mi	7	mi	6
D	0	D	0
<b>Hoek Brown Criterion</b>			
mb	1,86728	mb	0,812012
s	0,01639	s	0,001985
a	0,50228	a	0,508658
<b>Failure Envelope Range</b>			
Application	Tunnels	Application	Tunnels
sig3max	1,2828 MPa	sig3max	0,693658 MPa
Unit Weight	0,0249 MN/m <sup>3</sup>	Unit Weight	0,0127 MN/m <sup>3</sup>
Tunnel Depth	105 m	Depth	105 m
<b>Mohr-Coulomb Fit</b>			
c	0,70744 MPa	c	0,157799 MPa
phi	44,0097 degrees	phi	32,4812 degrees
<b>Rock Mass Parameters</b>			
sigt	-0,23198 MPa	sigt	-0,01855 MPa
sigc	3,35195 MPa	sigc	0,320411 MPa
sigcm	5,35568 MPa	sigcm	0,906559 MPa
Em	25144,7 MPa	Em	5634,95 MPa

#### 4.3.2 Prediksi Beban Runtuh Menggunakan Software Unwedge

Bentuk dan ukuran baji dalam massa batuan dan sekitar bukaan nya tergantung pada ukuran, bentuk dan orientasi bukaan (*azimuth tunnel*) serta pada orientasi *joint set* yang signifikan. Geometri tiga dimensi dari masalah permodelan baji memerlukan perhitungan yang efisien dengan memanfaatkan program komputer yang telah tersedia. Salah satu contoh dari program komputer tersebut adalah UNWEDGE yang dikembangkan khusus untuk digunakan dalam penambangan bawah tanah. Dengan mempertimbangkan

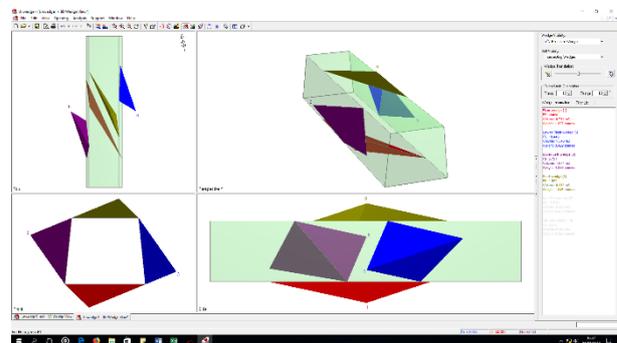
massa batuan dimana terdapat beberapa kumpulan bidang diskontinu (*joint set*) akan menghasilkan kemungkinan kombinasi *joint set* yang berpotensi membentuk baji<sup>[12]</sup>.

Parameter *input* untuk *software* Unwedge didapatkan dari data aktual di lapangan dan juga dari pengolahan *software* Dips dan RockLab.

Tabel 16. Parameter Input Unwedge

No	Data masukan	Keterangan
1	Tipe Penampang Terowongan	Trapesium
2	Dimensi Terowongan	2,5 m x 3 m
3	Kemiringan Terowongan	13°
4	Panjang Total Terowongan	466 m
5	Kedalaman Terowongan	105 m
6	Bobot Isi	2,543 ton/m <sup>3</sup>
7	Kohesi (c)	0,707 MPa
8	Sudut Geser Dalam (phi)	44,01°

Program Unwedge menggunakan model runtuh Mohr-Coulomb dan menghasilkan output berupa volume runtuh, *weight*, dan nilai *safety factor*. Untuk hasil pengolahan *software* Unwedge seperti gambar berikut.



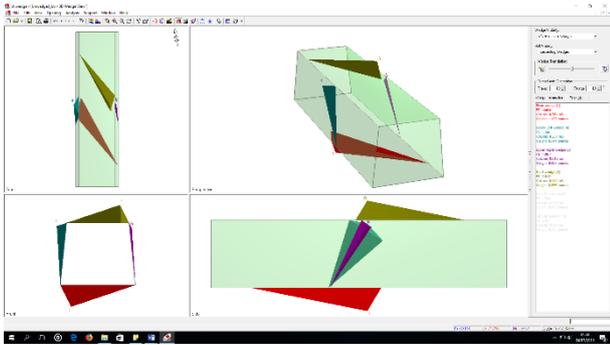
Gambar 7. Output Software Unwedge (Siltstone)

Tabel 17. Parameter Output software Unwedge (Siltstone)

No	Lokasi	SF	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (tonnes)
1	Floor wedge	Stable	0.711	1.807
2	Lower Right wedge	10.448	1.348	3.429
3	Upper Left wedge	5.757	1.674	4.256
4	Roof wedge	1.922	0.411	1.045

Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan *software* Unwedge untuk lapisan *siltstone*, diketahui *safety factor* (FS) terendah yaitu 1.922 pada bagian atap rencana terowongan dan untuk saat ini masih stabil (FS lebih besar dari 1,5).

Untuk hasil pengolahan *software* Unwedge untuk lapisan barubara seperti gambar berikut.



Gambar 8. Output Software Unwedge (Batubara)

Tabel 18. Parameter Output software Unwedge (Batubara)

No	Lokasi	SF	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (tonnes)
1	Floor wedge	Stabil	0.761	1.133
2	Upper Left wedge	1.346	0.231	0.344
3	Upper Right wedge	4.067	0.018	0.027
4	Roof wedge	0.918	0.441	0.656

Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan software Unwedge untuk lapisan batubara, diketahui *factor safety* (FS) yang terendah yaitu pada bagian atap dengan FS 0.918, jika terowongan dibuat di dalam lapisan batubara dengan batubara sebagai atapnya, maka akan terjadi longsoran baji, dikarenakan FS lebih kecil dari 1.

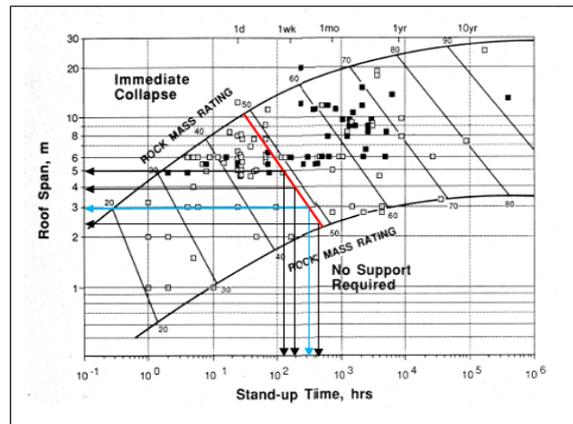
Pada rencana pembuatan *tunnel* direncanakan batuan *siltstone* yang menjadi atap terowongan, oleh karena itu FS yang terendah yaitu pada baji bagian kiri atas terowongan dengan FS 1.346, bukan bagian atap (*Roof wedge*), sehingga diperlukannya penguatan (*ground support*).

#### 4.4 Rekomendasi Ground Support Berdasarkan Klasifikasi RMR-System

Menurut Laufer (1958), lebar terowongan tanpa penyangga (*left span*) didefinisikan sebagai lebar terowongan atau jarak antara muka dan posisi terdekat dengan penyangga, jika jarak tersebut lebih panjang dari lebar terowongan. Selain *left span*, terdapat waktu runtuh batuan (*stand up time*) yang merupakan rentang waktu lamanya massa batuan di atap lubang bukaan tidak runtuh (lubang bukaan tetap dalam keadaan stabil) meski tanpa pemasangan penyangga, setelah penyanggaan, maupun waktu pemasangan. Apabila waktu runtuh batuan terlampaui, maka batuan akan runtuh jika tidak segera dipasang penyangga<sup>[6]</sup>.

##### 4.4.1 Nilai Span Maksimum dan Stand-Up Time

Dari hasil perhitungan nilai RMR diketahui bahwa kelas massa batuan untuk lapisan batubara yaitu batuan kelas III dengan nilai RMR 49, sedangkan lapisan *siltstone* memiliki nilai RMR 68 sehingga dikategorikan sebagai batuan kelas II. Nilai span maximum dan stand-up time dapat dilihat pada grafik-grafik berikut.



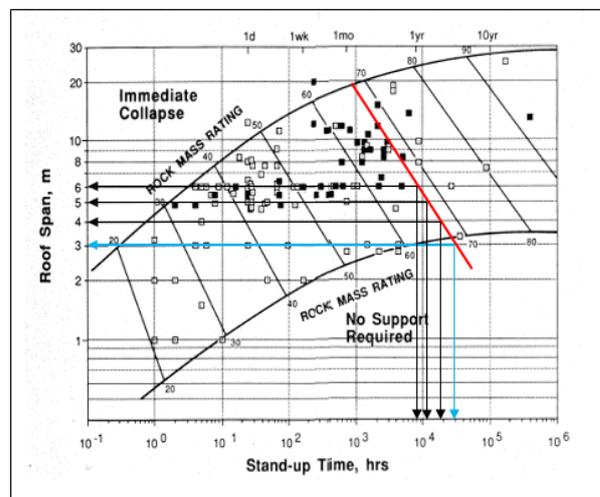
Gambar 9. Penentuan Nilai Stand-Up Time dan Span Maximum untuk Nilai RMR 49 (Batubara)

*Stand-Up Time* dihitung menggunakan grafik hubungan antara *stand-up time* dengan *span* untuk berbagai massa batuan berdasarkan klasifikasi geomekanika *Rock Mass Rating*, Bieniawski (1998). Dari grafik di atas, didapatkan nilai *stand-up time* pada lokasi penelitian seperti tabel berikut.

Tabel 19. Stand-up time dengan span maximum batubara

RMR	Span Maximum (m)	Stand-Up Time (Jam)
49	2.5	420
	3	310
	4	190
	5	130

Berdasarkan nilai hubungan antara *stand-up time* dengan *span maximum* yang ada pada tabel 18 di atas, maka nilai *stand-up time maximum* pada lokasi penelitian adalah 310 jam atau sekitar 13 hari dengan lebar rencana terowongan 3 meter.



Gambar 10. Penentuan Nilai Stand-Up Time dan Span Maximum untuk Nilai RMR 68 (*Siltstone*)

Tabel 20. Stand-up time dengan span maximum siltstone

RMR	Span Maximum (m)	Stand-Up Time (Jam)
68	3	29.000
	4	18.000
	5	11.000
	6	8.000

Berdasarkan nilai hubungan antara *stand-up time* dengan *span maximum* yang ada pada tabel 19 di atas, maka nilai *stand-up time* maksimum jika terowongan (*tunnel*) dibuat pada lapisan batuan *siltstone* yang ada pada lokasi penelitian adalah sekitar 29.000 jam atau dapat bertahan tanpa penyangga kurang lebih 3,3 tahun dengan lebar rencana terowongan 3 meter.

#### 4.4.2 Rekomendasi Penyangga Hasil Analisis Nilai RMR

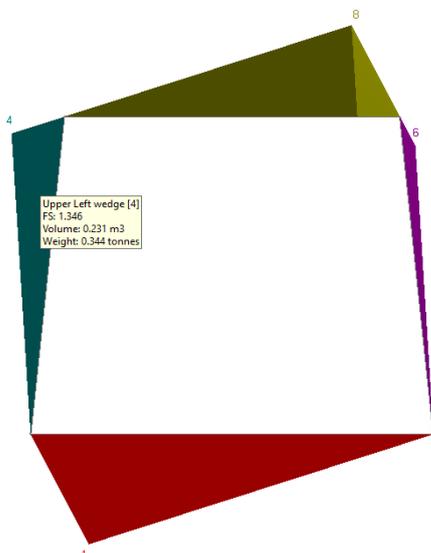
Selain pilar, sistem penyanggaan juga sangat berpengaruh terhadap kestabilan lubang bukaan. Tujuan utama dari rancangan sitem penyangga pada penggalian tambang bawah tanah adalah untuk membantu masaa batuan itu sendiri agar dapat mempertahankan kedudukannya<sup>[13]</sup>.

Berdasarkan teori Bieniawski untuk penelitian ini diambil nilai RMR terkecil yaitu sebesar 49, maka rekomendasi penyanggaan untuk lokasi massa batuan yang berada pada kelas III adalah dengan memasang penyangga penuh 10 meter dari permukaan kerja.

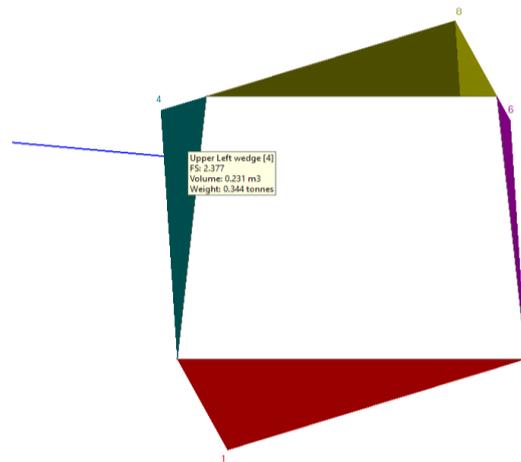
*Ground support* yang direkomendasikan adalah jenis *rock bolt* dengan panjang 4 m yang dipasang secara sistematis, dengan spasi antar baut batuan 1,5-2 meter pada dinding dan atap serta ditambahkan dengan *wiremesh*. Selain itu juga di rekomendasikan untuk pemasangan *shotcrete* setebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding. Hal ini bertujuan sebagai penambah kekuatan penyanggaan pada terowongan

#### 4.5 Model Penyangga Berdasarkan Klasifikasi Massa Batuan RMR-System menggunakan Software Unwedge

Hasil dari *ground support* RMR merekomendasikan menggunakan *Rock bolt* diameter 20 mm, *fully grouted* panjang 4 m, spasi 1,5-2 m *Shotcrete* tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding dan selanjutnya di *input* ke dalam program *unwedge* sehingga didapatkan hasil seperti gambar berikut.



Gambar 11. Dinding Kiri Sebelum Dilakukan Penguatan



Gambar 12. Dinding Kiri Setelah Dilakukan Penguatan

Dari hasil penguatan batuan menggunakan rekomendasi *ground support* RMR-System didapatkan hasil yaitu terjadi kenaikan nilai *Safety Factor* (FS) dari nilai 1,346 menjadi 2,377 sehingga baji lebih stabil.

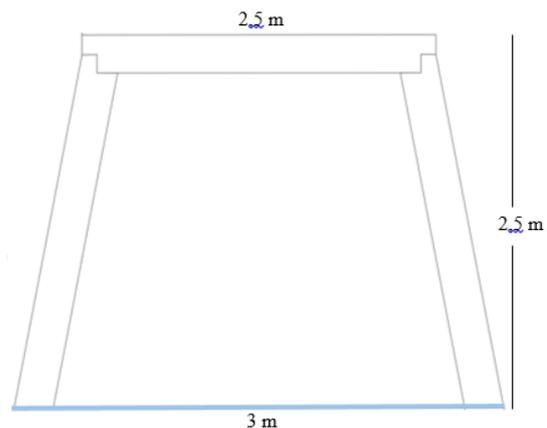
#### 4.6 Rekomendasi Penyangga Kayu

Material penyangga kayu yang digunakan di PT AICJ adalah jenis kayu akasia. Kelas kekuatan kayu dalam Vademecum Kehutanan Indonesia, didasarkan pada berat jenis, keteguhan tekan mutlak (ktm), dan keteguhan lengkung mutlak (klm)<sup>[14]</sup>. Berikut adalah pembagian kelas kekuatan kayu :

Tabel 21. Kelas Kekuatan Kayu<sup>[14]</sup>

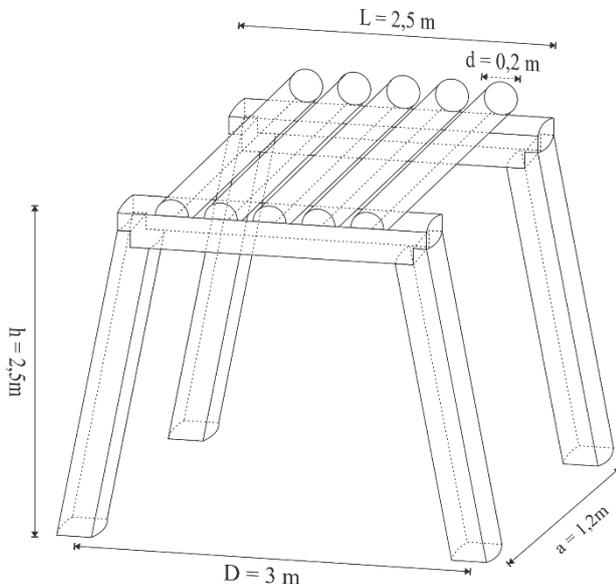
Kelas Kuat	Berat Jenis	Kekuatan Lengkung (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )
I	> 0,90	> 1100	> 650
II	0,90 – 0,60	1100 – 725	650 – 425
III	0,60 – 0,40	725 – 500	425 – 300
IV	0,40 – 0,30	500 – 360	300 – 215
V	< 0,30	< 360	< 215

Berdasarkan data pemboran, diketahui ketebalan lapisan batubara seam B1 adalah sekitar 2,4 m, sehingga tinggi terowongan direncanakan setinggi 2,5 m dan lebar lubang bukaan 3 m. Susunan dari penyanggaan kayu yang digunakan adalah *three pieces set* seperti terlihat pada Gambar berikut.



Gambar 13. Dimensi Penyangga Tampak Depan

Berdasarkan hasil analisis data, diperoleh besar tegangan perlengkungan yang timbul adalah 278,14 Kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan perhitungan tersebut rekomendasi penyangga kayu (*cap*) adalah dengan menggunakan kayu kelas V dengan kuat lengkung < 360 Kg/cm<sup>2</sup>. Berikut adalah gambar rancangan penyangga kayu :



Gambar 14. Rancangan Rekomendasi Penyangga Kayu

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

1. Nilai karakteristik batuan di area *tunnel* yang direncanakan adalah :
  - a. Nilai rata-rata bobot isi asli batubara 1,292 gram/cm<sup>3</sup> dan *siltstone* 2,543 gram/cm<sup>3</sup>.
  - b. Rata-rata nilai *Point Load Index* (PLI) batubara sebesar 0,33 MPa dan nilai PLI *siltstone* sebesar 1,23 MPa.
  - c. Hasil analisis nilai kuat tekan rata-rata dari 3 buah sampel *siltstone* adalah sebesar 26,43 MPa. Dari hasil pengujian PLI dan UCS sampel *siltstone* maka diperoleh persamaan nilai kuat tekan batuan adalah 21,49Is, sehingga rata-rata nilai kuat tekan batubara diprediksi sebesar 7,09 MPa.
  - d. Nilai RQD rata-rata batubara pada lokasi penelitian adalah sebesar 87,39% dan RQD rata-rata *siltstone* sebesar 96,34%. Untuk pembobotan, penulis mengambil nilai RQD terkecil batubara yaitu 74,47% dan untuk batuan *siltstone* RQD terkecilnya 93,39%.
2. Struktur batuan yang terdapat pada area rencana pembuatan tunnel berpotensi terjadinya ambrukan dikarenakan adanya struktur kekar yang berpotongan.
3. Berdasarkan hasil pembobotan menurut parameter RMR-System (Bieniawski, 1989) maka dapat disimpulkan bahwa batuan pada area rencana pembuatan tunnel baru tergolong batuan kelas III

yaitu kelas sedang untuk lapisan batubara dengan bobot nilai 49 poin, sedangkan lapisan *siltstone* tergolong batuan kelas II dengan bobot nilai 68 poin.

4. Berdasarkan hasil pengolahan *Software* diperoleh nilai *safety factor* (FS) pada bagian atap rencana terowongan (*siltstone*) yaitu 1.944, sedangkan FS pada dinding kiri (Batubara) 1.346, dan dinding kanan (Batubara) FS 4.067. Dari hasil penguatan batuan menggunakan rekomendasi *ground support* RMR-System didapatkan hasil yaitu terjadi kenaikan nilai *Safety Factor* (FS) dari nilai 1,346 menjadi 2,377 sehingga baji lebih stabil.
5. Hasil dari *ground support* RMR merekomendasikan menggunakan *Rock bolt* diameter 20 mm, *fully grouted* panjang 4 m, spasi 1,5-2 m *Shotcrete* tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukannya pengukuran tegangan insitu secara langsung dilapangan, mengingat kondisi perlapisan pada tambang batubara bawah tanah bersifat tidak menerus karena adanya struktur batuan seperti patahan, lipatan, dan kekar.
2. Penelitian ini bisa dijadikan referensi bagi perusahaan dalam merancang geometri penambangan, khususnya pada tambang batubara bawah tanah metoda *room & pillar* berdasarkan kajian geoteknis yang lebih detail.
3. Jika rekomendasi *ground support* RMR-System tidak dapat diterapkan dikarenakan masalah biaya, maka alternatif lainnya adalah dengan menggunakan penyangga kayu kelas V.
4. Penelitian pada skripsi ini terbatas, oleh sebab itu diperlukan penyelidikan yang lebih lanjut dikarenakan formasi batuan sewaktu-waktu dapat berubah

### Daftar Pustaka

- [1] Undang-Undang No.4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [2] Ambarini, E., Hernawan, F., & Guntoro, D. (2013). Sistem Stabilitas Lubang Bukaan Pengembangan Dengan Menggunakan Baut Batuan (Rockbolt) dan Beton Tembak (Shotcrete) di Blok Cikoneng PT Cibaliung Sumberdaya, Kab. Pandeglang, Prov. Banten. Prosiding Teknik Pertambangan. Gel, 2, 168-177.
- [3] Mine Plan Depatement. (2019). PT. Alliet Indo Coal Jaya (AICJ) Sawahlunto
- [4] Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering Rock Mass Classification. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1
- [5] R.Febri Hirnawa. (2002). Geoteknik dan Geomekanik. Bandung.
- [6] Desmawita, I., Kopa, R., & Gusman, M. (2018). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika Pada Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Bina Tambang, 3(1), 365-378.

- [7] Ridho Kresna Watimena. (2017). Mekanika Batuan dan Perancangan Konstruksi Bawah Tanah. Bandung: Penerbit ITB.
- [8] Yusuf, A. M. (2005). Metodologi Penelitian: Dasar-dasar penyelidikan ilmiah. Padang: UNP Pres.
- [9] Brady, B. H. G. & E. T. Brown. (2005). Rock Mechanics for underground mining (Third edition). eBook ISBN: 1-4020-2116-X
- [10] Rahman, A., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pillar saat Proses Mining Blok Development pada Penambangan Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Indo Coal (AIC) Jaya. Bina Tambang, 4(1), 333-343.
- [11] Made Astawa Rai. (2013). Mekanika Batuan. Bandung: Penerbit ITB
- [12] Prengki, I., & Heriyadi, B. (2018). Analisis Beban Runtuh dan Evaluasi Lubang Bukaan Berdasarkan Metode Rock Mass Rating dan Q-System pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Bina Tambang, 3(4), 1729-1739.
- [13] Hoek, E., Brown, E.T., (1980). Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- [14] Damanik, R. I. M. (2005). Kekuatan Kayu.