

Analisis Kestabilan Lubang Buka *Tail Gate* BT-06 Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Bawah Tanah PT. Cahaya Bumi Perdana, Sawahlunto.

Fenny Aulia Gustin^{1,*}, Drs. Raimon Kopa, M.T

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*ffennyaulia@gmail.com

Abstract. The excavation of a tunnel through the rock mass causes its balance to be disrupted, hence the rock is unable to support its own load, the ground surrounding the excavation will collapse. Several analytical techniques such as geotechnical analysis which uses the Rock Mass Rating System can be used to identify the rock mass characteristics in a tunnel. This research would provide findings based on rock mass class, rock strength, safety factor depends on the potential for wedge collapse and ground support recommendations. Based on the weighting obtained by the RMR-System analysis, it is found that with a stand up time of 180 hours, the rock mass class is in Class III (fair rock). A safety factor of 16,471 (stable wedge) and 3 potential general joint directions that have the possibility for wedge collapse are obtained on the basis of the processing results (N173° E / 76°, N142°E / 24°, N113°E / 28°). The RMR weighting data analysis suggests that if using rock bolt (20 mm diameter fully grouted with length of 4 m and a spacing of 1.5-2 m on the wall). Furthermore, if the wooden support is needed, use wood with a diameter of 20 cm, 2 m long and class IV with a spacing of 1.5 m.

Keywords: Tunnel, Geotechnical, RMR-System, Safety Factor, Ground Support

1 Pendahuluan

PT. Cahaya Bumi Perdana (CBP) merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang menggunakan sistem tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Pada saat ini PT. Cahaya Bumi Perdana melakukan kegiatan penambangan batubara pada 3 tunnel yaitu CBP-02 ada 2 pintu lubang, BT-05 ada 2 pintu lubang dan BT-06 ada 2 pintu lubang. Pada tunnel BT-06 terdapat 2 lubang maju yaitu *main gate* yang memiliki 14 lubang cabang dan *tail gate* yang memiliki 12 lubang cabang pada front penambangannya (lampiran). PT. Cahaya Bumi Perdana menggunakan penyangga berupa kayu dengan bentuk three pieces set. Dimensi penyangga pada lubang bukaan memiliki atap 2 m; lantai 2.5 m; dan tinggi 2 m.

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 runtuhannya^[1].

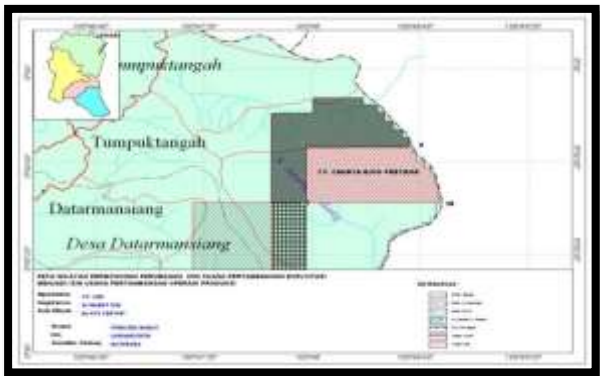
Menyangkut pembuatan lubang bukaan pada sistem tambang bawah tanah selalu dihadapi dengan permasalahan kestabilan lubang bukaan. Semakin dalam aktivitas penggalian dilakukan, maka lubang bukaan cenderung akan mengalami ketidakstabilan. Penggalian suatu lubang bukaan pada massa batuan mengakibatkan keseimbangan massa batuan terganggu, sehingga batuan disekitar penggalian tersebut akan runtuh apabila batuan itu tidak mampu menyangga bebannya sendiri. Massa batuan berbeda dengan kebanyakan material teknik. Massa batuan bersifat heterogen, anisotrop dan tidak menerus (diskontinu). Bidang-bidang diskontinu akan menyebabkan distribusi tegangan dalam massa batuan tidak diteruskan/terdistribusi secara merata ke segala arah. Walaupun sudah melakukan penyanggaan, namun pemasangan sistem penyangga tersebut didasarkan pada pola keruntuhan yang terjadi pada saat pembukaan terowongan tanpa melalui kajian menyangkut karakteristik massa batuan dan kebutuhan sistem penyangga.

Untuk mengidentifikasi karakteristik massa batuan pada suatu lubang bukaan dapat dilakukan dengan beberapa metode analisis. Salah satunya analisis geomekanika. Analisis ini menyatakan bahwa kestabilan lubang bukaan pada tambang bawah tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sifat-sifat fisik dan mekanik batuan sebagai material penyusun atap dan dinding lubang bukaan, kondisi struktur geologi, tekanan air bawah tanah, dan bidang-bidang lemah yang terdapat pada lubang bukaan tersebut.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tambang bawah tanah PT. Cahaya Bumi Perdana (CBP), Sawahlunto. Secara administrasi berada di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Lokasi kegiatan penambangan dapat ditempuh dari pusat Kota Sawahlunto + 2,5 Km jalan tanah diperkeras. PT. Cahaya Bumi Perdana memperoleh Kuasa Pertambangan Eksploitasi dari Walikota Sawahlunto berdasarkan Surat Keputusan Walikota Sawahlunto Nomor : 05.41 PERINDAGKOP Tahun 2006 tentang Pemberian Kuasa Pertambangan Eksploitasi (KW 1373 CBP 6607) tertanggal 29 Juni 2006. Izin tersebut kemudian dilakukan penyesuaian dari Kuasa Pertambangan (KP) menjadi Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi sesuai dengan yang telah diamanatkan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.



Gambar 1. Peta Izin Usaha Penambangan PT. Cahaya Bumi Perdana, Sawahlunto

2.2 Sistem Rock Mass Rating

Rock Mass Rating (RMR) atau dikenal dengan *Geomechanics Classification* dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1973, 1976, dan 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 (Bieniawski, 1979). [2]

Sistem klasifikasi massa batuan dengan RMR dari Bieniawski (1973) menggunakan enam parameter dasar untuk pengklasifikasian dan evaluasi hasil uji. Keenam parameter tersebut membantu perkiraan lebih lanjut hasil analisis stabilitas sampai permasalahan khusus geomekanika batuan, yaitu:

- Kuat tekan uniaksial batuan utuh
- *Rock Quality Designation* (RQD)
- Spasi bidang diskontinu
- Kondisi bidang diskontinu
- Kondisi air tanah
- Orientasi bidang diskontinu

Masing-masing dari parameter di atas memiliki nilai pembobotan yang dibuat berdasarkan pengalaman di berbagai lokasi tambang. Bobot masing-masing parameter akan dijumlahkan untuk memperoleh bobot total massa batuan. Berikut penjelasan masing-masing parameter:

2.2.1 Kuat Tekan Batuan Utuh

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan uji *pointload*, *Point Load Test* (PLI) 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)

RQD didefinisikan sebagai presentase dari bagian inti yang utuh dengan panjang lebih dari 100 mm terhadap total kedalaman lubang bor (core run). Priest dan Hudson (1979) memberikan hubungan antara nilai RQD dengan jarak antar bidang diskontinu yang ada didalam massa batuan atau joint spacing (Js), perhitungan RQD biasa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik lapisan batuan maupun kekar atau sesar) dengan persamaan sebagai berikut :

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

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

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu, yaitu:

- Kemenerusan (*persistence*)
- Bukaan/ rekahan (*aperture*)

- Kekasaran permukaan bidang diskontinu (*roughness*)
- Material pengisi (*infilling/gouge*)
- Pelapukan

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*).

2.2.6 Koreksi RMR

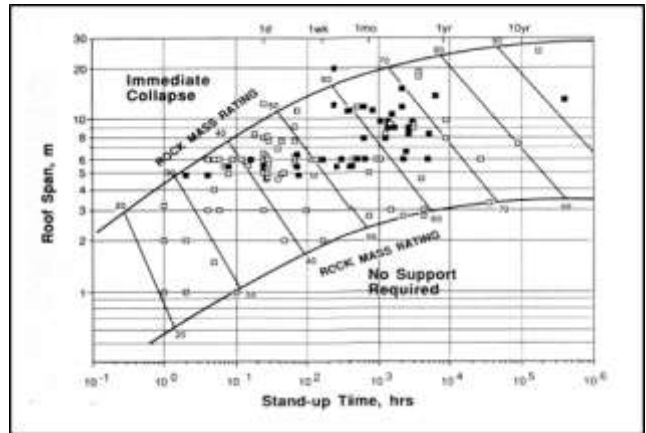
Koreksi RMR selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinuitas. Arah umum bidang diskontinu maksudnya adalah kedudukan relative bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan terowongan.

2.3 Sistem Penyanggaan Berdasarkan Rekomendasi 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 (Bieniawski, 1989). [2]

2.3.1 Stand-up Time

Dalam penentuan kestabilan lubang bukaan dapat ditentukan menggunakan *stand up time* dan nilai RMR menggunakan grafik *span* seperti pada Gambar 1. 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. *Stand-up time* 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. [4]



Gambar 2. Grafik Hubungan antara *Stand-up Time* dengan $Span^{[2]}$

2.3.2 Rekomendasi Sistem Penyangga

Menurut Bieniawski (1989), 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 yang dijelaskan pada Tabel dibawah ini:

Tabel 1. Pedoman untuk Penggalian dan Penyanggaan Terowongan dengan Klasifikasi RMR-sistem (Bieniawski, tahun 1989) [5]

Kelas RMR	Metode Penggalian	Baut Batuan (diameter 20 mm, fully grouted)	Beton Tembak	Steel Set
I	Full face, dengan kemajuan 3 m.	Secara umum tidak membutuhkan penyangga		
II	Full face, dengan kemajuan 1.5 - 3 m. Pemasangan penyanggan pentah 20 m dari face	Baut batuan pada atap panjang 3 m, spasi 2.5 m, dengan penumbuhan wire mesh	50 mm pada atap	Tidak Dibutuhkan
III	Top heading and bench 1.5 - 3 m kemajuan pada top heading, penyanggan setelah peledakan. Penyanggan pentah 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1.5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	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, Penyanggan segera pada saat penggalian. Penyanggan pentah 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	100 - 150 mm pada atap, 100 mm pada dinding.	Ringan s/d medium dengan spasi 1.5 m
V	Multiple drift kemajuan 0.5 - 1.5 m pada top heading, Pemasangan penyanggan segera mungkin pada saat penggalian. Beton tembak segera mungkin setelah peledakan	Baut batuan panjang 5 - 6 m spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	150 - 200 mm pada atap, 150 mm pada dinding, 50 mm pada face	Medium s/d berat dengan spasi 0.75 m. Overpolling jika diang-gap perlu

Tabel 2. Ringkasan Rock Mass Rating System^[2]

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 compressive 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	0.4-2 m	200-400 mm	80-200 mm	40 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickenside surfaces or Gauge < 5mm thick or Separation 1-5 mm continuous	Split gauge > 5 mm thick or Separation > 5mm continuous		
5	Ground water	Inflow per 10 m Tunnel length (l/min)	None	<10	10-25	25-125	≥125		
		(Joint water pressure) / (Major Principal stress)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	≥0.5		
	General Conditions		Completely dry	Damp	Wet	Drizzling	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS									
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	-50	-60			
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 yr for 15 m span		1 yr for 10 m span	1 wk for 5 m span	10 h 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/continuity) Rating	<1 m		1-3 m	3-10 m	10-20 m	≥20 m			
	6		4	2	1	0			
Separation (aperture) Rating	None		<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1-5 mm	>5 mm			
	5		5	4	1	0			
Roughness Rating	Very rough		Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided			
	6		5	3	1	0			
Infilling (gouge) Rating	None		Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5mm	Soft filling < 5mm	Soft filling > 5mm			
	6		4	2	2	0			
Weathering Rating	Unweathered		Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered 1	Decomposed			
	6		4	3	1	0			
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELING									
Strike perpendicular to tunnel axis					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				

3 Metodologi Penelitian .

3.1. Jenis Penelitian

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah (Sugiono, 2010). Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka. [6]

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dari lapangan berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat langsung di lapangan, seperti data dimensi lubang bukaan, kondisi struktur geologi umum seperti : *Strike and dip* kekar, spasi, kondisi kekar di lapangan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur maupun dari perusahaan. Adapun data tersebut meliputi data IUP perusahaan, data geologi lokasi penambangan, layout penambangan bawah tanah.

3.3 Teknik Analisis Data

Analisis data yang dilakukan berupa uji sifat fisik dan mekanik batuan, menganalisis data kekar dan memberi pembobotan sesuai rating RMR, menentukan arah orientasi kekar menggunakan software Dips, 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.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

4.1.1 Uji Sifat Fisik

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

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik

Material: Coal				
Sampel	Wn (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	Wo(gr)
1	15.6	16.87	4.02	14.92
2	16.93	17.9	5.1	15.8
3	21.99	23.2	7.6	20.3
4	15.23	16.52	3.95	14.24
5	16.04	16.95	4.7	15
6	17.5	18.4	5.4	16.25
7	17.88	19.25	6.35	16.88
8	19.3	20.79	6.25	18.48
Material: Sandstone				
Sampel	Wn (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	Wo(gr)
1	28.89	29.73	18.06	27.2
2	26.9	27.34	16.5	25.92
3	25.73	27.5	15.5	24.18
4	26.16	27.17	15.89	25.13

4.1.2 Uji Sifat Mekanik

Uji Point Load atau pengujian beban titik merupakan uji mekanika batuan yang digunakan untuk memprediksi nilai batuan secara langsung di lapangan. Pengujian ini 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.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Data Uji Sifat Mekanik Batubara (Point Load Index)								
Kode Sampel	Dimensi		F	P (Kg)	Is (Kg/cm ²)	Is (Mpa)	tc (Kg/cm ²)	tc (Mpa)
	D(cm)	L(cm)						
C1	5.7	7.2	1.06	312.69	10.21	1.00	234.80	23.01
C2	5.5	8.3	1.04	356.04	12.29	1.20	282.57	27.69
C3	5.3	8.3	1.03	342.88	12.53	1.23	288.21	28.24
C4	5.8	7.5	1.07	359.12	11.41	1.12	262.49	25.72
C5	5.8	7.9	1.07	325.53	10.83	1.01	237.94	23.32
C6	5.9	7.7	1.08	326.14	10.09	0.99	232.15	22.75
C7	5.2	7.8	1.02	334.77	12.60	1.23	289.82	28.40
C8	5.4	8	1.04	310.12	11.01	1.08	253.23	24.82
C9	6	7.9	1.09	348.56	10.51	1.03	241.73	23.69
C10	5.6	8.2	1.05	322.68	10.83	1.06	249.04	24.41
Rata-Rata					11.18	1.10	257.20	25.21

Material: Sandstone										
Sampel	Bebat Asli (gr/cm ³)	Bebat Jenuh (gr/cm ³)	Bebat Kering (gr/cm ³)	Berat Jenis Semu	Berat Jenis Asli	Kadar Air Asli (%)	Kadar Air Jenuh (%)	Denjtit Kejutandan (%)	Porositas (%)	Angka Por
1	2.48	2.55	2.33	2.33	2.98	6.21	9.30	66.80	21.68	0.20
2	2.48	2.52	2.39	2.39	2.75	3.78	5.48	69.01	13.10	0.21
3	2.14	2.29	2.02	2.02	2.79	6.41	13.73	46.69	27.67	0.19
4	2.32	2.41	2.23	2.23	2.72	4.10	8.12	50.49	18.09	0.21
Rata-rata	2.36	2.44	2.24	2.24	2.81	5.13	9.16	58.25	20.13	0.20

4.2. Parameter Pembobotan Kelas Massa Batuan

Tabel 5. Hasil Pembobotan Parameter RMR

Parameter Klasifikasi RMR-Sistem (Atap)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	31.35 Mpa	2.72	
2	Rock Quality Design (RQD)	Baik (82.33)	14.95	
3	Spacing of Discontinuities	Rapat (0.14)	6.72	
4	Condition	Persistence	Sangat Pendek (<1 m)	6
		Aperture	Sedang (0.1-1.0)	4
		Roughness	Sedikit Kasar (Slightly Roughness)	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Lapuk	3
5	Ground Water	Lembab (dump)	10	
6	Strike and Dips of Joint Set	Tidak Menguntungkan	-10	
Total Rating			46.39	
Kelas Massa Batuan			Sedang (Kelas III)	

Parameter Klasifikasi RMR-Sistem (Dinding Kiri)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	25.21 Mpa	2.02	
2	Rock Quality Design (RQD)	Baik (76.56)	13.41	
3	Spacing of Discontinuities	Rapat (0.11)	6.07	
4	Condition	Persistence	Sangat Pendek (<1 m)	6
		Aperture	Sangat Rapat (<0.1)	5
		Roughness	Sedikit Kasar (Slightly Roughness)	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Lapuk	3
5	Ground Water	Lembab (dump)	10	
6	Strike and Dips of Joint Set	Sedang	-5	
Total Rating			49.5	
Kelas Massa Batuan			Sedang (Kelas III)	

Parameter Klasifikasi RMR-Sistem (Dinding Kanan)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	25.21 Mpa	2.02	
2	Rock Quality Design (RQD)	Baik (81.75)	14.8	
3	Spacing of Discontinuities	Rapat (0.13)	6.5	
4	Condition	Persistence	Pendek (1-3 m)	6
		Aperture	Sedang (0.1-1.0)	4
		Roughness	Sedikit Kasar (Slightly Roughness)	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Lapuk	3
5	Ground Water	Lembab (dump)	10	
6	Strike and Dips of Joint Set	Sangat tidak Menguntungkan	-12	
Total Rating			43.32	
Kelas Massa Batuan			Sedang (Kelas III)	

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^[7].

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^[8].

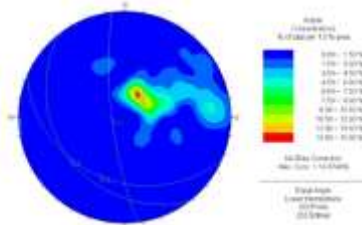
Dari Tabel 5 di atas didapatkan nilai RMR rata-rata penyusun batuan pada *tail gate* BT-06 cabang C-4 sebesar 45,5. Berdasarkan Tabel 2 nilai RMR sebesar 45,5 tergolong kelas III dengan kualitas massa batuan sedang.

4.3 Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Potensi Keruntuhan Baji

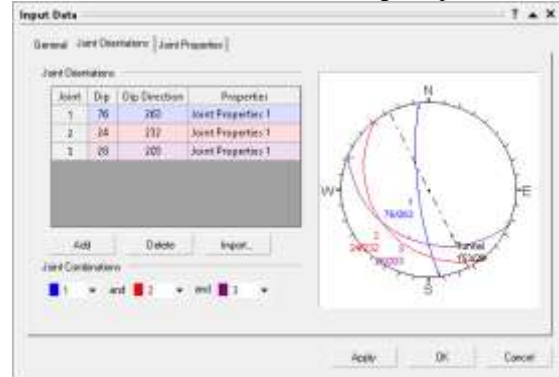
Keruntuhan baji ialah tipe runturan yang disebabkan karena perpotongan dua atau lebih *joint* sehingga membentuk bidang baji. Biasanya berbentuk *blocky* maupun prisma. Terbuat dari atap maupun dinding lubang bukaan. Potensi bidang baji yang terbentuk dapat terlihat dari kumpulan *joint set* yang telah dianalisis menggunakan pemrograman khusus.

4.3.1 Arah Umum Joint

Pengukuran *joint-joint* dilakukan dengan membuat scanline sepanjang 1 meter dengan panjang lubang bukaan 10 meter. Arah umum *joint* yang terdapat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 4. Arah Umum dan Hasil Pengelompokan *Joint*



Gambar 5. Nilai Arah Umum *Joint* pada Kemajuan 92-103 m C-4 Tail Gate BT-06

Arah umum yang diperoleh dari *dips* akan digunakan pada program *unwedge* untuk mengetahui baji yang terbentuk dan memiliki *safety of factor* lebih kecil dari 1.5 yang ada pada kemajuan 92-103 m *tail gate* BT-06. *Unwedge* adalah salah satu dari program komputer 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^[9].



Gambar 6. Kombinasi *Joint* yang Membentuk Baji

Baji yang terbentuk dari kombinasi *joint* memiliki *safety factor* yang stabil sehingga tidak perlu diberi perkuatan lebih.

4.4 Rekomendasi Penyangga

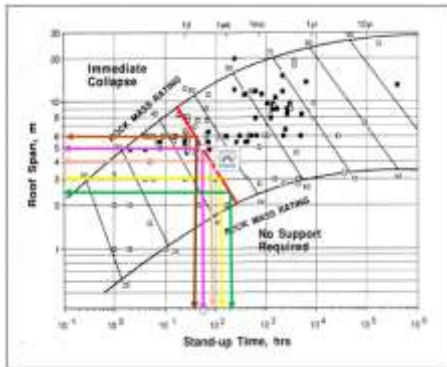
4.4.1 Berdasarkan Rekomendasi RMR

Tabel 8. Rekomendasi *Ground Support* Berdasarkan Klasifikasi RMR [2]

Klasifikasi	Hasil
RMR 46,4	<ul style="list-style-type: none"> - Kelas batuan "fair rock" - Metode penggalian: <i>Top heading and bench</i>, dengan 1.5-3 m kemajuan pada <i>top heading</i>, penyangga setelah penggalian. Penyanggaan penuh 10 m dari <i>face</i>. - <i>Rock bolt</i> (diameter 20 mm, <i>fully grouted</i>): <i>rock bolt</i> panjang 4 m, spasi 1.5-2 m pada dinding dan aap serta pemasangan <i>wire mesh</i> - <i>Shotcrete</i> tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding - <i>Stell set</i>: tidak dibutuhkan

4.4.2 Stand-up Time

Dari hasil perhitungan nilai RMR pada penjelasan sebelumnya diketahui bahwa kelas massa batuan untuk lokasi *tail gate* BT-06 cabang C-4 tergolong kelas III dengan nilai RMR atap yaitu 45,9 sehingga nilai *span maximum* dan *stand up time* didapat dijelaskan pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Grafik *Stand-up Time*

Tabel 9. Nilai *Stand-up Time* dan *Span* Maksimum

RMR	Span Maximum (m)	Stand Up Time (jam)
46.4	2.5	180
	3	130
	4	90
	5	50
	6	35

4.4.3 Rekomendasi Penyangga Kayu

Sistem penyanggaan 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^[10].

Material penyangga kayu yang digunakan di PT. Cahaya Bumi Perdana adalah jenis kayu mahoni (Kelas Kuat II dan III). Adapun kekuatan kayu dari berbagai kelas, menurut PKKI 1961, dapat dilihat pada tabel 10:

Tabel 10. Kekuatan Kayu [11]

Kelas Kuat	Berat Jenis	Kekuatan Lengkung (Kg/cm ²)	Kekuatan Tekan (Kg/cm ²)
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

Berat jenis kayu mahoni yang digunakan sebagai penyangga pada tambang bawah tanah PT. Cahaya Bumi Perdana adalah 0,57 dimana kuat lengkung (τ lengkung) adalah 691,25 Kg/cm² dan kekuatan tekan (τ tekan) adalah 423,12 Kg/cm².

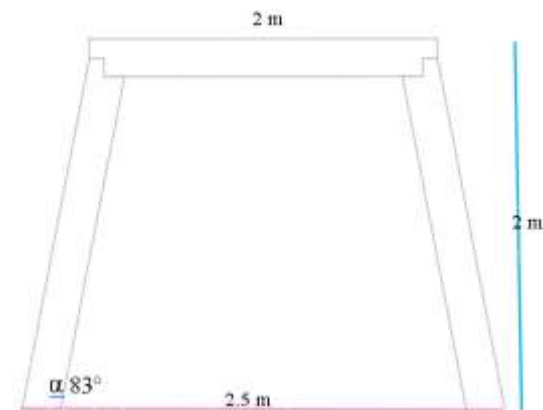
Kuat lengkung yang diizinkan= 384,02 Kg/cm² (SF= 1,8)
Kuat tekan yang diizinkan= 235,07 Kg/cm² (SF= 1,8)

Sebelum merekomendasikan penyangga kayu, lebih dahulu menganalisis tinggi dan beban runtuh yang mungkin terjadi.

Tabel 12. Nilai Tinggi Runtuh dan Beban Runtuh

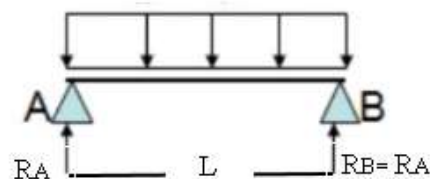
RMR	Dimensi Tunnel		γ (ton/m ³)	Ht (m)	P_{RMR} (ton/m ²)
	L (m)	T (m)			
46.4	2.5	2	1.83	1.353	2.4760

Susunan dari penyanggaan kayu yang digunakan adalah *three pieces set* seperti terlihat pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Dimensi Penyangga Tampak Depan

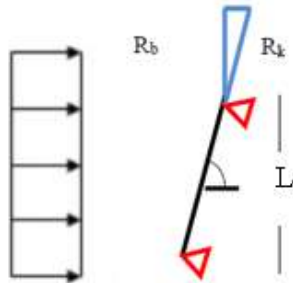
Tegangan Pada Cap



Gambar 9. Tegangan Pada *Cap*

$\sigma_t = 2.2476 \text{ Kg/m}^2$
 $h = 2 \text{ m}$
 $L = 2 \text{ m}$
 $a = 1,5 \text{ m}$
 $d = 20 \text{ cm}$
 $q_t = 3.714 \text{ Kg/m}$
 $R_b = 3.714 \text{ Kg}$
 $M_{\max} = 185.700 \text{ Kgcm}$
 $W = 785 \text{ cm}^3$
 $o_b = 236,56 \text{ Kg/cm}^2 (\leq 384,02 \text{ Kg/cm}^2)$

Tegangan Pada Side Post



Gambar 10. Tegangan Pada Side Post

$\alpha = 83^\circ$
 $L = 2 \text{ m}$
 $a = 1,5 \text{ m}$
 $d = 20 \text{ cm}$
 $q_t = 3.714 \text{ Kg/m}$
 $R_b = 3.714 \text{ Kg}$
 $W = 785 \text{ cm}^3$
 $R_k = 3.744 \text{ Kg}$
 $F = 314 \text{ cm}^2$
 $o_b = 217,31 \text{ kg/cm} (\leq 235,07 \text{ Kg/cm}^2)$

Berdasarkan perhitungan tersebut rekomendasi penyangga kayu untuk *cap* dan *side post* adalah bisa menggunakan kayu mahoni dengan kelas kekuatan adalah kelas III.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan nilai kuat tekan batuan rata-rata sebesar 25,21 MPa untuk batubara dan *siltstone* sebesar 31,35 MPa, kondisi batuan pada lubang bukaan *tail gate* BT-06 cabang C-4 termasuk pada kategori sedang dengan tingkat pelapukan cukup lapuk (*moderately weather*).
2. Dalam klasifikasi massa batuan berdasarkan metode RMR sistem diperoleh massa batuan pada lokasi penelitian berada pada kelas III (*fair rock*) dengan nilai RMR rata-rata 45,5.
3. Potensi runtuhnya baji pada lokasi penelitian *tail gate* THC-02 cabang C-6 terdapat pada tiga arah umum *joint set* dengan nilai *strike/dip* sebesar: N173°E/76°, N142°E/24°, N113°E/28° dimana nilai FKnya adalah 16,471 dan baji tersebut stabil.
4. Rekomendasi penyanggaan berdasarkan klasifikasi RMR-Sistem didapatkan nilai untuk span maximum

tail gate BT-06 cabang C-4 adalah 2,5 m dengan waktu runtuh 180 jam dan dinilai beban runtuh 2.476 Kg/m². berdasarkan data tersebut maka didapatkan rekomendasi penyangga berikut: jika menggunakan *rock bolt* dibutuhkan *rock bolt* (diameter 20 mm, fully grouted) dengan panjang 4 m, spasi antar *rock bolt* 1.5-2.0 m pada dinding dan atap serta ditambah *wiremesh* yang dipasang secara sistematis, pemasangan *shotcrete* tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding, jika menggunakan penyangga kayu dibutuhkan kayu diameter 20 cm, panjang 2 m, nilai kuat tekan kelas III untuk atap dan dinding serta jarak antar penyangga 1,5 m.

5.2. Saran

1. Pemasangan *ground support* yang direkomendasikan diusahakan seperti desain atau model yang telah dirancang berdasarkan rekomendasi RMR-Sistem.
2. Penelitian pada skripsi ini dilakukan terbatas, oleh sebab itu diperlukan penyelidikan lanjutan.

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1
- [3] Hudson J. A. *Rock Mechanics Principles in Engineering Practice*. London: CIRIA (1940)
- [4] Muhammad Deno Akbar, Heriyadi B., & Ansosry. (2019). Analisis Kestabilan *Tunnel* Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Batubara Bawah Tanah Metoda *Room and Pillar* PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ) Sawahlunto. *Bina Tambang*, 3(1), 2302-3333.
- [5] Ridho Kresna Watimena. (2017). *Mekanika Batuan dan Perancangan Konstruksi Bawah Tanah*. Bandung : Penerbit ITB.
- [6] Yusuf, A.M. (2005). *Metodologi Penelitian : Dasar-dasar pendidikan ilmiah*. Padang : UNP Pres.
- [7] 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.
- [8] Made Astawa Rai. (2013). *Mekanika Batuan*. Bandung : Penerbit ITB.
- [9] 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.

- [10] Hoek, E., E.T., (19180). Underground Excavations in Rock, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- [11] Damanik, R.I.M. (2005). Kekuatan Kayu.