

Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Pada Lubang D-12 Tambang Bawah Tanah Batubara Berdasarkan Metode RMR-System PT. Dasrat Sarana Arang Sejati, Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat

Berryl Hannah^{1,*}, Bambang Heriyadi¹

¹Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*hannahryl91@gmail.com

Abstract. *This study aims to determine the rock mass class, support strength value, opening hole safety factor and support safety factor, as well as safe support recommendations based on rock class and support dimensions. Since the point in underground mining problems is usually related to the selection of supports and all underground mining activities are carried out by making openings, the opening holes are made by maintaining their stability to be safe for workers and mining equipment to be used and to ensure the safety of workers and the economic value of their use. In identifying the characteristics of the rock mass in an opening hole can be done by several methods. One of them is the geomechanical method (Rock Mass Rating System). This method will produce a rock mass class, rock strength, potential collapse, opening hole stability and get recommendations for a suitable support system based on the results of RMR ground support, and get the condition of the wooden support used. From the results of the analysis there are several parameters of the RMR method that have been carried out, in the D-12 Tunnel B hole for coal is in class III (fair rock) with an RMR of 59 with a Stand Up Time of 83 Days with a maximum width or length of 5 m without the help of support. And for silstone is in class II (good rock) with RMR of 64 and Stand Up Time is 354 days with a maximum width or length of 5 m without support. The value of the wood support safety factor is known, the actual FK cap has a value of 1.322 and the actual FK side post is 5.586, where the FK cap does not meet the safe requirements set out in KEPMEN 1827K/30 / MEM / 2018. Then after evaluating the support distance, the FK cap is obtained to be 1.5. Based on the safety factor, the recommendation for a good and safe buffer system for the company to use is with a wood diameter of 15 cm and a buffer distance of 1.61 m.*

Keywords: Hole Opening Stability, RMR, Safety Factor, Support Recommendation

1. Pendahuluan

Penyebab utama kegagalan atap pada tambang batubara bawah tanah umumnya disebabkan oleh terjadinya diskontinuitas geologi. Kecelakaan akibat runtuhnya atap merupakan tantangan terbesar dihadapi oleh pengawas lapangan. Oleh karena itu, kehati-hatian perlu dilakukan untuk meningkatkan stabilitas pekerjaan dengan mengkarakterisasi keruntuhan atap serta pelaksanaan rencana yang tepat untuk menahan pergerakan lapisan berlapis yang cenderung runtuh ketika tekanan menimpunya. Tingkat kestabilan terowongan dapat dipengaruhi oleh keadaan batuan. Keadaan batuan ini biasanya berhubungan dengan sifat mekanik massa batuan dan juga struktur geologinya yang berupa data kekar, lipatan dan rekahan yang menimbulkan perpindahan dari massa batuan yang tinggi dan perpindahan tersebut menjadi penyebab terjadinya keruntuhan pada suatu lubang bukaan. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menganalisis kestabilan lubang bukaan yaitu dengan klasifikasi RMR system, klasifikasi RMR system dapat memberikan pedoman dalam penilaian stabilitas dan juga untuk memilih sistem pendukung yang tepat.

PT. Dasrat Sarana Arang Sejati adalah perusahaan industri tambang yang mengeksploitasi batubara menggunakan metode tambang bawah tanah. Berdasarkan hasil saat observasi di lapangan, PT. Dasrat memiliki total 10 lubang tambang yang aktif dan salah satunya lubang D-12. Pada lubang tambang D-12 tunnel B memiliki kedalaman lubang 90 meter dengan kemiringan -36° . Untuk menopang massa batuan pada lubang bukaan, penyangga yang digunakan perusahaan adalah penyangga kayu berbentuk set tiga bagian (three pieces set).

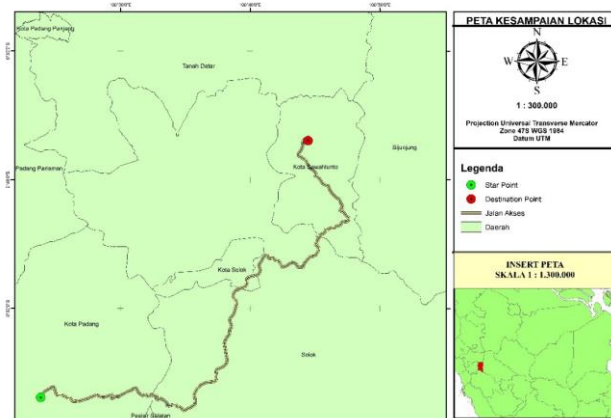
Sistem penyangga yang diterapkan perusahaan terdiri dari tinggi penyangga 2 m dengan minimal 1,7 m, tinggi kanopi 2 m, lebar kaki penyangga 2,5 m, sedangkan jarak antar penyangga didasarkan pada Keputusan Menteri Peraturan Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 adalah 1,5 m, semakin dalam lubang yang digali maka tekanan batuan akan semakin besar, dengan menggunakan jarak yang sama antara tumpuan pada setiap titik, maka dimensi lubang akan lebih kecil dari dimensi awal. Dimana dimensi bukaan bukaan, panjang tutup 1,71 m, lebar kaki 2,3 m, tinggi 1,70 m, diameter tiang samping 14,8 cm dan jarak rata-rata antar penyangga adalah 1,85 m dengan jarak antara penyangga

paling luar adalah 2,00 yang mana hal ini sudah melebihi SOP. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menganalisis karakteristik batuan dan struktur geologi pada area sekitar rongga bawah tanah pada penambangan D12-Terowongan B serta menganalisis cara mengatasi ketidakstabilan rongga tersebut. Hal ini memerlukan sistem pendukung.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi WIUP dan Kesampaian Daerah

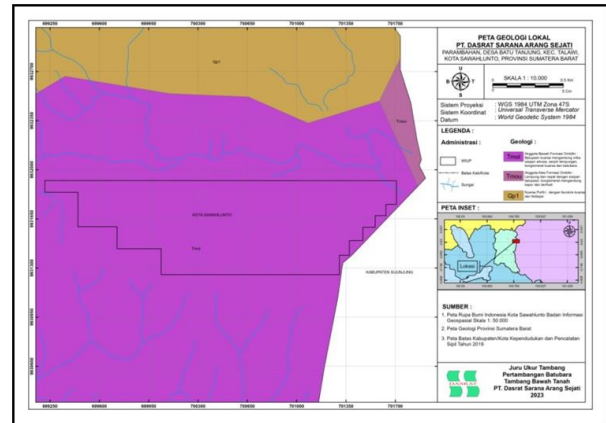
Lokasi penelitian ini terletak di daerah Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis terletak antara garis meridian 0°36' 59" LS sampai 0°37' 07" LS dan 100°47' 32" BT sampai 100° dengan ketinggian ± 560 m di atas permukaan laut, dengan batas lokasi PT. Dasrat Sarana Arang Sejati seperti Gambar 2 berikut;



Gambar 2. Peta Kesampaian Daerah

2.2 Kondisi Geologi

Secara umum topografi kawasan ini terdiri dari pegunungan yang membentang dari barat laut hingga tenggara, dengan ketinggian 200 hingga 900 meter. Tambang ini terletak di Formasi Sawahlunto, batuan yang berasal dari zaman Eochen sekitar 40 hingga 60 juta tahun yang lalu. Ahli geologi meyakini bahwa pulau-pulau yang terkenal sekarang terbentuk sekitar empat juta tahun yang lalu. Mereka beranggapan pada saat terbentuknya Formasi Sawahlunto, Pulau Sumatera belum seperti yang kita kenal sekarang. Batuan Pra Tersier yang diangkat menggunakan struktur garben dan batuan sedimen Tersier diendapkan pada cekungan sehingga membentuk batuan sedimen Tersier. Material penyebab erosi terangkut dan terendapkan di sekitar aliran sungai dan akhirnya membentuk endapan. Batuan tersebut antara lain: batuan vulkanik, batugamping – argit, granit, konglomerat, lempung – batu lasir, lempung – batulanau, batupasir, tufa batu apung. Berikut peta geologi regional Sawahlunto dapat di lihat pada Gambar 4 berikut.



Sumber : PT. Dasrat Sarana Arang Sejati

Gambar 4. Peta Geologi Lokal

2.3 Metode Penambangan Batubara

Metode penambangan yang digunakan PT. Dasrat Sarana Arang Sejati yaitu tambang bawah tanah dengan menggunakan metode penyanggaan *room and pillar*.

2.4 Klasifikasi Rock Mass Rating

Desain klasifikasi RMR, berdasarkan kegunaan dan parameter yang digunakan dapat diperoleh dari data pengeboran atau gambar struktur di bawahnya. Tujuan dari klasifikasi RMR adalah untuk menentukan kualitas massa batuan menggunakan data permukaan dan metode penambangan serta memberikan rekomendasi untuk mendukung operasi penambangan serta memaksimalkan waktu dan jangkauan. Sistem klasifikasi batuan dalam RMR oleh Bieniawski (1973) menggunakan enam metode dasar untuk klasifikasi dan analisis hasil pengujian. Keenam parameternya yaitu:

- Kuat Tekan Batuan Utuh
- RQD
- Spasi Diskontinuitas
- Kondisi Bidang Diskontinuitas
- Kondisi Air Tanah
- Orientasi Bidang Diskontinuitas

2.4.1 Kuat tekan Batuan Utuh

Umumnya uji kuat tekan batuan dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial, kuat tekan uniaksial (UCS) dan uji beban titik (PLI). UCS menekan sampel batuan dalam satu arah dengan tekanan (aksial tunggal). Selain pengujian dengan mesin kuat tekan, kekuatan batuan utuh juga dapat ditentukan dengan menggunakan palu yang dapat diuji langsung di lapangan.

Tabel 5. Pembobotan Kuat Tekan Batuan Utuh

PLI (MPa)	UCS (MPa)	Uji di Lapangan	Deskripsi Kualitatif	Bobot
> 10	> 250	Batuan tidak bisa dipecah dengan palu	Sangat kuat sekali	15
4 – 10	100 – 250	Butuh berkali-kali pukulan palu	Sangat kuat	12
2 – 4	50 – 100	Butuh lebih dari satu pukulan palu	Kuat	7
1 – 2	25 – 50	Bisa dipecah oleh satu kali pukulan palu	Sedang	4
	5 – 25	Bisa dipatahkan dengan ujung palu	Lemah	2
	1 – 5	Bisa dikupas dengan pisau lipat	Sangat lemah	1
	< 1	Bisa dipatahkan dengan ibu jari	Sangat lemah sekali	0

Sumber: Hoek and Brown, (1980) (Made Astawa,Rai dkk 2010)

2.4.2 RQD (Rock Quality Design)

Deere (1989) membahas dalam memberikan gambaran tentang sistem pengukuran, RQD diartikan sebagai persentase inti utuh yang memiliki panjang lebih dari 100 mm dibandingkan dengan total kedalaman sumur (dari inti), Persamaan RQD biasanya diperoleh dengan perhitungan langsung dari batuan yang retak.

$$RQD = 100e^{-0.12(0.1\lambda + 1)} \quad (30)$$

λ = rasio antara jumlah kekar dengan panjang scanline (kekar/meter).

2.4.3 Spasi Diskontinuitas

Jarak bidang diskontinu atau biasa disebut jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas yang berurut dari sepanjang garis pengukuran yang dibuat acak. Indikator jarak antar diskontinu ditentukan sebagai salah satu keadaan, yang dapat dilihat pada Tabel 7, berikut:

Tabel 7. Identifikasi Spasi Bidang Diskontinuitas

Deskripsi	Jarak (m)	Bobot
Sangat lebar	> 2	20
Lebar	0.6 - 2	15
Sedang	0.2 - 0.6	10
Rapat	0.06 - 0.2	8
Sangat rapat	< 0.06	5

Sumber :Bieniawski,1989 (Made Astawa,Rai dkk 2010)

2.4.4 Bidang Diskontinuitas

Parameter	Rating				
	< 1	1-3	3-10	10-20	>20
<i>Persistence/Continuity (m)</i>	6	4	2	1	0
<i>Separation/Aperture (mm)</i>	None	< 0,1	0,1-1,0	1-5	> 5
<i>Roughness</i>	Sangat kasar	Kasar	Sedikit kasar	Halus	<i>Slickensided</i>
	6	5	3	1	0
<i>Infilling/Gouge (mm)</i>	None	Keras		Lunak	
	6	< 5	> 5	< 5	> 5
<i>Weathering</i>	Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Hancur
	6	5	3	1	0

Sumber Bieniawski,1989 (Made Astawa,Rai dkk 2010)

2.4.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah ini ditentukan dari pengamatan visual terhadap langit-langit dan dinding lubang bukaan. Dengan demikian, keadaan air tanah yang dilihat dapat diindikasikan sebagai kondisi umum, seperti benar-benar kering, lembab, basah, menetes, atau mengalir bebas.

Tabel 12. Kondisi Air Tanah

Ket Kondisi	Kering	Lembab	Basah	dripping	Flowing
Debit air tiap 10 m panjang LB (liter/menit)	None	< 10	10 – 25	25 – 125	> 125
Tekanan air pada kekar/tegangangan prinsipal mayor	0	< 0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	> 0,5
Bobot	15	10	7	4	0

Sumber Bieniawski,1989 (Made Astawa,Rai dkk 2010)

2.4.6 Orientasi Bidang Diskontinuitas

Data *strike and dip* memberitahukan arah dan kemiringan dari diskontinuitas. Nilai *strike* dan nilai kemiringan dalam pekerjaan rekayasa batuan berkaitan dengan stabilitas massa batuan dan prediksi arah penggalian, dan penting untuk evaluasi kuantitatif area diskontinuitas kritis dalam penggalian terowongan.

2.5 Sistem Penyangga Berdasarkan Klasifikasi Rock Mass Rating

2.5.1 Stand Up Time

Nilai *Stand up time* digunakan untuk menentukan jangka waktu dimana massa batuan yang menutupi bukaan tidak runtuh atau bukaan tetap dalam kondisi stabil, sedangkan jarak bebas maksimum digunakan untuk menentukan berapa lama penggalian berlangsung

tanpa penyangga atau batas maksimum yang diijinkan. lebar bukaan bawah tanah.

Nilai *stand up time* ini sangat menentukan dalam pemilihan sistem pendukung dan pemasangan penyangga. Waktu *stand up* ditentukan dengan cara memplot nilai RMR dan rentang pada grafik interpolasi waktu istirahat geomekanik.

2.5.2 Rekomendasi Penyangga

Rekomendasi sistem pendukung atau stabilisasi massa batuan dapat menentukan berapa lama suatu terowongan dapat aman tanpa dukungan dan waktu mandiri (Bieniewski, 1989). Selain itu, juga dapat menentukan jenis, diameter dan panjang baut batu, steel set, shotcrete dan beton.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dipakai adalah penerapan metode observasional, yaitu penelitian langsung di lapangan dan termasuk penelitian terapan, yaitu penelitian yang dimaksudkan agar dapat memperoleh informasi yang bisa digunakan dalam memecahkan suatu masalah.

3.2 Objek dan Waktu Penelitian

Berdasarkan hasil observasi, perlu dilakukan penguatan penyangga akibat penambangan yang dilakukan semakin dalam, serta semakin banyaknya struktur batuan yang dapat runtuh. Oleh karena itu penulis tertarik untuk mengangkat topik penelitian dengan objek terowongan B lubang D-12. Kegiatan observasi lapangan ini dilakukan pada tanggal 1 Februari 2023 dan dilanjutkan dengan pengumpulan data yang dilakukan pada tanggal 8 hingga 10 Maret 2023.

3.3 Tahapan Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

- Sampel batuan dan Penyangga Kayu
- Hasil pengukuran dimensi penyangga (jarak antar penyangga, Lebar kaki, Panjang cap, Tinggi dan diameter side post.
- Data kekar (diskontinuitas) dan dokumentasi, kondisi diskontinuitas berupa: (strike, dip, dip direction), spasi diskontinuitas, persistence, lebar rongga, material pengisi, dan kondisi airt tanah

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder ialah data yang berupa: peta IUP PT. Dasrat Sarana Arang Sejati, Peta geologi lokal, dan Peta layout tambang yang didapatkan dari arsip dokumen perusahaan

3.4 Tahapan Pengolahan Data

Pada tahap ini terdapat beberapa perhitungan yang akan direalisasikan dalam bentuk tabel. Perhitungan seperti :

- Uji sifat fisik dan uji sifat mekanik batuan
- Perhitungan nilai RMR, dengan melakukan pembobotan massa batuan

- Perhitungan stand up time
- Menghitung beban runtuh
- Menganalisis arah umum kekar dominan
- Menganalisa baji menggunakan *software unwedge*
- Memberi rekomendasi penyangga

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Uji Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

4.1.1 Sifat Fisik Batuan

Parameter	Coal	Siltstone
Massa Jenis Asli (gr/cm ³)	1.465	2.525
Massa Jenis Jenuh (gr/cm ³)	1,466	2.577
Massa Jenis Kering (gr/cm ³)	1.375	2.510
Apparent Specific Gravity	1.375	2.510
True Specific Gravity	1.512	2.691
Kadar Air Asli (%)	6.54	0.58
Kadar Air Jenuh (%)	6.57	2.67
Derajat Kejenuhan (%)	95,31	21.759
Porositas (%)	9.044	6.731
Angka Pori	0.099	0.072

4.1.2 Sifat Mekanik Batuan

NO	Material	IS (MPa)	UCS (Mpa)
1	Coal	0,46	5,43
2	Siltstone	1,40	16,54

4.2 Klasifikasi Geomekanik Berdasarkan RMR

4.2.1 Nilai Kuat Tekan Batuan

Berdasarkan pengujian yang telah penulis lakukan, maka diperoleh nilai kuat tekan batuan memiliki nilai IS 0,46 MPa yang dikalibrasikan ke nilai UCS menjadi 5,43 MPa, dan Siltstone yang sebagai batuan atap memiliki nilai IS 1,40 MPa yang dikalibrasikan ke nilai UCS menjadi 16,54 MPa.

Dalam melakukan pembobotan batubara sebagai batuan dinding penulis memakai nilai UCS karena memiliki nilai IS < 1 MPa dan nilai UCS batubara 5,43 MPa yang memiliki bobot 2. Dalam melakukan pembobotan siltstone sebagai atap penulis memakai nilai IS karena memiliki nilai IS > 1 MPa dan nilai IS siltstone 1,40 MPa yang memiliki bobot 4.

4.2.2 RQD (Rock Quality Design)

Dengan mengukur jumlah kekar rata-rata menggunakan data scanline sepanjang 15 m yang dilakukan pada atap, dinding kiri dan dinding kanan dari lubang bukaan, maka untuk hasil pengukuran tersebut diperoleh persentase rata-rata RQD pada lubang bukaan tersebut.

Tabel 23. Hasil Perhitungan RQD Lubang Buka

Chainage		Joint Frequency (λ)			RQD (%)		
Dari	Ke	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan
0	1	3	4	3	96,30	93,84	96,30
1	2	4	3	4	93,84	96,30	93,84
2	3	2	3	2	98,24	96,30	98,24
3	4	3	4	2	96,30	93,84	98,24
4	5	4	5	6	93,84	90,98	87,80
5	6	7	4	3	84,42	93,84	96,30
6	7	6	3	4	87,80	96,30	93,84
7	8	6	2	3	87,80	98,24	96,30
8	9	2	3	3	98,24	96,30	96,30
9	10	2	2	4	98,24	98,24	93,84
10	11	4	3	5	93,84	96,30	90,98
11	12	3	4	3	96,30	93,84	96,30
12	13	3	4	2	96,30	93,84	98,24
13	14	3	3	2	96,30	96,30	98,24
14	15	5	3	7	90,98	96,30	84,42

Pada hasil pembobotan nilai RQD, penulis menggunakan nilai RQD yang terkecil karena alasan keamanan. Dinding kiri memiliki nilai RQD terendah 84,42% bobot 17, atap memiliki nilai RQD terendah 90,98% bobot 20, dan dinding kanan memiliki nilai RQD terendah 84,42% bobot 17.

4.2.3 Spasi Bidang Diskontinuitas

Tabel 24. Hasil Perhitungan Nilai Spasi Bidang Diskontinuitas

Chainage		Joint Frequency (λ)			Jarak Rata-rata Kekar		
Dari	Ke	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan
0	1	3	4	3	33,33	25,00	33,33
1	2	4	3	4	25,00	33,33	25,00
2	3	2	3	2	50,00	33,33	50,00
3	4	3	4	2	33,33	25,00	50,00
4	5	4	5	6	25,00	20,00	16,67
5	6	7	4	3	14,29	25,00	33,33
6	7	6	3	4	16,67	33,33	25,00
7	8	6	2	3	16,67	50,00	33,33
8	9	2	3	3	50,00	33,33	33,33
9	10	2	2	4	50,00	50,00	25,00
10	11	4	3	5	25,00	33,33	20,00
11	12	3	4	3	33,33	25,00	33,33
12	13	3	4	2	33,33	25,00	50,00
13	14	3	3	2	33,33	33,33	50,00
14	15	5	3	7	20,00	33,33	14,29
Rata-rata		3,8	3,33	3,53	30,61	31,88	32,84

Nilai jarak bidang untuk diskontinuitas dinding kiri didapatkan sebesar 30,61 cm atau 306,1 mm dengan bobot 10, pada atap 31,88 cm atau 318,8mm dengan bobot 10, dan dinding kanan 32,84 cm atau 328,4 mm dengan bobot 10.

4.2.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas

Dari hasil analisa keadaan bidang diskontinuitas dinding kiri diperoleh data rata-rata panjang diskontinu sepanjang 0,69 m, lebar celah (rongga) 0,13 mm, tingkat kekasaran sedikit kasar, tidak terdapat isian, dan pelapukannya yaitu tidak lapuk. Dan dari tabel pembobotan kelas massa batuan pada kondisi dinding kiri memiliki bobot 25.

Dari hasil analisa keadaan bidang diskontinuitas atap, diperoleh data rata-rata panjang diskontinu sepanjang 0,64 m dengan nilai bobot 6, lebar celah

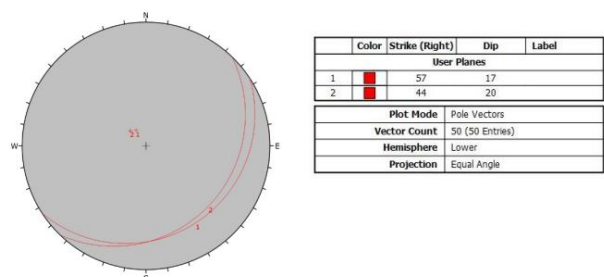
(rongga) 0,18 dengan bobot nya 4, tingkat kekasaran sedikit kasar dengan bobot 3, tidak terdapat isian dengan nilai bobot 6, dan pelapukannya yaitu tidak lapuk nilai bobot 6. Dan dari tabel pembobotan massa batuan pada atap memiliki bobot 25.

Dari hasil analisa keadaan bidang diskontinuitas dinding kanan diperoleh data rata-rata panjang diskontinu sepanjang 0,638 m nilai bobot 6, lebar celah (rongga) 0,14 nilai bobot nya 4, tingkat kekasaran sedikit kasar nilai bobot 3, tidak terdapat isian nilai bobot 6, dan pelapukannya yaitu tidak lapuk nilai bobot 6. Dan dari tabel pembobotan massa batuan, kondisi dinding kanan memiliki bobot 25.

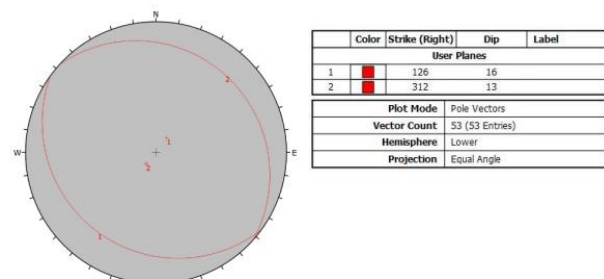
4.2.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah ditetapkan dengan cara meninjau atap dan dinding terowongan secara visual. Pada lubang bukaan terdapat genangan air dan juga adanya air yang muncul dari rekahan di beberapa lokasi. Melihat kondisi tersebut, penulis mengambil kesimpulan bahwa kondisi di lubang bukaan cenderung lembab sampai basah yaitu dengan bobot 10.

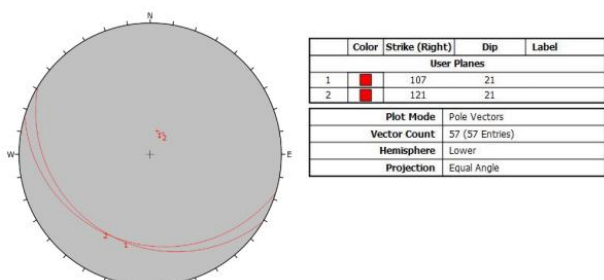
4.2.6 Orientasi Bidang Diskontinuitas



Gambar 17. Arah Kekar Dominan Atap



Gambar 19. Arah Kekar Dominan Dinding Kanan



Gambar 21. Arah Kekar Dominan Dinding Kiri

Dari analisis pengolahan software DIPS didapatkan hasil analisis sebagai berikut:

Kekar dominan ketiga sisi lubang dengan cara *add user plane* pada kontur yang paling tinggi, dengan hasil :

- a. Dinding kiri dengan arah kekar dominan N 107⁰ E/ 21⁰,
- b. Atap dengan arah kekar dominan N57⁰ E/ 17⁰
- c. Dinding kanan dengan arah kekar dominan N 126⁰ E/ 16⁰.

4.3 Pembobotan Massa Batuan Berdasarkan RMR

Nilai pembobotan untuk klasifikasi massa batuan pada lokasi penelitian, dapat dinyatakan bahwa kelas massa batuan di lokasi tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut ;

Tabel 28. Klasifikasi Kelas Massa Batuan Berdasarkan RMR-System Atap

Parameter Klasifikasi RMR-sistem (Atap)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (IS)	1,40 Mpa	4	
2	Spacing of Discontinuities	318.8 mm	10	
3	Rock Quality Design (RQD)	90.98%	20	
4	Condition	Persistence	0.64 m	6
		Aperature	0.18 mm	4
		Roughness	Sedikit Kasar	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Tidak Melapuk	6
5	Ground Water	Lembab	10	
6	Strike and dips of Joint	Sedang	-5	
Total Rating			64	
Kelas Massa Batuan			II Good Rock	

Tabel 29. Klasifikasi Kelas Massa Batuan Berdasarkan RMR-System Dinding Kiri

Parameter Klasifikasi RMR-sistem (Dinding Kiri)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	5,43 Mpa	2	
2	Spacing of Discontinuities	306.1 mm	10	
3	Rock Quality Design (RQD)	84,42 %	17	
4	Condition	Persistence	0.69 m	6
		Aperature	0.13 mm	4
		Roughness	Sedikit Kasar	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Tidak Melapuk	6
5	Ground Water	Lembab	10	
6	Strike and dips of Joint	Sedang	-5	
Total Rating			59	
Kelas Massa Batuan			III Fair Rock	

Tabel 30. Klasifikasi Kelas Massa Batuan Berdasarkan RMR-System Dinding Kanan

Parameter Klasifikasi RMR-sistem (Dinding Kanan)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	5,43 Mpa	2	
2	Spacing of Discontinuities	328.4 mm	10	
3	Rock Quality Design (RQD)	84,42 %	17	
4	Condition	Persistence	0.638 m	6
		Aperature	0,14 mm	4
		Roughness	Sedikit Kasar	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Sedikit Melapuk	6
5	Ground Water	Lembab	10	
6	Strike and dips of Joint	Sedang	-5	
Total Rating			59	
Kelas Massa Batuan			III Fair Rock	

Dari tabel klasifikasi pada atap, dinding kiri dan dinding kanan kelas massa batuan didapat bahwa, batubara sebagai batuan dinding memiliki rating 59 (fair Rock) termasuk kelas III, dan siltstone sebagai batuan atap memiliki rating 64 (Good Rock) termasuk kelas II.

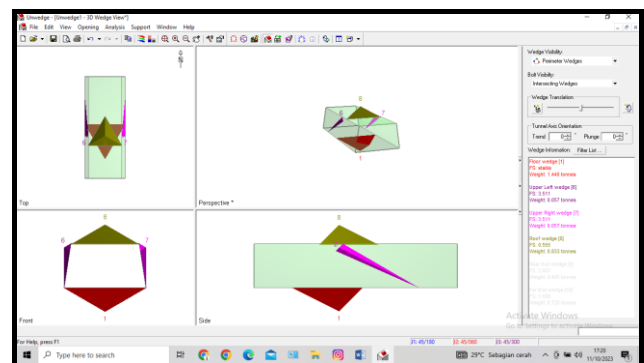
4.4 Kestabilan Lubang Bukan

Untuk mengetahui kestabilan lubang bukaan dapat melakukan pengolahan data menggunakan *software unwedge* dengan input data yang dibutuhkan sebagai berikut.

Tabel 32. Input Data Software Unwedge

No	Data	Keterangan
1	Bentuk Penampang LB	Trapesium
2	Dimensi LB	2,1 x 2,4 x 2,3
3	Kedalaman Lokasi Pengamatan	100 m
4	Bobot Isi	1,376 ton/m ³
5	Kohesi	0,167 Mpa
6	Sudut Geser Dalam (phi)	34,75 ⁰

Setelah menginput data didapat nilai *safety factor* seperti yang ada pada gambar di bawah ini.



Gambar 24. Safety Factor menggunakan *Unwedge*
 Dari pengolahan menggunakan *software unwedge* di atas didapatkan data seperti yg ada pada Tabel 33 di bawah ini.

Tabel 33. Hasil *Safety Factor* dari bagian Lubang Bukaan

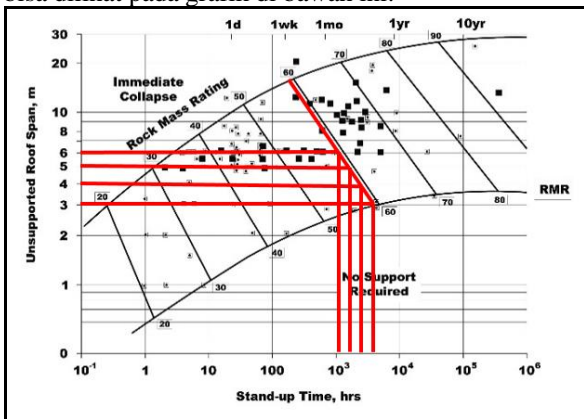
No	Bagian lubang bukaan	SF
1	Lower Left Wedge	3,511
2	Upper Right Wedge	3,511
3	Roof Wedge	0,555

Dari data di atas diketahui bahwasannya dinding kiri dan dinding kanan memiliki safety factor sebesar 3,511 dan atap memiliki safety factor sebesar 0,555. Menurut KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018 lubang bukaan paling tidak memiliki nilai *safety factor* sebesar >1.5 maka dari itu lubang bukaan memerlukan penyangga berdasarkan rekomendasi *ground support* berdasarkan dari nilai RMR.

4.5 Rekomendasi Penyangga Berdasarkan RMR

4.5.1 Nilai Span Maximum dan Stand Up Time

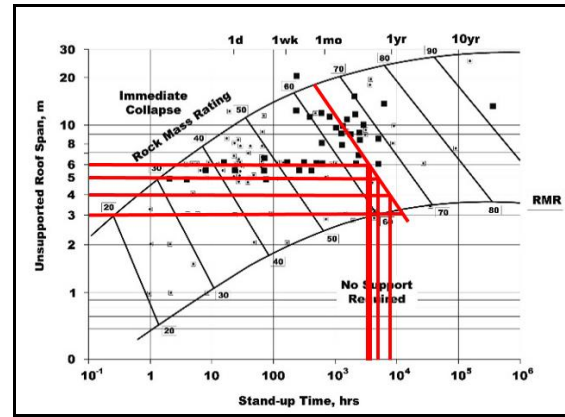
Dari tabel pembobotan kelas massa batuan, pada bagian dinding yang merupakan batubara mempunyai rating sebesar 59 dan bagian atap yang merupakan siltstone memiliki rating sebesar 64. Dan untuk nilai span maximum dan stand up time pada dinding batubara bisa dilihat pada grafik di bawah ini.



Tabel 34. Hasil Analisis Span Maximum Dan Stand Up Time

RMR	Span maximum (m)	Stand up time	
		Hours	Days
59	3	4000	166,6
	4	3000	125
	5	2000	83,3
	6	1000	41

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa dinding lubang bukaan bisa bertahan selama 83 hari dengan lebar ataupun panjang maksimal 5 meter tanpa dibantu oleh penyangga.



Gambar 25. hasil analisis span maximum dan stand up time

Dari hasil analisis span maximum dan stand up time atap didapatkan nilai seperti pada tabel di bawah ini.

RMR	Span maximum (m)	Stand up time	
		Hours	Days
64	3	Tidak perlu penyangga	Tidak perlu penyangga
	4	9500	395,83
	5	8500	354,16
	6	7500	312,5

Dari data di atas dapat diketahui bahwasannya dinding lubang bukaan dapat bertahan selama 354 hari dengan lebar ataupun panjang maksimal 5 meter tanpa dibantu penyangga.

4.5.2 Penyangga Berdasarkan RMR-System

Penulis menggunakan nilai RMR yang paling rendah yaitu sebesar 59 bagian dinding dikarenakan alasan keamanan yang masuk ke dalam batuan kelas III (Fair Rock), rekomendasi penyangga yang didapat sesuai pada Tabel 33 di bawah ini.

Tabel 35. Rekomendasi Penyangga Berdasarkan Nilai RMR System

Klasifikasi	Hasil
RMR 59	<ul style="list-style-type: none"> Batuan kelas III (Fair Rock) Metode penggalian, Top heading and bench 1.5 - 3 m kemajuan pada top heading, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10 m dari face. Rock bolt (diameter 20 mm, fully grouted): rock bolt panjang 4 m, spasi 1.5-2 m pada dinding dan atap serta pemasangan wire mesh. Shotcrete tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding Stell set: tidak dibutuhkan

Dikarenakan PT. Dasrat tidak menggunakan rock bolt dan shotcrete, tetapi hanya menggunakan penyangga kayu, maka akan dilakukan rekomendasi terhadap penyangga kayunya.

4.6. Tegangan Pada Terowongan

4.6.1 Tegangan Vertikal

Perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan vertical yaitu prediksi tinggi runtuh dan prediksi beban runtuh, berdasarkan persamaan Unal, 1983

4.6.2 Tegangan Horizontal

Perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan horizontal yaitu rasio tegangan vertical dan nilai tegangan vertical. Berikut adalah nilai tegangan vertical dan tegangan horizontal yang didapatkan pada Tabel 36 dibawah ini.

Tabel 36. Nilai tegangan vertikal dan horizontal

Tegangan Ton/m ²	Veritikal Kg/cm ²	Tegangan Ton/m ²	Horizontal Kg/cm ²
2,227	0,222	0,481	0,048

4.7 Faktor Keamanan Penyangga Kayu

4.7.1 Faktor Keamanan Cap Aktual

Safety factor pada atap/cap diperoleh berdasarkan hasil bagi nilai kuat lengkung kayu dan tegangan perlengkungan kayu dengan nilai kuat lengkung kayu sebesar 623,75 kg/cm². Berikut adalah perhitungan nilai *safety factor cap* aktual menggunakan jarak penyangga aktual.

$$\begin{aligned} FK &= \frac{\sigma_{sf}/\sigma_b}{\sigma_b} \\ &= \frac{623,75 \text{ kg/cm}^2}{471,674 \text{ kg/cm}^2} \\ &= 1,322 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai FK pada atap/cap aktual yang didapat sebesar 1,322, hasil ini termasuk tidak memenuhi syarat aman yang telah ditetapkan. Dan perlu dievaluasi pada jarak penyangganya agar nilai FK bisa dikategorikan aman untuk digunakan.

4.7.2 Faktor Keamanan Side Post Aktual

Safety factor pada dinding/side post diperoleh berdasarkan hasil bagi nilai kuat tekan kayu dan tegangan yang muncul dengan nilai kuat tekan kayu sebesar 368,75 kg/cm². Berikut adalah perhitungan nilai *safety factor side post* aktual menggunakan jarak penyangga aktual.

$$\begin{aligned} FK &= \frac{\sigma_{sf}/\sigma_b}{\sigma_b} \\ &= \frac{368,75 \text{ kg/cm}^2}{66,004 \text{ kg/cm}^2} \\ &= 5,586 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai FK pada side post aktual yang didapat sebesar 5,586, berarti penyangga pada side post sudah aman dan tidak perlu dievaluasi lagi.

4.7.3 Evaluasi Penyangga Stabil

Untuk mencapai nilai FK cap yang memenuhi syarat aman yaitu memiliki nilai $\geq 1,5$, diperlukan perubahan pada jarak antar penyangga.

Dimensi awal penyangga memiliki jarak antar penyangga sebesar 1,85 meter dan jarak ini dianalisis kembali agar mendapatkan FK $\geq 1,5$. Dan setelah dilakukan perhitungan kembali terhadap jarak antar penyangganya maka didapat FK $\geq 1,5$ dengan jarak antar penyangga 1,61 meter.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- Hasil nilai sifat fisik dan mekanik batuan pada lubang D-12 tunnel B, dibahas sebagai point berikut :
 - Rata-rata bobot isi kering batubara adalah 1,375 gr/cm² dan *sillstone* memiliki bobot isi kering rata-rata 2,510 gr/cm²
 - Rata-Rata nilai *Point Load Index* batubara 0,46 MPa dan *Sillstone* 1,40 MPa.
 - Dari hasil konversi nilai Is ke UCS didapatkan nilai UCS batubara 5,43 Mpa dan *Sillstone* 16,54 MPa.
- Diperoleh hasil pembobotan kelas massa batuan dinding batubara dengan nilai 59 (Kelas III, kategori *Fair Rock*), sedangkan kelas massa batuan atap *siltstone* dengan nilai 64 (Kelas II, kategori *Good Rock*).
- Kondisi kestabilan lubang bukaan berdasarkan potensi keruntuhan pada D12 tunnel B kedalaman 43,9 m – 58,9 m ada tiga arah umum *joint* N 107⁰ E/ 21⁰, N 57⁰ E/ 17⁰, N 126⁰ E/16⁰. Dimana nilai *safety factor* terkecilnya adalah 0,555 dan Menurut KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018 lubang bukaan paling tidak memiliki nilai *safety factor* (FK) sebesar >1.5
- Nilai factor keamanan penyangga kayu diketahui, pada FK cap aktual memiliki nilai sebesar 1,322 dan FK side post aktual sebesar 5,586, dimana pada FK cap tidak mencapai batas aman yang telah ditetapkan dalam KEPMEN 1827K/30/MEM/2018. Kemudian setelah dilakukan evaluasi pada jarak penyangga, didapatkan FK cap menjadi 1,5.
- Berdasarkan factor keamanannya, rekomendasi sistem penyangga yang baik dan aman untuk digunakan perusahaan yaitu dengan diameter kayu 15 cm dan jarak penyangga 1,61 meter.

5.2 Saran

- Karena penelitian ini dilakukan dari hasil diskusi yang terbatas, maka diperlukan pembaharuan atau kelanjutan pada topik ini karena pasti terdapat kondisi di dalam lubang bukaan serta struktur batuan yang berubah sewaktu-waktu.
- Jika rekomendasi penyangga berbasis *RMR-System* tidak bisa digunakan karena terkendala biaya, bisa dipakai rekomendasi lain yaitu dengan penyangga kayu.
- Dalam analisis kestabilan lubang bukaan dibutuhkan ketelitian yang tepat dalam setiap perhitungannya karena, jika terdapat kesalahan sedikit akan bisa berakibat salah terhadap hasil akhirnya.

References

- [1] Arief Rahman dan Fajar Nugraha Muhyiddin, 2018, Uji Laboratorium Mekanika Batuan Menggunakan Metode Unconfined Compressive Strength (UCS) Pada Batuan

- Inti (CORE) Batu Pasir, Balongan Indramayu, AKAMIGAS, Page 35 – 41.
- [2] Akbar M. Deno dan Heriyadi Bambang. 2019. Analisis Kestabilan Tunnel Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika RMR-System Pada Penambangan Batubara Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Coal Indo Jaya, Sawahlunto. *Jurnal Bina Tambang*, Vol 4, No. 3.
- [3] Alfathoni Frisky, Syamsul Komar, dan Fuad Rusydi Suwardi. 2017. Evaluasi Teknis Sistem Penyangga Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) System Pada Development Area (CKN_DC) Tambang Bawah Tanah PT. Cibaliung Sumberdaya.
- [4] Adinata, Refky dan Murad. 2017. Stand-up Time In Tunnel Base On Rock Mass Rating Bieniawski 1989. Padang: American Institute of Physics (AIP).
- [5] Bieniawski, Z.T. (1989) : *Engineering Rock Mass Classifications*, John Willey and Sons, New York.
- [6] Bieniawski, Z.T., (1976). *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- [7] Bieniawski, Z.T., (1973). *Engineering Classification of Jointed Rock Mass.* Transaction of the South African Institution of Civil Engineering.
- [8] Bieniawski, Z.T. (1979) : *The Geomechanics Classification in Rock Engineering Application*, *ISRM*, Montreaux.
- [9] Brady, B. H. G. & E. T. Brown. (2005). *Rock Mechanics for underground mining (Third edition)*. eBook ISBN: 1-4020-2116-X.
- [10] Biron, Cemal and Arioglu, Ergin. 1982. *Design of Supports in Mines*.
- [11] Broch, E dan Franklin, J.A. (1972). *The Point-Load Strength Test*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 669-697.
- [12] Deere, D.U. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) after 20 years*. U.S Army Corps Engrs. Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station.
- [13] Fenny Gustin, Aulia dan Raimon Kopa. 2020. Analisis Kestabilan Lubang Bukaian Tail Gate BT-06 Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Bawah Tanah PT. Cahaya Bumi Perdana, Sawahlunto. *Jurnal Bina Tambang*, Vol 5, No. 5.
- [14] Gupta, M.C “*Engineering Geological Rock Mass Classification of Punasa Tunnel Site, Khandwa District, Madhya Pradesh*. 2011.
- [15] Hoek E. dan E. T. Brown. (1980). *Underground Excavation in Rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- [16] Hudson, J.A. dan Harrison, J.P. (1997). *Engineering Rock Mechanics An Introduction to The Principles*. Elsevier Science Ltd : United Kingdom.
- [17] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K 30 MEM Tahun 2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
- [18] MS, Murad, Indah Sulistia Ningsih. 2018. Analisis Kuat Tekan Terhadap Stand Up Time C1-6 Pertambangan Bawah Tanah PT. Nal Sawahlunto Sumatera Barat. *Sain dan Teknologi*. 18 (1).
- [19] Ozturk, C.A. (2013). Support design of underground openings in an asphaltite mine. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 38, 288-305.
- [20] Prengki, Ilep. (2018). *Analisis Beban Runtuh dan Evaluasi Lubang Bukaian Berdasarkan Metode Rock Mass Rating dan Q-System pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat*. Padang: *Jurnal Bina Tambang*, Vol 3, No.4.
- [21] Rai, Made Astawa, dkk. (2012). *Mekanika Batuan*. ITB : Bandung.
- [22] S.Peng, Syd. 2015. Topical areas of research needs in ground control – A state of the art review on coal mine ground control. West Virginia University, Morgantown. *Journal of Mining Science and Technology* 25 (2015) 1–6
- [23] Sholeh, Pribadi., and Hariyadi, SundeK. 2015. Kajian Geologi Teknik Pada Rencana Pembuatan Tunnel Tambang Bawah Tanah. *Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*. Volume 1 No 17.