

Evaluasi Teknis Sistem Penyangga Berdasarkan Metode *RMR-System* Pada Lubang D-25 L3 Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Dasrat Sarana Arang Sejati (PT. DSAS), Kota Sawahlunto, Sumatera Barat.

Aldo Surya Pratamai^{1*}, Bambang Heriyadi^{**}

¹Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*aldohizan@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. *The potential for instability that occurs in rock when digging opening underground will usually always require special handling which functions for two things, the safety of workers and the safety of equipment contained in the mine. This study aims to determine rock mass class, support strength value, opening safety factor and support safety factor, and recommendations for safe supports based on rock class and support dimensions. The weighting of rock mass classes is carried out using the RMR-System method based on Bieniawski 1989. This analysis is carried out by weighting rock values based on parameters: rock compressive strength values, rock quality designation values, discontinuity spacing values, discontinuity condition values, groundwater values, and the joint orientation value to the tunnel. The results of the analysis are rock mass class values, rock strength, failure potential, stand up time values, and support recommendations based on rock mass class values. From the results of the analysis at 100 m progress from the canopy, class III (Fair Rock) results were obtained for the tunnel wall which was coal, and class II rock (Good Rock) for the roof rock which was siltstone. From the results of the analysis of the strength of the supporting wood based on the wood strength class, it was found that the supporting wood used by PT. DSAS is included in class III wood which has a wood bending strength value of 702.5 kg/cm² and a wood compressive strength value of 412.5 kg/cm². Actual FK caps and side posts in hole D-25 L3 PT.DSAS were 1.37 and 5.80 with an average support distance of 1.83 m. FK stamp is still categorized as unsafe because it is below 1.5, so a buffer evaluation is carried out with a buffer distance of 1.67 so that $FK \geq 1.5$ is obtained.*

Keywords: *Support Mine System, Rock Mass Rating, Support Mine Recommendation, Underground Coal Mining, Safety Factor Support Mine*

1. Pendahuluan

Tambang bawah tanah (*underground mining*) adalah suatu sistem penambangan dimana aktifitas penambangannya tidak berhubungan langsung dengan udara luar. Metode tambang bawah tanah mengacu pada metode pengambilan mineral atau batubara dengan cara membuat terowongan ke lokasi mineral dan batubara tersebut. Tingginya investasi yang dikeluarkan dalam melakukan penambangan bawah tanah serta besarnya resiko yang mengiringi, sehingga diperlukan suatu perencanaan yang tepat dalam melakukan penambangan bawah tanah.

PT. DSAS adalah salah satu perusahaan swasta yang bergerak dibidang pertambangan batubara yang berlokasi di Daerah Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. PT.DSAS menggunakan sistem tambang bawah tanah (*underground mining*), dimana pada sistem ini sangat beresiko dibandingkan menggunakan tambang terbuka. Sistem ini sangat erat kaitannya dengan sistem penyanggaan dimana penyanggaan sebagai penahan material batuan di dalam lubang maju atau *tunnel*.

Penggalian atau pembuatan lubang maju akan menimbulkan tekanan semua sisi terowongan. Potensi ketidakstabilan yang terjadi pada batuan di sekitar lubang maju tambang bawah tanah biasanya akan selalu

membutuhkan penanganan khusus terutama terhadap keselamatan pekerja dan keselamatan peralatan. Disamping itu, akibat dari kondisi penyangga yang tidak mampu menahan batuan dari atas sehingga menyebabkan batuan di atas berpotensi jatuh yang akan membahayakan para pekerja. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan pengetahuan mengenai penyebab ketidakstabilan dan merencanakan ukuran penyanggaan yang sesuai sehingga akan mengurangi atau menghilangkan segala macam permasalahan yang mungkin timbul pada proses penambangan bawah tanah.

Karakteristik batuan yang berbeda-beda akan menyebabkan terjadinya ketidakstabilan batuan seperti terjadinya ambrukan sehingga dapat menghambat kerja perusahaan dan berakibat pada terhambatnya pencapaian tingkat produksi yang diinginkan. Penyanggaan sendiri didefinisikan sebagai yang membantu batuan agar dapat menopang dirinya sendiri sehingga mencapai keseimbangan setelah diberikan gangguan berupa lubang bukaan. Jarak antar penyangga dan dimensi penyangga perlu diperhatikan, agar beban dapat dibagi secara merata di atas penyangga dan juga di samping penyangga.

PT.DSAS melakukan upaya menjaga kestabilan lubang maju atau *tunnel* dengan menggunakan penyangga kayu. Dari hasil pengamatan yang dilakukan pada *tunnel* D-25 di kemajuan 100 m (gambar 2), rata-rata penyangga memiliki panjang cap 1,77 m, lebar kaki 2,41 m, tinggi 1,91 m, diameter side post 15,20 cm, dan rata-rata jarak

antar penyangga 1,83 m dengan jarak antar penyangga terjauh sepanjang 2,03 m dimana hal ini telah melebihi SOP. PT.Dasrat sendiri telah menetapkan SOP jarak antar penyangga yaitu sebesar 1 m – 1,5 m.

Selain itu, di kemajuan 100 m juga terdapat penyangga yang patah. Hal ini disebabkan karena kekuatan penyangga lebih kecil daripada beban batuan. Penyangga yang patah beresiko terjadinya runtuh yang dapat membahayakan keselamatan pekerja dan juga peralatan yang ada di dalam terowongan.

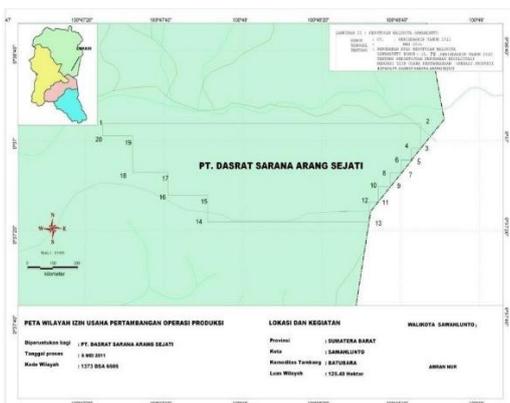
Pada penelitian ini membahas tentang beberapa aspek diantaranya sifat fisik dan mekanik batuan pada lubang bukaan, kelas massa batuan, span maksimum stand up time, kekuatan penyangga kayu yang digunakan pada lubang D-25 L3, faktor keamanan lubang bukaan dan penyangga di lubang D-25 L3, dan rekomendasi jarak antar penyangga yang aman.

2. Kajian Pustaka

2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Jarak antara Kota Padang dengan lokasi penambangan berjarak sekitar ± 100 km melalui Padang, Kota Solok, dan Kota Sawahlunto dengan jarak tempuh ± 3 jam. Batas Wilayah Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi Batubara PT.Dasrat Sarana Arang Sejati adalah :

- Sebelah Utara : PT. AIC
- Sebelah Selatan : PT. Bukit Asam
- Sebelah barat : PT. Bukit Asam
- Sebelah Timur : Aur Duri



Gambar 1. Peta Lokasi Kesampaian Daerah PT. Dasrat Sarana Arang Sejati

2.2 Pembobotan Kelas Massa Batuan (RMR-System)

Klasifikasi Geomekanika atau *Rock mass rating (RMR)* dikembangkan oleh *Bieniawski*. Dalam metode ini terdiri dari 6 parameter pembobotan yang didapat dari pengamatan di lapangan dan pengujian di laboratorium. Keenam parameter tersebut adalah:

2.2.1 Kuat Tekan Uniaxial Batuan Utuh

Kuat tekan batuan didapat dari pengujian UCS (*Uniaxial Compressive Test*) atau dengan memprediksi nilai UCS dari nilai *Index Strength*. Klasifikasi kekuatan batuan terdapat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Pembobotan Kuat Tekan Batuan

Diskripsi Kualitatif	UCS (MPa)	PLI (MPa)	Rating
Sangat kuat sekali	>250	>10	15
Sangat kuat (very strong)	100-250	4-10	12
Kuat (strong)	50-100	2-4	7
Sedang (average)	25-50	1-2	4
Lemah (weak)	5-25	Penggunaan UCS lebih dianjurkan	2
Sangat lemah (very weak)	1-5		1
Sangat lemah sekali (extremely weak)	<1		0

2.2.2 RQD (Rock Quality Designation)

Priest dan Hudson (1976), memberikan hubungan antara nilai RQD dengan jarak antar bidang diskontinuitas yang ada di dalam massa batuan atau joint spacing (Js) apabila tidak tersedia inti bor, dengan persamaan sebagai berikut:

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1) \tag{1}$$

λ = rasio antara jumlah kekar dengan panjang scanline

Tabel 2. Pembobotan RQD

RQD	Kualitas Batuan	Bobot
90-100 %	Sempurna	20
75-90 %	Baik	17
50-75 %	Sedang	13
25-50 %	Jelek	8
< 25 %	Sangat Jelek	3

2.2.3 Spasi Bidang Diskontinuitas

Spasi bidang adalah jarak tegak lurus suatu bidang lemah dengan bidang lemah lainnya. Hudson (1989), memberikan persamaan untuk menghitung rata-rata spasi bidang diskontinuitas :

$$x = \frac{1}{\lambda} \tag{2}$$

atau

$$\lambda = \frac{1}{x} \tag{3}$$

Keterangan :

x = jarak rata – rata spasi bidang diskontinuitas

λ = Frekuensi kekar per meter

Tabel 3. Pembobotan Spasi Bidang Diskontinuitas

Deskripsi	Jarak	Bobot
Sangat lebar	> 2 m	20
Lebar	0,6 – 2m	15
Sedang	0,2 – 0,6 m	10
Rapat	0,06 – 0,2 m	8
Sangat rapat	<0,06 m	5

2.2.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas

Dalam parameter ini, kondisi bidang diskontinuitas oleh *ISRAM (International Society Rock Menchanics, 1981)* diklasifikasikan menjadi :

- Kemenerusan (*presistence/continuity*) adalah pengukuran panjang bidang diskontinu.
- Bukaan/rekahan (*separation/aperture*) adalah jarak tegak lurus antar dinding batuan yang berdekatan pada bidang diskontinu.
- Kekasaran (*roughnees*) adalah bentuk permukaan kenampakan kekar dan bidang lemah lainnya.
- Infilling (*gouge*) adalah material pengisi yang ada di dalam celah kekar.
- Tingkat pelapukan (*weathering*) dasar penggolongannya adalah : tingkat perubahan, warna pada butir batuan, dan kekasarannya.

Tabel 4. Pembobotan Kondisi Bidang Diskontinuitas

Panjang Kekar Persistence/continuity	< 1m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
	6	4	2	1	0
Jarak antar permukaan kekar (separation/aperture)	Tidak ada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0
Kekasaran kekar (roughness)	Sangat kasar	kasar	Sedikit kasar	Halus	Slicken sided
	6	5	3	1	0
Material pengisi (infilling gouge)	Tidak ada	Keras		Lunak	
		< 5 mm	> 5 mm	< 5mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Tingkat pelapukan (weathering)	Tidak Lapuk	Sedikit Lapuk	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur
	6	5	3	1	0

2.2.5 Kondisi Air Tanah

Pada terowongan atau *drift*, kecepatan aliran air tanah dalam liter per menit untuk setiap 10 meter penggalian perlu diketahui. Cara lain adalah dengan mengetahui kondisi umum yang dapat dinyatakan sebagai kering, lembab, basah, menetes dan mengalir. Jika tersedia data tekanan air, maka dinyatakan perbandingan tekanan air terhadap tegangan utama mayor.

Tabel 5. Pembobotan Kondisi Air Tanah

Kondisi Umum	Kering	Lembab	Basah	Terdapat tetesan air (dripping)	Terdapat aliran air (flowing)
Debit air tiap 10 m panjang terowongan (liter/menit)	Tidak ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
Tekanan air pada kekar/tegangan principal mayor	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,1 - 0,2	> 0,5
Bobot	15	10	7	4	0

2.2.6 Orientasi Bidang Diskontinuitas

Orientasi bidang diskontinu merupakan kedudukan dari bidang diskontinu yang meliputi arah dan kemiringan bidang. Kemiringan dan bidang diskontinu biasanya dinyatakan dalam elemen (*Strike/Dip*) atau (*Dip Direction/Dip*).

Tabel 6. Kesesuaian Bidang Lemah atau Diskontinuitas

Penilaian arah kekar untuk	Sangat baik	Baik	Cukup	Tidak baik	Sangat tidak baik
Terowongan	0	-2	-5	-10	-12
Fondasi	0	-2	-7	-15	-25
Lereng	0	-2	-25	-50	-60

Tabel 7. Efek Orientasi Diskontinuitas pada Terowongan

Strike tegak lurus dengan arah kemajuan lubang bukaan			
Searah dengan <i>dips</i>		Berlawanan arah dengan <i>dips</i>	
Dip 45° - 90°	Dip 20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°
Sangat tidak menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan
Strike sejajar arah kemajuan lubang bukaan		Dip 0° - 20°	
Dip 45° - 90°	Dip 20° - 45°		
Sangat tidak menguntungkan	sedang	Sedang	

Hasil penjumlahan dari bobot parameter-parameter di atas merupakan nilai dari RMR. Kemudian dari nilai RMR tersebut digunakan untuk klasifikasi kelas massa batuan dengan menggunakan tabel klasifikasi masaa batuan berikut :

Tabel 8. Kualitas Massa Batuan

Parameter	Bobot				
Nilai RMR	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	< 20
Kelas Massa Batuan	I	II	III	IV	V
Nilai GSI	76 - 95	56 - 75	36 - 55	21 - 35	< 20
Kualitas Massa Batuan	Sangat baik (very good rock)	Baik (good rock)	Sedang (fair rock)	Buruk (poor rock)	Sangat buruk (very poor rock)

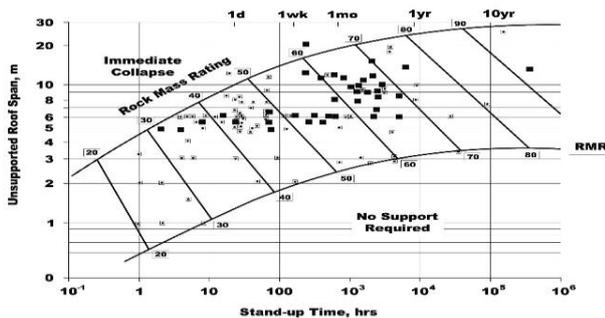
Tabel 9. Ringkasan Pembobotan Rock mass rating (Bieniawski, 1989)

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 continous No sparation Unweathered rock	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Highly weathered walls	Slickenside 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 σ)	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 lengt (persistence) Rating		< 1m 6	1-3 m 4	3-10 2	10-20 1	> 20 m 0			
Separation (aperture) Rating		None 5	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 0			
Roughness Rating		Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0			
Infilling (gauge) Rating		6	Hard filling<4mm 4	Hard filling > 5mm 2	Soft filling<5mm 2	Soft filling>5mm 0			
Weathering Rating		Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 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					

2.3 Sistem Penyanggaan Berdasarkan Klasifikasi Rock mass rating

2.3.1 Perhitungan Stand-Up Time

Menentukan nilai stand up time ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan span maksimum dengan kelas massa batuan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating System*, Bieniawski (1989). Stand up time berfungsi untuk mengetahui lamanya waktu batuan di atap lubang bukaan tidak runtuh, sedangkan span maximum digunakan untuk mengetahui seberapa panjang jarak kemajuan penggalian tanpa penyanggan atau lebar maximum lubang bukaan bawah tanah yang diizinkan.



Gambar 2. Span Maximum dan Stand Up Time

2.3.2 Rekomendasi Sistem Penyangga

Menurut Bieniawski (1989), rekomendasi sistem penyangga atau penguatan massa batuan dapat menentukan seberapa panjang terowongan yang aman tanpa disangga dengan waktu swasangganya. Selain itu, Bieniawski juga menentukan jenis penguatan lubang bukaan berdasarkan kelas massa batuan seperti yang terdapat pada tabel 10.

Tabel 10. Rekomendasi Penyangga Berdasarkan RMR System

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 penyanggaan penuh 20 m dari face	Baut batuan pada atap panjang 3 m, spasi 2.5 m, dengan penambahan wire mesh	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 mesh	50 - 100 mm pada atap, dan 30 mm pada dinding	Tidak Dibutuhkan	
IV	Top heading and bench 1.5 m kemajuan pada top heading. Penyanggaan sesegera pada saat penggalian. Penyangga penuh 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 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 mesh	150 - 200 mm pada atap, 150 mm pada dinding, 50 mm pada face	Medium s/d berat dengan spasi 0.75 m. Forepolling jika dianggap perlu	

2.3.3 Estimasi Tinggi Runtuh

Dalam menentukan tinggi runtuh (H_t) dan beban runtuh (P_{RMR}) menggunakan rumus menurut Unal (1983) berdasarkan hasil klasifikasi geomekanik sistem *RMR* :

Tinggi Runtuh (H_t)

$$H_t = \frac{(100-RMR)}{100} \times B \quad (4)$$

Beban Runtuh (P_{RMR})

$$P_{RMR} = H_t \times \gamma \quad (5)$$

Keterangan:

H_t = tinggi runtuh (m)

B = lebar terowongan (m)

P_{RMR} = beban runtuh (Kg/cm^3)

γ = densitas batuan (ton/m^3)

2.4 Evaluasi Penyangga Kayu

2.4.1 Tegangan pada Cap

$$qt = \sigma \cdot a \quad (6)$$

$$M_{\max} = 0,125 \cdot qt \cdot L^2 \quad (7)$$

$$\sigma_b = M_{\max} / w \quad (8)$$

$$w = \pi d^3 / 32 \text{ (penampang lingkaran)}$$

Keterangan:

qt = beban per satuan panjang (ton/m)

σ = tekanan pada penyangga (ton/m)

a = jarak antar penyangga (m)

L = panjang cap (m)

σ_b = tegangan perlengkungan

M_{\max} = momen perlengkungan maksimum (ton/m)

2.4.2 Tegangan pada Side Post

$$\sigma_{sf} \geq \sigma_n + \sigma_b \quad (9)$$

$$\sigma_{sf} \geq -w(R/F) \pm 0,85(M_{\max}/W) \quad (10)$$

$$F = 1/4\pi dy^2 = 0,785\pi dy^2 \quad (11)$$

$$M_{\max} = 0,125 \cdot qy \cdot Ly^2 \quad (12)$$

$$W = 0,098dy^3 \quad (13)$$

$$\Lambda = 4Lk/dy \quad (14)$$

$$\omega = (\lambda) \quad (15)$$

$$R \approx 0,5qt \quad (16)$$

$$\sigma_{sf} \geq -0,637 \cdot \omega \cdot qt \cdot (L/dy)^2 \pm 1,084qt(Ly^2/dy^3) \quad (17)$$

Keterangan:

σ_n = tegangan normal (ton/m^2)

ω = buckling factor

λ = angka kerampingan (slenderness)

R = beban reaksi (ton)

qy = beban samping (ton/m)

Ly = panjang side post (m)

dy = diameter side post (m)

$Lk = Ly$ = panjang untuk penekukan (m)

2.4.3 Faktor Keamanan Sistem Penyangga

$$SF = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_b} \quad (18)$$

SF = *Safety factor* (Faktor Keamanan)

σ_{sf} = tegangan perlengkungan kayu yang diijinkan

σ_b = Tegangan perlengkungan pada *cap* atau *sidepost*

3. Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

Penelitian bertujuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) dari lubang bukaan dan penyangga kayu yang digunakan oleh PT. Dasrat Sarana Arang Sejati di lubang D-25 L3 Tunnel A. Output dari penelitian ini adalah faktor keamanan lubang bukaan setelah di beri penyangga sesuai dari rekomendasi RMR System menggunakan software Unwedge dan jarak penyangga kayu yang aman.

3.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang peneliti lakukan adalah penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah penelitian yang bertujuan untuk memberikan solusi terhadap suatu permasalahan (Sugiyono, 2010).

3.3 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah lubang D-25 L3. Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan perlu dilakukannya evaluasi penyangga karena banyaknya penyangga yang patah. Hal ini disebabkan karena penyangga yang tidak mampu menahan batuan atap yang dapat membahayakan pekerja yang alat-alat yang ada di dalam lubang D-25 L3. Sehingga penulis tertarik membahas masalah penyangga pada lubang D-25 L3 di PT.Dasrat Sarana Arang Sejati ini.

3.4 Tahap Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan cara observasi langsung di lapangan yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari dimensi penyangga, sampel batuan, sampel kayu penyangga, dan data diskontinuitas lubang bukaan. Sedangkan data sekunder diambil dari arsip perusahaan yang terdiri dari peta IUP PT.DSAS, peta geologi PT.DSAS, dan layout penambangan lubang D-25 L3.

3.5 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk memecahkan masalah dari data yang telah didapatkan. Tahapan penelitian ini

dimulai dari analisis sifat fisik dan mekanik batuan, pembobotan kelas massa batuan menggunakan metode RMR System, analisis *safety factor* lubang bukaan menggunakan software unwedge, analisis span maximum dan stand up time, menentukan penyangga berdasarkan RMR System, analisis berat jenis dan kekuatan kayu penyangga, analisis penyangga kayu berdasarkan dimensi actual, dan analisis rekomendasi jarak penyangga yang aman.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

4.1.1 Sifat Fisik Batuan

Tabel 11. Hasil Analisis Sifat Fisik Sampel

NO	Parameter	Coal	Siltstone
1	Bobot Asli (gr/cm ³)	1,231	2,607
2	Bobot Kering (gr/cm ³)	1,181	2,550
3	Bobot Jenuh (gr/cm ³)	1,276	2,649
4	Berat Jenis Semu	1,181	2,550
5	Berat Jenis Asli	1,305	2,830
6	Kadar Air Asli (%)	4,18%	2,22%
7	Kadar Air Jenuh (%)	8,02%	3,74%
8	Derajat Kejenuhan (%)	51,72%	57,30%
9	Porositas (%)	9,46%	9,89%
10	Angka Pori	0,105	0,110

4.1.2 Sifat Mekanik Batuan

Tabel 12. Hasil Analisis Sifat Mekanik Sampel

Material	Kode Sampel	IS (MPa)	Perbandingan σ_c dengan IS	σ_c (Mpa)
Coal	C1	0,46	18,64	8,60
	C2	0,48		8,99
	C3	0,56		10,51
	Rata-rata	0,5		9,37
Material	Kode Sampel	IS (MPa)	Perbandingan σ_c dengan IS	σ_c (Mpa)
Siltstone	S1	1,16	18,64	21,61
	S2	0,91		17,04
	S3	1,28		23,81
		1,12		20,82

4.2 Klasifikasi Massa Batuan RMR System

4.2.1 Kuat Tekan Batuan

Dari pengujian diperoleh hasil nilai rata-rata indeks *Strenght* sampel batubara sebesar 0,50 MPa yang dikonversikan ke UCS menjadi 9,37 MPa, dan nilai Indeks *Strenght* sampel *Siltstone* sebesar 1,12 MPa yang dikonversikan ke UCS menjadi 20,82 MPa. Jika nilai kuat tekan batuan yang didapatkan diinput ke dalam tabel *Rock*

Mass Rating System (Bieniawski, 1989) maka didapatkan bobot batubara sebesar 2 dan untuk Siltstone sebesar 4.

Tabel 13. Data Kuat Tekan Batuan

Sampel	Index Strength IS (MPa)	Kuat Tekan Uniaxial σ_c (MPa)
Batubara	0,50	9,37
Siltstone	1,12	20,82

4.2.2 Rock Quality Designation (RQD)

Dari hasil perhitungan RQD yang bisa dilihat seperti tabel 26 didapatkan rata-rata nilai RQD dinding kiri sebesar 89,80%, atap 93,31%, dan dinding kanan 91,37%. Dalam melakukan pembobotan penulis memakai nilai terkecil dengan alasan safety di dinding kiri 84,42% dengan bobot 17, atap 90,98% dengan bobot 20, dan dinding kanan 84,42% dengan bobot 17.

Tabel 14. Hasil Analisis RQD

Chainage		Joint Frequency (λ)			RQD (%)		
Dari	Ke	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan
0	1	4	3	5	93,84	96,31	90,98
1	2	6	4	5	87,81	93,84	90,98
2	3	5	4	6	90,98	93,84	87,81
3	4	7	5	4	84,42	90,98	93,84
4	5	5	4	7	90,98	93,84	84,42
5	6	7	2	5	84,42	98,25	90,98
6	7	4	3	6	93,84	96,31	87,81
7	8	4	5	5	93,84	90,98	90,98
8	9	5	4	4	90,98	93,84	93,84
9	10	4	2	5	93,84	98,25	90,98
10	11	6	5	5	87,81	90,98	90,98
11	12	7	3	2	84,42	96,31	98,25
12	13	5	4	5	90,98	93,84	90,98
13	14	6	5	4	87,81	90,98	93,84
14	15	5	3	4	90,98	96,31	93,84

4.2.3 Spasi Bidang Diskontinuitas

Dari tabel di atas didapatkan nilai spasi bidang untuk diskontinuitas dinding sebelah kiri sebesar 19,52 cm atau 195,2 mm dengan bobot 8, atap 28,67 cm atau 286,7 mm dengan bobot 10, dan dinding kanan 22,51 cm atau 225,1 mm dengan bobot 10.

Tabel 15. Hasil Analisis Spasi Diskontinuitas

Chainage		Joint Frequency (λ)			Jarak Rata-rata Kekar		
Dari	Ke	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan
0	1	4	3	5	25,00	33,33	20,00
1	2	6	6	5	16,67	16,67	20,00
2	3	5	4	6	20,00	25,00	16,67
3	4	7	5	4	14,29	20,00	25,00
4	5	5	4	7	20,00	25,00	14,29
5	6	7	2	5	14,29	50,00	20,00
6	7	4	3	6	25,00	33,33	16,67
7	8	4	5	5	25,00	20,00	20,00
8	9	5	4	4	20,00	25,00	25,00
9	10	4	2	5	25,00	50,00	20,00
10	11	6	5	5	16,67	20,00	20,00
11	12	7	3	2	14,29	33,33	50,00
12	13	5	4	5	20,00	25,00	20,00
13	14	6	5	4	16,67	20,00	25,00
14	15	5	3	4	20,00	33,33	25,00
Rata-rata		5,33	3,87	4,80	19,52	28,67	22,51

4.2.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas

Dari hasil pengamatan kondisi bidang diskontinuitas atap didapatkan data dengan rata-rata panjang kemenerusan sepanjang 0,75 m, lebar rongga 0,16, tingkat kekasaran sedikit kasar, dengan tidak adanya isian, dan rata-rata tidak melapuk. Maka berdasarkan tabel pembobotan kelas massa batuan kondisi diskontinuitas dinding kiri memiliki bobot 25.

Dari hasil pengamatan kondisi bidang diskontinuitas dinding kanan didapatkan data dengan rata-rata panjang kemenerusan sepanjang 0,70 m, lebar rongga 0,15, tingkat kekasaran sedikit kasar, dengan tidak adanya isian, dan rata-rata tidak melapuk. Maka berdasarkan tabel pembobotan kelas massa batuan kondisi diskontinuitas dinding kiri memiliki bobot 25.

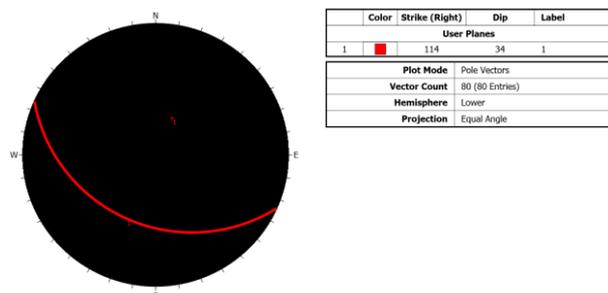
Dari hasil pengamatan kondisi bidang diskontinuitas dinding kiri didapatkan data dengan rata-rata panjang kemenerusan sepanjang 0,96 m, lebar rongga 0,14, tingkat kekasaran sedikit kasar, dengan tidak adanya isian, dan rata-rata tidak melapuk. Maka berdasarkan tabel pembobotan kelas massa batuan kondisi diskontinuitas dinding kiri memiliki bobot 25.

4.2.5 Kondisi Air Tanah

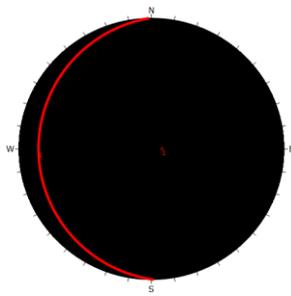
Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung di jarak 100 meter dari lubang masuk tambang. Kondisi batuan di lokasi pengamatan cenderung lembab. Dari data pengamatan yang didapat penulis berkesimpulan bahwasannya kondisi air tanah di lubang tersebut lembab dengan bobot 10.

4.2.6 Orientasi Bidang Diskontinuitas

Penentuan arah kekar dominan menggunakan software DIPS 6.0, dengan cara menginput data strike and dip masing-masing sisi lubang ke dalam software. Dari hasil analisis menggunakan software didapatkan kekar dominan dinding kiri, atap, dan dinding kanan berturut-turut : N 114° E/ 34°, N 179° E/ 9°, N 184° E/ 5° dengan arah penmbangan 161°. Hasil pembobotan orientasi bidang diskontinuitas adalah -5 untuk semua sisi lubang bukaan.

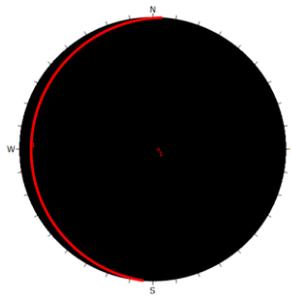


Gambar 3. Orientasi Kekar Dominan Dinding Kiri



Color	Strike (Right)	Dip	Label
User Planes			
1	179	9	
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 56 (56 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Gambar 4. Orientasi Kekar Dominan Atap



Color	Strike (Right)	Dip	Label
User Planes			
1	184	5	
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 72 (72 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Gambar 5. Orientasi Kekar Dominan Dinding Kanan

4.2.7 Klasifikasi Karakteristik Massa Batuan

Tabel 16. Kelas Massa batuan Dinding Kiri

Parameter Klasifikasi Massa Batuan RMR-System				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	9,37 MPa	2	
2	Rock Quality Design (RQD)	84,42%	17	
3	Spacing of Discontinuities	195,2 mm	8	
4	Condition	Persistence	0,96 m	6
		Aperture	1,4 mm	1
		Roughness	Sedikit Kasar	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Tidak Melapuk	6
5	Ground water	Lembab	10	
6	Strike and Dip of Joint Set	Sedang	-5	
Total Rating			54	
Kelas Massa Batuan			III Fair Rock	

Tabel 17. Kelas Massa batuan Atap

Parameter Klasifikasi Massa Batuan RMR-System				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	20,82 MPa	4	
2	Rock Quality Design (RQD)	90,98%	20	
3	Spacing of Discontinuities	286,7 mm	10	
4	Condition	Persistence	0,75 m	6
		Aperture	1,6 mm	1
		Roughness	Sedikit Kasar	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Tidak Melapuk	6
5	Ground water	Lembab	10	
6	Strike and Dip of Joint Set	Sedang	-5	
Total Rating			61	
Kelas Massa Batuan			II Good Rock	

Tabel 18. Kelas Massa batuan Dinding Kanan

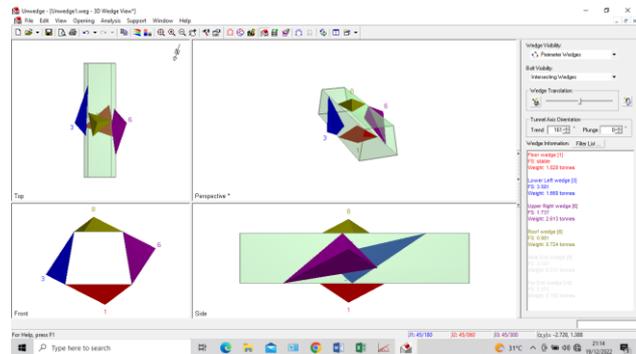
Parameter Klasifikasi Massa Batuan RMR-System				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	Rock Strength (UCS)	9,37 MPa	2	
2	Rock Quality Design (RQD)	84,42%	17	
3	Spacing of Discontinuities	225,1 mm	10	
4	Condition	Persistence	0,70 m	6
		Aperture	1,5 mm	1
		Roughness	Sedikit Kasar	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Tidak Melapuk	6
5	Ground water	Lembab	10	
6	Strike and Dip of Joint Set	Sedang	-5	
Total Rating			56	
Kelas Massa Batuan			III Fair Rock	

4.3 Kestabilan Lubang Buka

Dalam melakukan analisis safety factor lubang bukaan penulis menggunakan software Unwedge. Data yang diperlukan dalam analisis menggunakan software unwedge dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 19. Input Data Software Unwedge

No	Input Data	Keterangan
1	Bentuk Penampang terowongan	Trapeسيوم
2	Dimensi Terowongan	2 x 2,4
3	Kedalaman Lokasi Pengamatan	100 m
4	Bobot Isi	2,649 ton/m ³
5	Kohesi	0,368 MPa
6	Sudut Geser Dalam (phi)	37,16 ^o



Gambar 6. Hasil Analisis Software Unwedge

Berdasarkan analisis safety factor kestabilan lubang menggunakan software Unwedge didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 20. Nilai Safety Faktor Lubang Bukaan

NO	Bagian lubang bukaan	SF
1	Lower Left Wedge	3,581
2	Upper Right Wedge	1,737
3	Roof Wedge	0,981

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa roof wedge memiliki nilai SF yang rendah yaitu 0,981 dimana hal ini di bawah nilai *safety factor* yang telah ditetapkan di dalam KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018 yaitu sebesar >1,5. Untuk membuat nilai SF dapat dikatakan aman dapat dilakukan perkuatan berdasarkan rekomendasi penyangga berdasarkan RMR-System yang diaplikasikan ke dalam software *unwedge*.

4.4 Tegangan Pada Terowongan

4.4.1 Tegangan Vertikal

4.4.1.1 Prediksi Tinggi Runtuh

Tegangan vertikal adalah tegangan yang diberikan oleh batuan dari atas dalam setiap luasan. Pada penelitian ini digunakan prediksi beban runtuh berdasarkan Unal, 1983.

$$Ht_{Batubara} = \frac{(100 - RMR)}{100} \times B$$

$$= \frac{(100 - 54)}{100} \times 2,4m$$

$$= 1,104m$$

$$Ht_{Siltstone} = \frac{(100 - RMR)}{100} \times B$$

$$= \frac{(100 - 61)}{100} \times 2,4m$$

$$= 0,936m$$

4.4.1.2 Prediksi Beban Runtuh

$$P_{RMR_{Batubara}} = Ht \times \gamma$$

$$= 1,104 m \times 1,276 \text{ ton/m}^3$$

$$= 1,408 \text{ ton/m}^2$$

$$= 0,140 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{RMR_{Siltstone}} = Ht \times \gamma$$

$$= 0,936 m \times 2,649 \text{ ton/m}^3$$

$$= 2,479 \text{ ton/m}^2$$

$$= 0,247 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.2 Tegangan Horizontal

4.4.2.1 Rasio Tegangan Horizontal dengan Tegangan Vertikal

$$K = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\theta}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{37,16}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (26,42)$$

$$= 0,246$$

4.4.2.2 Tegangan Horizontal

$$\sigma_h = K \times \sigma_v$$

$$= 0,246 \times 2,479$$

$$= 0,609 \text{ ton/m}^2$$

Tabel 21. Hasil Analisis Tegangan Vertikal dan Horizontal

RMR	K	Tegangan Vertikal		Tegangan Horizontal	
		ton/m ²	kg/cm ²	ton/m ²	kg/cm ²
51	0,246	3,115	0,312	0,766	0,077
56	0,246	2,797	0,280	0,688	0,069
61	0,246	2,479	0,248	0,610	0,061
66	0,246	2,162	0,216	0,532	0,053
71	0,246	1,844	0,184	0,454	0,045

4.5 Evaluasi Penyangga Aktual

4.5.1 Tegangan Kayu

Dalam menentukan kelas kayu diperlukan nilai berat jenis kayu. Diperlukan parameter yang diperlukan untuk menentukan berat jenis kayu yaitu volume sampel kayu dan massa sampel kayu. Dalam pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang massa kayu dengan neraca dan menghitung volume kayu menggunakan gelas ukur. Hasil pengukuran berat jenis kayu bisa dilihat pada tabel 19 di bawah ini :

Tabel 22. Analisis Berat Jenis Kayu

Nama	Massa	Volume	Volume	Volume	Berat
K1	13,22	60	83	23	0,57
K2	15,86	70	97	27	0,59
K3	10,58	70,5	89	18,5	0,57
Rata-rata					0,58

Berdasarkan pada tabel kelas kayu, kayu yang dipakai oleh PT.Dasrat Sarana Sejati termasuk dalam kelas III dalam rentang 0,6 - 0,4 gr/cm³. Untuk menentukan nilai kuat lengkung dan kuat tekan dilakukan interpolasi sebagai berikut :

Diketahui kelas kayu III memiliki range :

$$\text{Berat Jenis Kayu} = 0,6 - 0,4$$

$$\text{Kuat Lengkung Kayu} = 725 - 500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Kayu} = 425 - 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$X = 0,6 - 0,58 = 0,02$$

$$Y = 0,58 - 0,4 = 0,18$$

$$Z = 0,02 + 0,18 = 0,2$$

$$M_{\text{lengkung}} = 725 - 500 = 225$$

$$M_{\text{Kuat tekan}} = 425 - 300 = 125$$

$$\text{Kuat Lengkung Kayu} = 500 + \left(\frac{Y}{Z} \right) \times M_{\text{lengkung}}$$

$$= 500 + \left(\frac{0,18}{0,2} \right) \times 225$$

$$= 702,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Kayu} = 300 + \left(\frac{Y}{Z} \right) \times M_{\text{lengkung}}$$

$$= 300 + \left(\frac{0,18}{0,2} \right) \times 125$$

$$= 412,5 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat bahwasannya kayu masuk ke dalam kelas III dengan nilai kuat lengkung kayu sebesar 702,5 kg/cm² nilai kuat tekan kayu sebesar 412,5 kg/cm².

4.5.2 Tegangan Pada Cap

Analisis tegangan pada cap menggunakan rumus 6-9. Hasil analisis tegangan pada cap bias dilihat pada table 20.

Tabel 23. Hasil Analisis Tegangan Pada Cap

RMR	σ_v (kg/cm ²)	a (m)	l (m)	d (cm)	h (m)	qt (kg/cm)	M _{max} (kg cm)	W (cm ²)	σ_b (kg/cm ²)
51	0,312	1,83	1,77	15,2	1,91	57,01	223.252,80	345,77	645,67
56	0,280	1,83	1,77	15,2	1,91	51,19	200.471,90	345,77	579,78
61	0,248	1,83	1,77	15,2	1,91	45,37	177.691,00	345,77	513,90
66	0,216	1,83	1,77	15,2	1,91	39,56	154.910,11	345,77	448,01
71	0,184	1,83	1,77	15,2	1,91	33,74	132.129,21	345,77	382,13

4.5.3 Tegangan Pada Side Post

Analisis tegangan pada cap menggunakan rumus 10-18. Hasil analisis tegangan pada cap bias dilihat pada table 21.

Tabel 24. Hasil Analisis Tegangan Pada Side Post

RMR	σ_v (kg/cm ²)	lb (cm)	d (cm)	a (cm)	ω	σ_b	
						kg/cm ²	ton/m ²
51	0,312	177	15,2	183	1,52	89,77	897,67
56	0,280	177	15,2	183	1,52	80,56	805,6
61	0,248	177	15,2	183	1,52	71,066	710,66
66	0,216	177	15,2	183	1,52	62,146	621,46
71	0,184	177	15,2	183	1,52	52,94	529,4

4.6 Faktor Keamanan Penyangga

Faktor kermanan merupakan perbandingan antara kekuatan kayu dengan tegangan yang timbul. Menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 1827K/30/MEM/2018, penyangga dapat dikatakan aman apabila penyangga memiliki nilai FK yang melebihi dari 1,5.

4.6.1 Faktor Keamanan Cap Aktual

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_b} = \frac{702,5 \text{ kg/cm}^2}{511,938 \text{ kg/cm}^2} = 1,37$$

Tabel 25. Hasil Analisis Faktor Keamanan pada Cap

RMR	σ_b	Kuat Lengkung Kayu	FK
51	645,66851	702,5	1,09
56	579,78397	702,5	1,21
61	513,89943	702,5	1,37
66	448,01488	702,5	1,57
71	382,13034	702,5	1,84

Dari perhitungan nilai FK pada cap aktual didapatkan nilai sebesar di bawah 1,5 apabila batuan memiliki nilai RMR ≤61, dimana hal ini tidak memenuhi syarat aman yang telah ditetapkan dalam KEPMEN 1827K/30/MEM/2018. Diperlukan evaluasi jarak penyangga agar FK dapat dikategorikan aman.

4.6.2 Faktor Keamanan Side Post

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_b} = \frac{412,5 \text{ kg/cm}^2}{71,066 \text{ kg/cm}^2} = 5,80$$

Tabel 26. Hasil Analisis Faktor Keamanan pada Cap

RMR	σ_b	Kuat Lengkung Kayu	FK
51	89,77	412,5	4,60
56	80,56	412,5	5,12
61	71,066	412,5	5,80
66	62,146	412,5	6,64
71	52,94	412,5	7,79

Dari hasil perhitungan nilai FK pada side post di atas didapatkan nilai sebesar 5,80 yang berarti penyangga pada side post sudah aman dan tidak memerlukan evaluasi.

4.6.3 Evaluasi Jarak Penyangga

Dari hasil analisis evluasi jarak penyangga didapatkan nilai FK ≥1,5 dengan jarak antar penyangga 1,67 m.

Tabel 27. Kondisi Penyangga Stabil

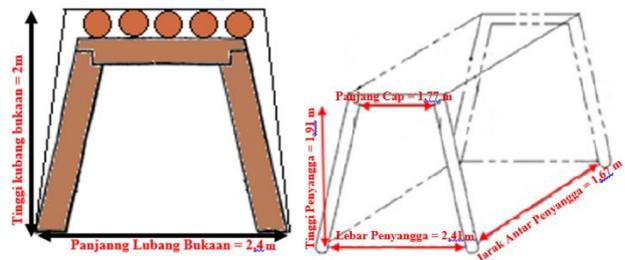
RMR	σ_v (kg/cm ²)	ly (m)	lb (m)	d (cm)	qt (kg/cm)	M _{max} (kg cm)	W (cm ²)	Cap			a (m)
								σ_b cap (kg/cm ²)	σ_{sf} (kg/cm ²)	FK	
51	0,312	1,94	1,77	15,2	41,35	161.937,92	345,77	468,30	702,5	1,5	1,24
56	0,28	1,94	1,77	15,2	41,35	161.937,92	345,77	468,30	702,5	1,5	1,47
61	0,247	1,94	1,77	15,2	41,35	161.937,92	345,77	468,30	702,5	1,5	1,67
66	0,216	1,94	1,77	15,2	41,35	161.937,92	345,77	468,30	702,5	1,5	1,91
71	0,184	1,94	1,77	15,2	41,35	161.937,92	345,77	468,30	702,5	1,5	2,12

4.6.4 Faktor Keamanan Penyangga Sesuai dengan SOP Perusahaan

Tabel 28. Kondisi Penyangga Sesuai SOP Perusahaan

RMR	ov (kg/cm ²)	a (m)	ly (m)	lb (m)	d (cm)	qt (kg/cm)	M _{max} (kg cm)	W (cm ²)	Cap		
									σ_b cap (kg/cm ²)	σ_{sf} (kg/cm ²)	fk
51	0,312	1,50	1,94	1,77	15,20	46,80	183274,65	345,77	530,05	702,5	1,33
56	0,280	1,50	1,94	1,77	15,20	42,00	164477,25	345,77	475,68	702,5	1,48
61	0,247	1,50	1,94	1,77	15,20	37,05	145092,43	345,77	419,62	702,5	1,67
66	0,216	1,50	1,94	1,77	15,20	32,40	126882,45	345,77	366,96	702,5	1,91
71	0,184	1,50	1,94	1,77	15,20	27,60	108085,05	345,77	312,59	702,5	2,25

4.7 Desain Penyangga Kayu



Gambar 7. Desain Penyangga Kayu

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Nilai sifat fisik dan mekanik batuan di lubang D-25 L3:
 - a. Nilai rata-rata bobot isi jenuh batubara adalah 1,276 gr/cm² dan *siltstone* memiliki bobot isi jenuh sebesar 2,649 gr/cm².
 - b. Nilai rata-rata *point load index* batubara adalah 0,49 MPa dan *siltstone* memiliki nilai rata-rata *point load index* sebesar 1,09
 - c. Hasil konversi nilai PLI ke UCS, batubara memiliki nilai rata-rata UCS sebesar 5,77 MPa dan *Siltstone* memiliki nilai rata-rata UCS sebesar 12,88MPa.
2. Berdasarkan dari pembobotan kelas massa batuan menggunakan metode *RMR-System* didapatkan hasil bahwasannya kelas massa batuan dinding yang merupakan batubara memiliki nilai 54 (Kelas III, *Fair Rock*) dan kelas massa batuan atap yang merupakan *siltstone* memiliki nilai 61 (Kelas II, *Good Rock*). Nilai *stand up time* dinding adalah 1500 jam atau 62,5 hari dan batuan atap memiliki nilai *stand up time* sebesar 7.000 jam atau 291,67 hari dengan *span* sepanjang 3 meter yang sesuai dengan rekomendasi dari *RMR System*.
3. Dari pengujian berat jenis kayu, didapatkan nilai rata-rata berat jenis kayu sebesar 0,58 dimana nilai tersebut mengindikasikan bahwasannya kayu yang dipakai oleh PT.Dasrat Sarana Arang Sejati masuk dalam kelas III. Kayu yang dipakai untuk penyangga memiliki nilai kekuatan perlengkungan sebesar 702,5 kg/cm² dan kuat tekan kayu sebesar 412,5 kg/cm².
4. Dari analisis FK dengan menggunakan *software unwedge* didapatkan nilai FK dinding kanan sebesar 1,778, Fk dinding kiri 3,572, dan FK batuan atap sebesar 0,981. Batuan atap memiliki nilai FK di bawah kategori aman, maka dilakukan rekayasa penyangga berdasarkan *RMR-System*. Setelah dievaluasi menggunakan *software unwedge* FK setelah dipasang baut batuan sepanjang 4 m sebesar 28,602 dan FK setelah dipasang *shotcrete* setebal 50 mm sebesar 8,505.
5. Hasil analisis FK penyangga kayu menggunakan jarak antar penyangga aktual sebesar 1,83 m didapatkan FK atap sebesar 1,37 dan FK dinding sebesar 5,80. FK atap memiliki nilai di bawah 1,5 yang dikategorikan tidak aman dan memerlukan evaluasi agar FK atap menjadi aman. Evaluasi jarak antar penyangga dilakukan untuk membuat FK aman, dari jarak penyangga aktual sebesar 1,83 m diubah menjadi 1,67 dan didapatkan FK atap setelah dilakukan evaluasi sebesar 1,5. Apabila jarak antar penyangga mengikuti SOP yang berlaku yaitu sebesar 1,5 m, penyangga memiliki FK sebesar 1,67.

5.2 Saran

1. Dari pengukuran jarak penyangga diketahui rata-rata jarak antar penyangga sebesar 1,83 m dimana hal ini melebihi SOP perusahaan yang menetapkan jarak antar penyangga sebesar 1 – 1,5 m. Jarak rekomendasi yang penulis sarankan maksimal 1,67 m agar mencapai FK yang aman. Perlu diperhatikan ketika pemasangan penyangga memiliki jarak yang direkomendasikan atau sesuai SOP agar kegiatan penambangan dapat berjalan dengan lancar dan aman tanpa menimbulkan kerugian.
2. Pemasangan *ground support* disarankan memakai yang telah direkomendasikan yaitu *shotcrete* setebal 50 mm pada atap dan 30 mm pada dinding atau baut batuan sepanjang 4 m dengan spasi 1,5 – 2 m. Apabila perusahaan terkendala dengan biaya, alternatif penyangga bisa menggunakan penyangga kayu yang telah direkomendasikan.
3. Perlu dilakukan penyelidikan lanjutan pada penelitian ini, karena penelitian ini dilakukan pada pembahasan yang terbatas dan struktur geologi yang sewaktu-waktu dapat berubah.

Daftar Pustaka

- [1] Akbar, Muhammad Deno dan Bambang Heriyadi. (2019). *Analisis Kestabilan Tunnel Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) pada Pertambangan Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ) Sawahlunto*. Teknik Pertambangan. Universitas Negeri Padang.
- [2] Andrian, Yudi dan Bambang Heriyadi. (2021). *Evaluasi Kestabilan Lubang Buka dan Sistem Penyanggaan Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika Pada Tambang Batubara Bawah Tanah SD-C2 Lori 1 Di PT. Nusa Alam Lestari, Kota Sawahlunto*. Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.
- [3] Ardinata, Surya dkk. 2022. *Analisis Proksimat Batubara Menggunakan Standar ASTM pada PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat*. Jurnal Rekayasa Lingkungan, no. 1, 11.
- [4] Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. Canada. Pennsylvania State University.
- [5] Biron, Cemal dan Ergin Arioglu. 1983. *Design of Support in Mines*. New York. Department of Mining Engineering Istanbul Technical University.
- [6] Eli, Ambarini. 2015. *Sistem Stabilitas Lubang Buka Pengembangan Dengan Menggunakan Baut Batuan (Rockbolt) dan Beton Tembak (Shotcrete) di SBlok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten*. Prosiding Teknik Pertambangan. Gel. 2: 168-177.
- [7] Endri O, dkk. 2010. *Penelitian K3 Penyanggaan pada Penambangan Long Wall Semi Mekanis Batubara Bawah Tanah dalam Rangka Mendukung Penyusunan Kebijakan K3 Tambang di Minerbapabum*. Tekmira.
- [8] Hamrin, Hans. (1980). *Underground Mining Methods and Applications*. Atlas Copco, Swedia.
- [9] Hoek, Evert dkk. (1998). *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. A.A. Balkema, PO. Box 1675, 3000 BR. Rotterdam, Belanda.
- [10] Karaman, K., Kaya, A., Kesimal, A. (2015). *Use of the point load index in estimation of the strength rating for the RMR System*. Journal of African Earth Science, 106, 40-49.
- [11] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021). *Potensi Penambangan Mineral Yawah Yanah di Indonesia*.
- [12] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K 30 MEM Tahun 2018. *Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*.
- [13] Kockar, M. K. dan Akgun, H. (2003). *Methodology for tunnel and portal support design in mixed limestone, schist and phyllite conditions: a case study in Turkey*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40, 173–196
- [14] Koesoemadinata, R.P., dan Th. Matasak. 1981. *Stratigraphy And Sedimentation Ombilin Basin Central Sumatra (West Sumatra Province)*. Bandung. Jurusan Geologi, Institut Teknologi Bandung
- [15] Koppa, Raimon. (1990). *Bahan Ajar Teknik Terowongan*. Padang : FT UNP.
- [16] Ozturk, C.A. (2013). *Support design of underground openings in an asphaltite mine*. Tunnelling and Underground Space Technology, 38, 288-305.
- [17] P.H.S.W, Kulatilake, Qiong, W., Zhengxing, Y., Fuxing, J. (2013). *Investigation of stability of a tunnel in a deep coal mine in China*. International Journal of Mining Science and Technology, 23, 579-589.
- [18] Palmstrom, A., 1996. Characterizing Rock Masses by the RMI for Use in Practical Rock Engineering. Journal of Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 175-188, 1996
- [19] Prasetianto, Wahyu Eko dan Bambang Heriyadi. (2018). *Analisis Penyanggaan Berdasarkan Karakteristik Batuan Pada Atap dan Dinding Lubang Tambang Batubara Bawah Tanah BMK-04 di CV. Bara Mitra Kencana, Kecamatan Talawi, Sawahlunto*. Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.
- [20] Pratama, Redy dan Raimon Kopa. (2014). *Kajian Teknis Penyangga Baja Three Piece Sets dan Five Piece Sets Pada Lubang Buka Tambang Batubara Bawah Tanah Pit Central Barat Di PT. Allied Indo Coal Jaya*. Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.
- [21] Rai, Made Astawa dkk. (2014). *Mekanika Batuan*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- [22] Rehman, H., Naji, A M., Kim, J., Yoo & Hankyu. (2018). *Extension of tunneling quality index and rock mass rating Systems for tunnel support design through back calculations in highly stressed jointed rock mass: An empirical approach based on tunneling data from Himalaya*. Tunnelling and Underground Space Technology, 85, 29-42.
- [23] Samanlangi, Andi Ilham. (2016). *Sistem Penambangan*. CV. Andi Offset: Yogyakarta.
- [24] Seng, Oey Djoen. (1990). *Berat Jenis dari Jenis-jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu Untuk Keperluan Praktek*. Bogor. Departemen Kehutanan.

- [25] Sugiyono, Sugiyono. (2010). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung. Alfabeta.
- [26] Taria, Evi. (2017). *Kajian Teknis Sistem Penyangga Kayu pada Lubang CIG Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Nusa Alam Lestari (NAL) Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat*. Teknik Pertambangan. Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang.
- [27] Villaescusa, Ernesto dan Yven Potvin. (2004). *Ground Support in Mining and Underground Construction*. Taylor & Francis Group plc. London, Britania Raya.
- [28] Zichri, Alvi. (2021). *Evaluasi Sistem Penyanggaan pada Tunnel 4 Berdasarkan Metode RMR-System Di PT. AICJ, Sawahlunto*. Teknik Pertambangan. Universitas Negeri Padang.
- [29] Desmawita, Eka dan Raimon Kopa. (2018). *Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika pada Tambang Bawah Tanah CV.Tahiti Coal, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat*. Teknik Pertambangan. Universitas Negeri Padang.