

ANALISIS KESTABILAN LUBANG BUKAAN DENGAN METODE RMR-SYSTEM PADA LUBANG PENDIDIKAN JALUR J.3F – J.37 UNDERGROUND MINE PT. BUKIT ASAM OMBILIN SAWAHLUNTO

Wahyudi Saputra^{1*}, Bambang Heriyadi¹

¹Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

[*wahyudisaputra19137016@gmail.com](mailto:wahyudisaputra19137016@gmail.com)

Abstract. The strength and shape of rock masses can be affected by tunnel excavation, so rocks will seek a new equilibrium as a result of such treatment. The displacement of tunnel walls and roofs, the occurrence of collapses in tunnels are signs of the rock's tendency to seek a free field where it can deform and allow a new equilibrium to be established. Using a method based on Bieniawski 1989, the RMR-System was used to weight the different rock mass classes. In this analysis, rock grades are weighted based on the compressive strength characteristics of the rock, Rock Quality Designation, discontinuity distance, groundwater conditions, and orientation of the bristles towards the tunnel. Rock mass class values, rock strength, collapse potential, holding time values, and buffer recommendations based on rock mass class values are the outputs of this analysis. Based on the measurements made for various parameters of the RMR method, the claystone at the J.3F - J.37 opening is in class III (fair rock) with an RMR value of 59, and the coal is in class III (fair rock) with an RMR value of 53. The stress values received at the cap and side post are 604.01 kg/cm² and 29.55 kg/cm², respectively, with a wood bending strength value of 800 kg/cm² and a wood compressive strength of 470 kg/cm². The recommended design of the three piece set wooden support is the length of the cap of 2.9 m, the bottom width of 3.4 m, the height of 2.4 m, the distance between the supports of 0.7 m, the diameter of the support of 18 cm with the FK value on the cap of 1.51. Meanwhile, the distance between supports of 1.2 m uses wood with a diameter of 22 cm with an FK value on the stamp of 1.61.

Keywords: RMR-System, Aperture Stability, Timber Support, Safety Factor

1 Pendahuluan

Studi mekanika teknik tentang mekanika batuan mempelajari bagaimana batuan bereaksi terhadap medan gaya luar. Ini adalah bidang penelitian yang meneliti bagaimana batuan berfungsi baik secara teoretis maupun praktis. Karena adanya bidang-bidang lemah (retakan, sambungan, patahan, dan sesar), yang bervariasi dalam hal kekerasan, perluasan, dan orientasinya, massa batuan di alam tidak kontinu (terputus-putus).

Kegiatan penambangan bawah tanah memberikan bahaya yang sangat signifikan bagi karyawan tambang, sehingga perlu penanganan yang hati-hati selama proses berlangsung. Proses ini akan dengan cepat mengubah kekuatan dan bentuk batuan yang dibongkar, menyebabkannya mencari keseimbangan baru. Pergeseran dinding dan langit-langit bukaan,

perkembangan longsor, atau runtuhnya bukaan merupakan indikasi bahwa batuan tersebut sedang mencoba menemukan bidang bebas sehingga ia dapat berubah bentuk dan membangun keseimbangan baru.

PT. Bukit Asam Ombilin Sawahlunto adalah perusahaan yang menambang batu bara dengan metode underground mine. Lokasi perusahaan ini di Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Pertambangan ini terletak di Cekungan Ombilin, yang mana sebuah deposit yang mengandung batu bara, terletak di wilayah tersebut. Selain itu, lokasi penambangan terletak di Formasi Ombilin, yang terdiri dari batu pasir, napal, dan lempung warna abu-abu dengan lapisan tipis. Umur formasi ini diperkirakan miosen awal.

Rencana dari perusahaan akan dibuat lubang terusan dengan menggunakan penyangga kayu yang akan menghubungkan jalur J.3 – J.6 ke jalur J.37. Lokasi

lubang terusan yang direncanakan di kedalaman 205 mdpl di antara persimpangan J.3E – J.2 dan akan dihubungkan ke persimpangan J.37 di kedalaman 215 mdpl. Titik lubang terusan ini diberi nama J.3F. Tujuan dari pembuatan lubang terusan ini selain sebagai media pembelajaran mengenai underground mine dan geoteknik tambang, bisa juga untuk menghemat penggunaan energi yang digunakan untuk ventilasi tambang.

Perusahaan ini menggunakan satu set penyangga kayu keras yang terdiri dari tiga bagian sebagai penyangga. Perusahaan menggunakan sistem penyangga dengan tinggi 2,4 m, lebar 2,9 m pada bagian atas, lebar 3,4 m pada kaki penyangga, dan jarak 0,8 m dari penyangga lainnya. Ketika menerapkan jarak yang sama antara penyangga di setiap titik, lubang yang lebih dalam akan mengalami peningkatan tekanan dari batuan, yang akan menyebabkan dimensi lubang bukaan menjadi lebih kecil dari awalnya.

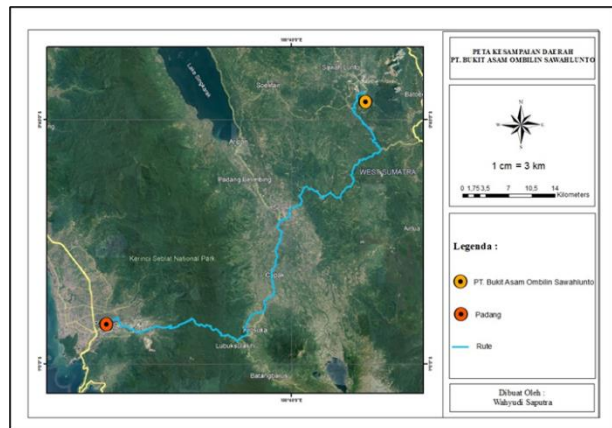
Sistem penyangga diperlukan untuk mengatasi ketidakstabilan lubang bukaan di lokasi penambangan J.3F – J.37 underground mine PT. Bukit Asam Ombilin Sawahlunto. Studi mengenai beban runtuh yang akan ditopang harus dilakukan terlebih dahulu agar dapat memberikan rekomendasi penyanggaan yang terbaik. Analisis beban runtuh tersebut kemudian digunakan untuk memberikan acuan penyangga untuk wilayah penambangan J.3F – J.37, yang diharapkan dapat menghasilkan penyangga terbaik.

Karena di PT. Bukit Asam Ombilin Sawahlunto saat ini sudah tidak ada aktivitas penambangan, maka diperlukan analisis terhadap kestabilan lubang bukaan pada saat ini untuk menjamin keamanan dari lubang bukaan serta untuk mempersiapkan sistem penyangga yang paling optimal untuk lubang bukaan.

2 Kajian Pustaka

2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Produksi batu bara oleh PT Bukit Asam Ombilin Sawahlunto berada di Desa Sawahlungu, Rantih, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Dari pusat Kota Padang, jarak tempuh 94 km melalui jalan beraspal untuk mencapai area pertambangan. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan lokasi PT Bukit Asam Ombilin Sawahlunto.



Gambar 1. Peta Lokasi PT. Bukit Asam Ombilin Sawahlunto.

2.2 Penambangan Batu Bara Bawah Tanah

Keputusan tentang teknik penambangan yang akan digunakan di underground mine dipengaruhi oleh sejumlah faktor. Variabel-variabel tersebut meliputi panjang, ketebalan, lebar, kemiringan, kedalaman operasi, kadar endapan, sumber daya setempat, seperti tenaga kerja dan material, ketersediaan modal, batas-batas dengan badan bijih, karakteristik batuan, biaya penambangan, produktivitas, dan masalah lingkungan. Metode penambangan room and pillar digunakan oleh PT. Bukit Asam Ombilin Sawahlunto berdasarkan beberapa variabel yang telah disebutkan sebelumnya.

2.3 Tegangan Disekitar Terowongan

Mindlin (1939) menyarankan agar tekanan di sekitar terowongan dipelajari. Dia menemukan solusi untuk masalah tekanan yang disebabkan oleh gravitasi pada penampang melingkar pada benda padat elastis semi tak terbatas dengan menggunakan teori elastisitas. Tiga kondisi tekanan, yaitu tekanan yang jauh dari terowongan, tekanan yang dekat dengan terowongan, dan tekanan yang mengelilingi penyangga terowongan, dapat ditemukan di bagian dalam bumi pada kedalaman di sekitar terowongan.

2.4 Sistem klasifikasi RMR-System

2.4.1 Uji Uniaxial Compressive Strength (UCS)

Uji beban titik dan uji kuat tekan uniaksial, kadang-kadang disebut sebagai UCS dan PLL, dapat digunakan untuk mengukur kuat tekan seluruh batuan. Sampel batuan dikompresi dengan UCS menggunakan mesin penekan dalam satu arah (uniaxial).

Tabel 1. Pembobotan Menggunakan nilai UCS.

| PLI (MPa) | UCS (MPa) | Qualitative Description | Weight |
|-----------|-----------|-------------------------|--------|
| >10 | > 250 | Very strong | 15 |
| 4-10 | 100 - 250 | Very powerful | 12 |
| 2-4 | 50-100 | Strong | 7 |
| 1-2 | 25-50 | Keep | 4 |
| | 5-25 | Weak | 2 |
| | 1-5 | Very weak | 1 |
| | <1 | Very weak | 0 |

2.4.2 Rock Quality Design

Biasanya, RQD ditentukan dengan menghitung secara langsung singkapan batuan dengan rekahan (baik lapisan batuan maupun sesar) menggunakan persamaan yang ditunjukkan di bawah ini. Hubungan antara nilai RQD dan jarak antar bidang (J) diberikan oleh Priest, S.D. Hudson pada tahun 1976.

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

Keterangan:

λ = Perbandingan banyak kekar per meter

Tabel 2. Indeks RQD.

| RQD | Rock Quality | Weight |
|---------|--------------|--------|
| 90-100% | Perfect | 20 |
| 75-90% | Good | 17 |
| 50-75% | Keep | 13 |
| 25-50% | Ugly | 8 |
| <25% | Very ugly | 3 |

2.4.3 Spasi Diskontinuitas

Jarak antara kelompok bidang diskontinuitas ditunjukkan oleh jaraknya. Menurut Hudson (1989), terdapat korelasi antara jarak bidang diskontinuitas suatu lokasi dengan nilai RQD massa batuan. Nilai spasi bidang diskontinuitas meningkat seiring dengan meningkatnya nilai RQD. Untuk mendapatkan spasi bidang diskontinuitas rata-rata, Hudson (1989) memberikan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

x = Jarak rata – rata spasi bidang diskontinuitas

λ = Frekuensi kekar per meter

Tabel 3. Identifikasi Jarak Bidang Diskontinuitas.

| Description | Distance | Weight |
|-------------|--------------|--------|
| Very wide | > 2 m | 20 |
| Wide | 0.6 – 2 m | 15 |
| Keep | 0.2 – 0.6 m | 10 |
| Rapat | 0.06 – 0.2 m | 8 |
| Very tight | <0.06 m | 5 |

2.4.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas

Bieniawski menggunakan sejumlah variabel untuk memperkirakan kualitas permukaan bidang diskontinu, termasuk:

- Kemenerusan (persistence/continuity), panjang diskontinuitas
- Bukaan (separation/aperture), jarak tegak lurus antar rekahan
- Kekerasan (roughness), kenampakan permukaan kekar
- Pengisi (infilling/gouge), material pengisi kekar
- Pelapukan (weathering), tingkat kelapukan material

Tabel 4. Panduan Klasifikasi Kondisi Kekar.

| Parameters | Rating | | | | |
|------------------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|
| | < 1 m | 1 – 3 m | 3 – 10 m | 10 - 20 m | > 20 m |
| Persistence/continuity | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| Separation/aperture | None | < 0.1 mm | 0.1 – 1 mm | 1 – 5 mm | > 5 mm |
| Roughness | Very rude | Rough | A little rough | Soft | Slickensided |
| Infilling/gouge | None | Hard | | Soft | |
| Weathering | 6 | < 5 mm | > 5 mm | < 5 mm | > 5 mm |
| | Not weathered | Slightly weathered | weathered | Very weathered | Destroyed |

2.4.5 Kondisi Air Tanah

Inspeksi visual dilakukan pada dinding dan atap terowongan untuk memverifikasi kondisi air tanah. Setelah itu, pernyataan umum tentang kondisi air tanah, seperti apakah air tanah sepenuhnya kering, lembap, lembab, menetes, atau mengalir, dapat dibuat.

Tabel 5. Situasi Air Tanah.

| General conditions | Dry | Humid | Wet | Dripping | Flowing |
|--|------|-------|-----------|-----------|---------|
| Water discharge every 10 m tunnel length (liters / minute) | None | < 10 | 10 – 25 | 25 – 125 | > 125 |
| Water pressure at stout / major principal voltage | 0 | < 0.1 | 0.1 – 0.2 | 0.2 – 0.5 | > 0.5 |
| Weight | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

2.4.6 Orientasi bidang diskontinu

Kemiringan dan arah bidang diskontinuitas ditunjukkan oleh nilai strike dan dip. Evaluasi kuantitatif bidang diskontinuitas, yang sangat penting dalam penggalian terowongan dan rekayasa lereng batuan, harus disediakan oleh nilai strike dan dip yang digunakan dalam rekayasa batuan.

Tabel 6. Efek Orientasi Diskontinuitas Pada Terowongan.

| Strike perpendicular to the direction of progress of the opening hole | | | |
|---|---------------|-------------------------------------|---------------|
| In the direction of dips | | Opposite direction to dips | |
| Dip 45° - 90° | Dip 20° - 45° | Dip 45° - 90° | Dip 20° - 45° |
| Very profitable | Auspicious | Keep | Unprofitable |
| Strike parallel direction of progress of the opening hole | | Dip 0° - 20° irrespective of strike | |
| Dip 45° - 90° | Dip 20° - 45° | | |
| Very unfavorable | Keep | Keep | |

Menurut teknik sistem RMR, nilai atau bobot dialokasikan untuk karakteristik kekuatan massa batuan, desain kualitas batuan, jarak bidang diskontinuitas, kondisi bidang diskontinuitas, air tanah, dan orientasi bidang pada Tabel 7.

Tabel 7. Kualitas Massa Batuan.

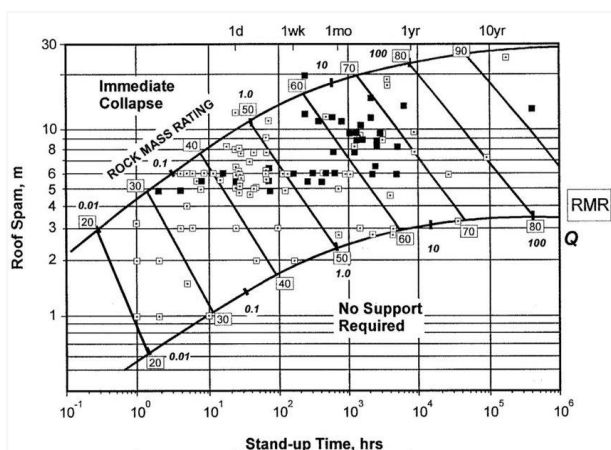
| Parameters | Weight | | | | |
|-------------------|-----------|---------|---------|---------|----------|
| RMR value | 81 – 100 | 61 – 80 | 41 – 80 | 21 – 40 | < 20 |
| RMR class number | I | II | III | IV | V |
| GSI value | 76 – 95 | 56 – 75 | 36 – 55 | 21 – 35 | < 20 |
| Rock Mass Quality | Excellent | Good | Keep | Bad | Very bad |

2.5 Sistem penyangga dengan klasifikasi Rock Mass Rating

Ketika memilih sistem perkuatan atau penopang terowongan, RMR dapat digunakan sebagai referensi. Kedekatan terowongan dengan permukaan, ukuran dan bentuknya, serta teknik penggalian yang digunakan, semuanya berperan dalam keputusan ini.

2.5.1 Perhitungan Stand-up Time

Evaluasi waktu berdiri batuan memiliki dampak yang besar terhadap waktu pemasangan dan pemilihan sistem pendukung. Memplotkan nilai RMR dan bentang pada grafik interpolasi waktu berdiri geomekanis dari grafik pada gambar 2 akan menghasilkan waktu berdiri, yang bergantung pada peringkat batuan.



Gambar 2. Hubungan Antara Roof Span dan Stand-up Time

2.5.2 Rekomendasi Sistem Penyangga

Menurut Bieniewski (1989), waktu swadaya terowongan dapat ditentukan oleh saran sistem penyangga massa batuan atau sistem perkuatan. Selain itu, Bieniewski mendefinisikan jenis, diameter, dan panjang beton cor, shotcrete, steel set, dan rock bolts menurut tabel 9.

Tabel 9. Pedoman Penggalian dan Penyanggaan Terowongan Metode Klasifikasi RMR-System.

| RMR Class | Excavation Methods | Rock Bolts (diameter 20 mm, fully grouted) | Firing Concrete | Steel Set |
|-----------|---|--|---|--|
| I | Full face, with 3 m progress | In general, it does not need a buffer | | |
| II | Full face, with progress of 1.5 – 3 m. installation of full support 20 m from face | Rock bolts on the roof 3 m long, 2.5 m spacing, with the addition of wire mesh | 50 mm on roof | Not required |
| III | Top heading and bench 1.5 – 3 m kemajuan pada top heading, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10 m dari face | 4 m long stone bolts, 1.5 – 2 m space on the roof wall, and wire mesh installation | 50 – 100 mm on the roof, and 30 mm on the walls | Not required |
| IV | Top heading and bench 1.5 – 3 m kemajuan pada top heading, penyangga sesegera saat penggalian. Penyangga penuh 10 m dari face | 4 m long stone bolts, 1.5 – 2 m space on walls and roofs, and wire mesh installation | 100 – 150 mm pada atap, 100 mm pada dinding | Light to medium with a space of 1.5 m |
| V | Multiple drift progress 0.5 = 1 m at top heading. Installation of supports as soon as possible at the time of excavation. Firing concrete as soon as possible after blasting. | Baut batuan panjang 5 m – 6 m, spasi 1 – 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh | 150 – 200 mm on roof, 150 mm on wall, 50 mm on face | Medium to heavy with a space of 0.75 m. forepoling if deemed necessary |

2.5.3 Estimasi Runtuhan

Berdasarkan penelitiannya di tambang batu bara, Unal (1983) menciptakan korelasi yang ditunjukkan di bawah ini untuk menentukan tekanan penyangga dengan menggunakan RMR pada lubang beratap datar. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya beban vertikal dan tinggi beban pada bukaan bawah tanah:

Tinggi Runtuhan (H_t)

$$H_t = \frac{(100 - RMR)}{100} \times B \tag{3}$$

Beban Runtuhan (P_{RMR})

$$P_{RMR} = \frac{(100 - RMR)}{100} \times \gamma \times B \tag{4}$$

Keterangan:

H_t = Tinggi runtuh, meter

B = Lebar terowongan, meter

$PRMR$ = Beban runtuh, ton/m³

γ = Densitas batuan, ton/m³

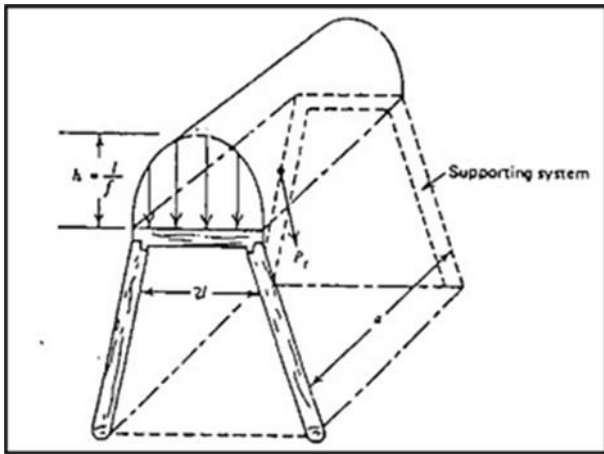
2.6 Penyangga Kayu Three Piece Set

Kayu adalah bahan ringan yang mudah digunakan dalam sistem penyangga dan transportasi. Meskipun 11 kali lebih ringan dari baja, bahan ini dua kali lebih tidak tahan lama. Karena itu, kayu merupakan bahan yang hemat biaya jika digunakan sebagai penopang untuk jangka waktu yang singkat.

Tabel 10. Kelas Untuk Kekuatan Kayu

| Wood Strong Grade | Specific Gravity | Curvature Power(kg/cm ²) | Compressive Strength (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 |

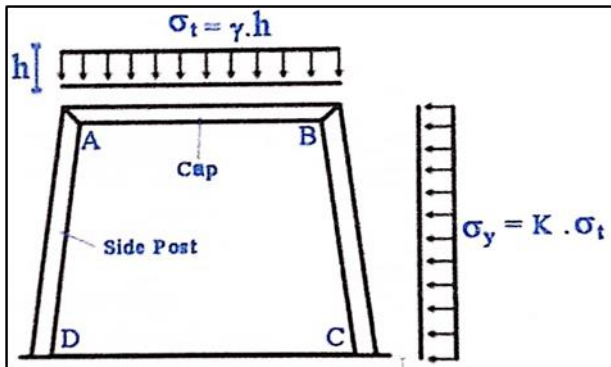
Digunakan pada bukaan dengan tiga komponen utama, bagian atas (atap), bagian samping/tiang (sisi samping), dan bentuk persegi panjang. Gambar 3 di bawah ini mengilustrasikannya.



Gambar 3. Penyangga Three Piece Set

2.7 Rancangan Penyangga Kayu

Three piece set adalah konfigurasi penyangga kayu yang paling sering digunakan. Ukuran "cap" dan "side post" dapat dihitung berdasarkan jumlah tekanan yang diterapkan.



Gambar 4. Tegangan Pada Cap dan Side Post Penyangga Kayu

2.7.1 Tegangan pada Bagian Cap

Rangka adalah pilar penyangga kayu yang dipasang di atap. Struktur kayu atap harus lebih lentur daripada beban lentur yang akan ditanggungnya. Tegangan lentur diukur dengan cara berikut:

$$qt = \sigma v \times a \tag{5}$$

$$M_{max} = 0,125 \times qt \times l^2 \tag{6}$$

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \tag{7}$$

$$\sigma b = \frac{M_{max}}{W} \tag{8}$$

Keterangan:

- σv = Tekanan pada atap (kg/cm²)
- σb = Kuat lengkung batuan runtuh (kg/cm²)
- qt = Beban persatuan panjang (kg/m)
- h = Tinggi penampang kayu (m)

- I = Panjang cap (m)
- a = Jarak antar penyangga (m)
- d = Diameter penampang kayu (cm)
- M_{max} = Momen maksimal (Kgc^m)
- W = Modulus tampang (m³)

2.7.2 Tegangan Pada Side Post

Tiang samping mengalami respons tekanan samping dan panjang tutup ujung. Oleh karena itu, perlu untuk menganalisis tekanan tekan dan tekukan dalam desain. Biasanya, diameter tiang samping yang digunakan kurang-lebih sama dengan tutupnya.

$$\sigma sf \geq \sigma n + \sigma b \tag{9}$$

$$\sigma sf \geq -w \frac{R}{F} \pm 0,85 \frac{M_{max}}{W} \tag{10}$$

$$F = \frac{1}{4} \pi dy^2 = 0,785 \pi dy^2 \tag{11}$$

$$M_{max} = 0,125 qy Ly^2 \tag{12}$$

$$W = 0,098 dy^3 \tag{13}$$

$$\lambda = \frac{4Lk}{dy} = \frac{4Ly}{dy} \tag{14}$$

$$\omega = (\lambda) \tag{15}$$

$$\sigma sf \geq -0,637 \omega qt \frac{L}{dy^2} \pm 1,084 qt \frac{Ly^2}{dy^3} \tag{16}$$

Keterangan:

- σn = Tegangan normal (ton/m²)
- ω = Buckling factor
- λ = Angka keterampilan (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)

2.7.3 Faktor Keamanan Penyangga Kayu

Nilai faktor keamanan di setiap terowongan dinyatakan minimal 1,5 sesuai dengan Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik dan Benar yang terdapat pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1827K/30/MEM/2018.

FK bagian cap

$$FK = \frac{\sigma sf}{\sigma b} \tag{17}$$

FK bagian side post

$$FK = \frac{\sigma sf}{\sigma n \pm \sigma b} \tag{18}$$

Keterangan:

- σsf = Tegangan izin kayu (kg/cm²)
- σb = Tegangan pelengkungan pada cap (kg/cm²)
- $\sigma n \pm \sigma b$ = Tegangan pada site post (kg/cm²)
- Dengan ketentuan
- FK < 1,5 = Penyangga tidak aman
- FK = 1,5 = Penyangga aman
- FK > 1,5 = Penyangga aman

3 Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Penelitian terapan adalah komponen dari penelitian ini tergantung pada tujuan penerapannya. Tujuan penelitian terapan, menurut Sugiyono (2009), adalah mengumpulkan informasi yang dapat digunakan untuk pemecahan masalah. Metode analisis data yang digunakan menawarkan hasil kuantitatif atau numerik berdasarkan teori perhitungan.

3.1.2 Objek Penelitian

Lubang J.3F-J.37 adalah subjek dari penyelidikan ini. Karena tidak ada perencanaan penyangga berdasarkan fitur batuan pada jalur tersebut, maka diperlukan pemeriksaan penyangga berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan.

3.1.3 Lokasi Penelitian

Di tambang bawah tanah yang dioperasikan oleh PT Bukit Asam Ombilin Sawahlunto, data untuk penelitian ini dikumpulkan. Setelah itu, penyelidikan dibatasi pada lubang J.3F-J.37.

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

3.2.1 Data Primer

Informasi yang secara langsung dikumpulkan dari keadaan tersebut disebut sebagai data primer. Ukuran bukaan, keadaan diskontinuitas, mengevaluasi sifat mekanik dan fisik batuan, dan menguji sifat mekanik dan fisik kayu yang digunakan sebagai penyangga adalah beberapa contoh data lapangan.

3.2.2 Data Sekunder

Informasi yang telah dibuat dan diperoleh dari sumber atau organisasi lain disebut sebagai data sekunder. Publikasi seperti peta tata letak lokasi, peta topografi, dan peta geologi, serta informasi dari lembaga pemerintah terkait, laporan studi sebelumnya, dan beberapa literatur lainnya, merupakan sumber data sekunder.

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Untuk mengevaluasi hipotesis terkait penelitian, tinjauan literatur dari buku, laporan, jurnal penelitian yang relevan, dan sumber-sumber online dilakukan. Tujuan dari studi ini adalah untuk menjadi titik awal bagi penelitian selanjutnya.

3.3.2 Observasi Lapangan

Kegiatan peninjauan lapangan secara langsung, observasi lapangan melibatkan pengamatan terhadap kondisi wilayah studi dan operasi pertambangan di sekitarnya. Pengamatan ini juga digunakan sebagai langkah awal untuk mengetahui apakah layak untuk melakukan penelitian di lokasi tertentu

3.3.3 Teknik Pengambilan Data

a. Data primer

Data primer yang dibutuhkan sebagai berikut:

- 1) Pengukuran dari dimensi penyangga
- 2) Panjang cap penyangga
- 3) Lebar dari kaki penyangga
- 4) Diameter side post
- 5) Tinggi penyangga
- 6) Jarak antar penyangga
- 7) Data geologi lubang bukaan
- 8) Arah penambangan
- 9) Data diskontinuitas, meliputi:
 - a) Strike dan dip
 - b) Persistence kekar dan separation
 - c) Kekerasan, pengisi, pelapukan dan kondisi air tanah
 - d) Data geografis lokasi penambangan, seperti: koordinat lokasi penelitian dan elevasi mulut lubang di atas permukaan
 - e) Sampel batuan pada lubang J.3F – J.37
 - f) Sampel kayu penyangga pada lubang J.3F – J.37

b. Data sekunder

Data utama tinjauan literatur dan informasi yang sudah tersedia di perusahaan digunakan untuk mengumpulkan data ini. Fakta-fakta ini terdiri dari:

- 1) Peta wilayah izin usaha pertambangan
- 2) Peta kesampaian daerah
- 3) Layout penambangan lubang jalur J.3F – J.37

3.3.4 Teknik Pengolahan Data

- a. Memeriksa karakteristik mekanik dan fisik batuan di Laboratorium pertambangan departemen teknik pertambangan Universitas Negeri Padang melakukan pengujian sifat fisik untuk menghasilkan parameter sifat fisik, salah satunya adalah berat isi batuan. sifat fisik, dengan persentase batuan pada khususnya.
- b. Menggunakan alat uji beban titik untuk mengukur kekuatan tekan batuan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pengujian umum. Indeks kekuatan beban titik (Is) yang dihasilkan oleh pengujian ini akan menjadi tolak ukur untuk menentukan kekuatan tekan dari batuan (UCS).
- c. Menghitung nilai RMR adalah dengan memasukkan nilai bobot untuk parameter-parameter RMR-System pada lembar pemetaan geoteknik sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan.

- d. Menghitung nilai waktu berdiri massa batuan selama durasi tertentu. Pada akhirnya, kita akan memasukkan hasil penimbangan nilai RMR ke dalam kurva untuk menentukan waktu massa batuan untuk berdiri.
- e. Menggunakan nilai RMR untuk menghitung beban keruntuhan batuan
- f. Menggunakan perangkat lunak dips untuk menganalisis arah umum sambungan, data sambungan yang diperoleh akan dimasukkan ke program dips data per domain dimasukkan sehingga arah umum dapat ditentukan. Nantinya, perangkat lunak unwedge akan menggunakan panduan umum ini untuk mengidentifikasi irisan dengan nilai faktor keamanan kurang dari 1,5.
- g. Setelah orientasi umum baji dipahami, selanjutnya dianalisis dengan menggunakan program unwedge untuk mengidentifikasi kemungkinan formasi baji. Baji dianggap tidak stabil jika nilai faktor keamanannya kurang dari 1,5.
- h. Memberikan rekomendasi jenis penyangga berdasarkan penilaian sistem RMR terhadap massa batuan.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lubang pendidikan J.3F-J37 PT Bukit Asam Ombilin Sawahlunto. Dengan arah N 185°, lubang bukaan digali dengan kemiringan lubang bukaan 20° hingga 25° searah dengan strike lapisan batubara.

4.1.2 Sifat Fisik dan Mekanik

- a. Uji sifat fisik
Untuk mempermudah penulis dalam menguji batuan dalam pengujian ini, Claystone CF (angka) dan Coal BF (angka) masing-masing diberi kode sampel.

Tabel 11. Hasil Uji Sifat Fisik Claystone

| Claystone | Sample Name | Wn (g) | Ww (g) | Ws (g) | Wo (g) |
|-----------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| | CF 1 | 119,34 | 123,96 | 80,75 | 116,66 |
| | CF 2 | 88,37 | 91,84 | 60,19 | 86,38 |
| | CF 3 | 92,35 | 95,79 | 61,52 | 90,12 |

Tabel 12. Hasil Uji Sifat Fisik Batubara

| Coal | Sample Name | Wn (g) | Ww (g) | Ws (g) | Wo (g) |
|------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| | BF 1 | 41,75 | 43,88 | 8,87 | 39,71 |
| | BF 2 | 44,65 | 46,63 | 9,56 | 42,76 |
| | BF 3 | 63,34 | 65,37 | 13,16 | 60,81 |

- b. Uji sifat mekanik batuan
Sampel yang akan diuji berbentuk asimetris dalam hal panjang (W1), lebar (W2), dan tinggi (T). Pada pengujian ini, penulis memberikan kode untuk sampel Claystone CM (angka) dan Coal BM (angka).

Tabel 13. Data Pengujian Point Load Index Claystone

| Claystone | Sample Name | Conus Distance (D) (mm) | W1 (mm) | W2 (mm) | W (mm) | P | |
|-----------|-------------|-------------------------|---------|---------|--------|------|-------|
| | | | | | | (kn) | (n) |
| | CM 1 | 57 | 110 | 75 | 92,5 | 1,89 | 1.890 |
| | CM 2 | 54 | 95 | 55 | 75 | 2,16 | 2.160 |
| | CM 3 | 67 | 110 | 68 | 89 | 1,73 | 1.730 |

Tabel 14. Data Pengujian Point Load Index Batubara

| Coal | Sample Name | Conus Distance (D) (mm) | W1 (mm) | W2 (mm) | W (mm) | P | |
|------|-------------|-------------------------|---------|---------|--------|------|-----|
| | | | | | | (kn) | (n) |
| | BM 1 | 72 | 110 | 80 | 95 | 0,88 | 880 |
| | BM 2 | 57 | 125 | 70 | 97,5 | 0,94 | 940 |
| | BM 3 | 57 | 100 | 75 | 87,5 | 0,90 | 900 |

4.2 Analisis Data

4.2.1 Sifat Fisik Batuan

Analisis yang sama juga dilakukan terhadap sampel fisik batu lempung dan batu bara. Tabel di bawah ini menunjukkan temuan-temuan dari investigasi sifat fisik:

Tabel 15. Hasil Perhitungan Sifat Fisik Claystone

| Claystone | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------------|
| Sample | CF 1 | CF 2 | CF 3 | Rata - rata |
| Natural density (gr/cm ³) | 2,76 | 2,79 | 2,69 | 2,74 |
| Dry density (gr/cm ³) | 2,69 | 2,72 | 2,62 | 2,68 |
| Saturation density (gr/cm ³) | 2,86 | 2,90 | 2,79 | 2,85 |
| Apparent specific gravity | 2,69 | 2,72 | 2,62 | 2,68 |
| True specific gravity | 3,24 | 3,29 | 3,15 | 3,23 |
| Natural water content (%) | 2,29 | 2,30 | 2,47 | 2,35 |
| Absorption (%) | 6,25 | 6,32 | 6,29 | 6,29 |
| Saturation degree (%) | 36,71 | 36,44 | 39,32 | 37,49 |
| Porosity (%) | 16,89 | 17,25 | 16,54 | 16,89 |
| Void ratio | 0,203 | 0,208 | 0,198 | 0,203 |

Tabel 16. Hasil Perhitungan Sifat Fisik Batubara

| Coal | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------------|
| Sample | BF 1 | BF 2 | BF 3 | Rata - rata |
| Natural density (gr/cm ³) | 1,19 | 1,20 | 1,21 | 1,20 |
| Dry density (gr/cm ³) | 1,13 | 1,15 | 1,16 | 1,15 |
| Saturation density (gr/cm ³) | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| Apparent specific gravity | 1,13 | 1,15 | 1,16 | 1,15 |
| True specific gravity | 1,28 | 1,28 | 1,27 | 1,28 |
| Natural water content (%) | 5,13 | 4,42 | 4,16 | 4,57 |
| Absorption (%) | 10,50 | 9,05 | 7,49 | 9,01 |
| Saturation degree (%) | 48,91 | 48,83 | 55,48 | 51,08 |
| Porosity (%) | 11,91 | 10,43 | 8,73 | 10,36 |
| Void ratio | 0,135 | 0,116 | 0,095 | 0,115 |

4.2.2 Sifat Mekanik Batuan

Untuk menentukan kekuatan tekan batuan utuh, pengujian PLI dilakukan.

Tabel 17. Hasil Analisis Point Load Index Claystone

| Claystone | Sample Name | De ² | De | F | IS (MPa) | UCS (MPa) | P | |
|-----------|-------------|-----------------|-------|------|----------|-----------|------|----------|
| | | | | | | | (kn) | (n) |
| | CM 1 | 6.710,45 | 81,91 | 1,24 | 0,35 | 8,08 | 1,89 | 1.890 |
| | CM 2 | 5.154,55 | 71,79 | 1,17 | 0,49 | 11,34 | 2,16 | 2.160 |
| | CM 3 | 7.589,27 | 87,11 | 1,28 | 0,29 | 6,73 | 1,73 | 1.730 |
| | Rata - rata | | | | 0,37 | 8,72 | 1,92 | 1.926,67 |

Tabel 18. Hasil Analisis Point Load Index Batubara

| Coal | Sample Name | De ² | De | F | IS (MPa) | UCS (MPa) | P | |
|------|-------------|-----------------|-------|------|----------|-----------|------|--------|
| | | | | | | | (kn) | (n) |
| | BM 1 | 8.705,45 | 93,30 | 1,32 | 0,13 | 3,14 | 0,88 | 880 |
| | BM 2 | 7.073,18 | 84,10 | 1,26 | 0,16 | 3,86 | 0,94 | 940 |
| | BM 3 | 6.347,73 | 79,67 | 1,23 | 0,17 | 4,02 | 0,90 | 900 |
| | Rata - rata | | | | 0,15 | 3,67 | 0,90 | 913,33 |

4.3 Analisis Klasifikasi Massa Batuan

4.3.1 Parameter – Parameter RMR-System

- a. **Kuat tekan batuan**
Berdasarkan pengujian, nilai Indeks Kekuatan untuk sampel Claystone dan Batubara masing-masing adalah 0,15 MPa dan 0,37 MPa, atau 8,72 MPa dan 3,67 MPa, masing-masing dalam UCS dan MPa. Claystone dan batubara masing-masing memiliki nilai 2 dan 1, ketika nilai kuat tekan yang dihitung dari batuan tersebut ditempatkan ke dalam tabel Sistem Peringkat Massa Batuan (Bieniawski, 1989).
- b. **RQD**
Nilai RQD rata-rata untuk bagian atas, dinding kanan, dan dinding kiri masing-masing adalah 89,90%, 83,82%, dan 81,89%, sesuai dengan hasil perhitungan RQD yang disajikan pada tabel 26. Oleh karena itu, bobot atap dan bobot dinding kanan dan dinding kiri adalah 17.
- c. **Spasi bidang diskontinuitas**
Meter lainnya diperiksa dengan cara yang serupa dengan yang dijelaskan di atas. Seperti yang dinyatakan dalam tabel 27, nilai jarak bidang diskontinuitas dihitung dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah disebutkan sebelumnya. Tabel 27 menunjukkan bahwa berat dinding kanan adalah 8. Berat dinding kiri adalah 8. Berat nilai jarak bidang diskontinuitas atap adalah 10. Dinding kanan adalah 14,95 cm (149,5 mm) dan dinding kiri adalah 13,84 cm (138,4).
- d. **Kondisi bidang diskontinuitas**
 - 1) Data diperoleh dengan panjang rata-rata 0,68 m, lebar rongga 0,15 mm, tingkat kekerasan halus, dan rata-rata tidak lapuk dari hasil pengamatan kondisi bidang diskontinuitas atap. Oleh karena itu, kondisi diskontinuitas atap memiliki bobot 20 sesuai dengan tabel pembobotan kelas massa batuan.
 - 2) Pengamatan kondisi bidang diskontinuitas pada dinding kanan menghasilkan data dengan panjang rata-rata 0,61 m, lebar rongga 0,15 mm, tingkat kekerasan agak kasar, tidak ada pengisian, dan rata-rata tidak ada keausan. Oleh karena itu, dengan menggunakan rumus pembobotan untuk kelas massa batuan, kondisi diskontinuitas pada dinding kanan memiliki bobot 22.
 - 3) Data yang diperoleh dari hasil pengamatan kondisi bidang diskontinuitas dinding kiri

memiliki panjang kontinuitas rata-rata 0,73 meter, lebar rongga 0,14 milimeter, tingkat kekerasan sedikit, tidak ada isian, dan secara umum tidak ada lapuk. Oleh karena itu, kondisi diskontinuitas dinding kiri memiliki bobot 22 sesuai dengan tabel pembobotan untuk kelas massa batuan.

- e. **Kondisi air tanah**
Penulis menyimpulkan bahwa kondisi air tanah di atap kering berdasarkan data observasi yang dikumpulkan.
- f. **Orientasi bidang diskontinuitas**
 - 1) Atap dari hasil pengolahan data dengan software DIPS 6.0 didapatkan kekar dominan N 122° E / 37° dan arah penambangan pada N 185°, dimana arah kekar searah dengan arah penambangan dengan kemiringan rata – rata 37°. Berdasarkan tabel pembobotan kelas massa batuan kemiringan masuk ke dalam 20° - 45° dengan pembobotan -5
 - 2) Dinding Kanan dari hasil pengolahan data dengan software DIPS 6.0 didapatkan kekar dominan N 194° E / 18° dan arah penambangan pada N 185, dimana arah kekar searah dengan arah penambangan dengan kemiringan rata-rata 18. Berdasarkan tabel pembobotan kelas massa batuan kemiringan masuk ke dalam 0°-20° (Irrespective of Strike) dengan pembobotan -5
 - 3) Dinding Kiri dari hasil pengolahan data dengan software DIPS 6.0 didapatkan kekar dominan N 126° E / 44° dan arah penambangan pada N 185°, dimana arah kekar searah dengan arah penambangan dengan kemiringan rata – rata 44°. Berdasarkan tabel pembobotan kelas massa batuan kemiringan masuk ke dalam 20° - 45° dengan pembobotan -5.

4.3.2 Klasifikasi Massa Batuan RMR-System

- a. **Klasifikasi Massa Batuan Atap**

Tabel 19. Klasifikasi Massa Batuan Bagian Atap

| Classification Parameters of Rock Mass on Roof | | | | |
|--|--------------------------------|-------------|------------------|---|
| No | Parameters | Condition | Rating | |
| 1 | Rock Strength (UCS) | 8,72 MPa | 2 | |
| 2 | Rock Quality Designation (RQD) | 89,90% | 17 | |
| 3 | Spacing of Discontinuities | 214,29 mm | 10 | |
| 4 | Condition | Persistence | 0,68 m | 6 |
| | | Aperture | 1,6 mm | 1 |
| | | Roughness | Halus | 1 |
| | | Infilling | None | 6 |
| | | Weathering | Tidak melapuk | 6 |
| 5 | Ground water | Kering | 15 | |
| 6 | Strike and dip of joint set | Sedang | -5 | |
| Total ranking | | | 59 | |
| Rock Mass Class | | | III Fair Rock | |

b. Klasifikasi massa batuan dinding kanan

Tabel 20. Klasifikasi Massa Batuan Bagian Dinding Kanan

| Classification Parameters of Rock Mass on Roof | | | | |
|--|--------------------------------|-------------|---------------|---|
| No | Parameters | Condition | Rating | |
| 1 | Rock Strength (UCS) | 3,67 MPa | 1 | |
| 2 | Rock Quality Designation (RQD) | 83,82% | 17 | |
| 3 | Spacing of Discontinuities | 149,5 mm | 8 | |
| 4 | Condition | Persistence | 0,61 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 | | | 53 | |
| Rock Mass Class | | | III | |
| | | | Fair Rock | |

c. Klasifikasi massa batuan dinding kiri

Tabel 21. Klasifikasi Massa Batuan Bagian Dinding Kiri

| Classification Parameters of Rock Mass on Roof | | | | |
|--|--------------------------------|-------------|---------------|---|
| No | Parameters | Condition | Rating | |
| 1 | Rock Strength (UCS) | 3,67 MPa | 1 | |
| 2 | Rock Quality Designation (RQD) | 81,89% | 17 | |
| 3 | Spacing of Discontinuities | 138,4 mm | 8 | |
| 4 | Condition | Persistence | 0,73 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 | | | 53 | |
| Rock Mass Class | | | III | |
| | | | Fair Rock | |

4.4 Kestabilan Terowongan

4.4.1 Nilai pengolahan software roclab

Temuan dari analisis Perangkat Lunak Roclab ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 22. Analisis Software Roclab

| Material | Cohesion (c) | | Inner Shear Angle (φ) |
|-----------|--------------|--------|-----------------------|
| | MPa | kPa | |
| Claystone | 0.254368 | 254.36 | 29.132 |
| Coal | 0.107311 | 107.31 | 30.1713 |

4.4.2 Potensi longsoran baji menggunakan Software Unwedge

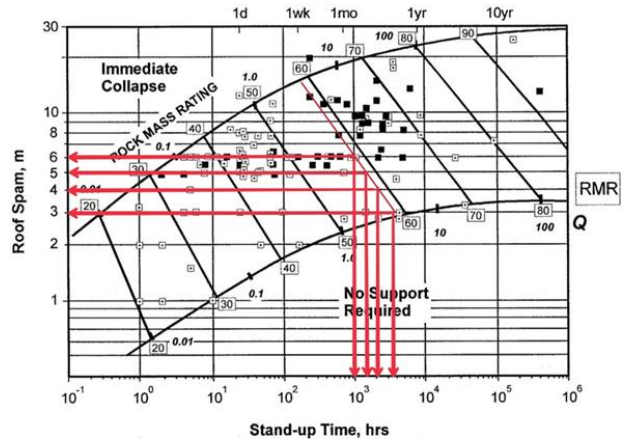
Tabel 22. Analisis Software Unwedge

| No | Opening hole section | SF |
|----|----------------------|-------|
| 1 | Right wedge | 7.434 |
| 2 | Left wedge | 4.221 |
| 3 | Roof wedge | 0.655 |

Berdasarkan statistik tersebut, atap Baji memiliki nilai faktor keamanan (SF) yang rendah yaitu 0.655, lebih rendah dari persyaratan faktor keamanan yang tertera pada KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018 yaitu > 1.5. Saran penyangga berbasis RMR-System dapat digunakan untuk perkuatan agar nilai SF menjadi aman.

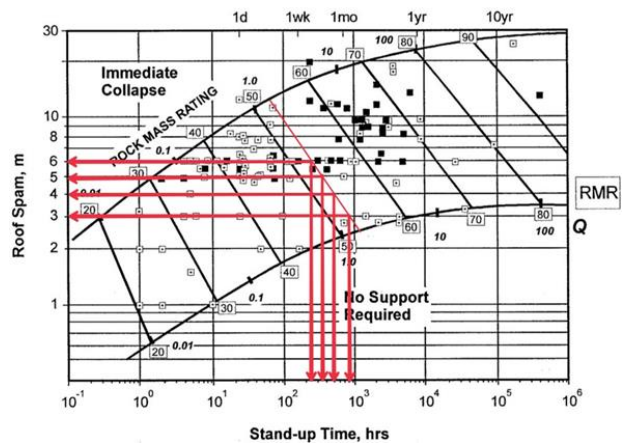
4.5 Rekomendasi Ground Support

4.5.1 Nilai Span dan Stand-up Time



Gambar 5. Analisis Span Dan Stand-up Time Batuan Atap

Menurut temuan bentang maksimum dan waktu berdiri bagian atap, yang digambarkan di atas, lubang bukaan dapat bertahan selama 3500 jam, atau selama 145, 83 hari, dengan kemajuan 3 meter.



Gambar 6. Analisis Span Dan Stand-up Time Batuan Dinding

Berdasarkan hasil bentang maksimum dan waktu berdiri bagian dinding seperti yang ditampilkan di atas, lubang bukaan dapat tetap terbuka selama 800 jam, atau 33,33 hari, dengan kemajuan 3 meter.

4.5.2 Ground Support Berdasarkan RMR-System

Sistem penyangga yang diusulkan RMR-System mengharuskan pemasangan penyangga penuh sejauh 10 meter dari permukaan kerja. Jenis penyangga tanah yang disarankan adalah baut batu yang dipasang dengan hati-hati sepanjang 4 meter, dengan tambahan jaring kawat dan jarak 1,5 hingga 2 meter antara baut batu di dinding dan atap. Selain itu, disarankan untuk memasang shotcrete dengan ketebalan antara 50 dan 100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding.

4.6 Tegangan pada Terowongan

4.6.1 Tegangan Vertikal

Dari perhitungan di atas didapat nilai tinggi runtuh, beban runtuh, dan volume beban runtuh.

Tabel 23. Hasil Analisis Tegangan Vertikal

| Rock | RMR | High Load | Collapse Load |
|-----------|-----|-----------|--------------------------|
| Claystone | 59 | 1,394 m | 4,117 ton/m ² |
| Coal | 53 | 1,598 m | 2,024 ton/m ² |

4.6.2 Tegangan Horizontal

Perhitungan yang disebutkan di atas menghasilkan nilai tegangan horizontal sebesar 1,42 ton/m². Tabel di bawah ini menunjukkan tingkat tegangan vertikal yang dimaksud.

Tabel 24. Hasil Analisis Tegangan Horizontal

| Rock | RMR | K | Horizontal Stress | |
|-----------|-----|--------|--------------------------|--------------------------|
| | | | ton/m ² | kg/cm ² |
| Claystone | 59 | 0,2822 | 1,420 ton/m ² | 0,142 kg/cm ² |
| Coal | 53 | 0,2669 | 0,667 ton/m ² | 0,066 kg/cm ² |

4.7 Rancangan Penyangga

4.7.1 Tegangan Izin Kayu

Menurut perhitungan di atas, kayu tersebut diklasifikasikan sebagai kelas II dan memiliki nilai kuat lentur 800 kg/cm² dan nilai kuat tekan 470 kg/cm².

4.6.2 Tegangan pada Cap

Perhitungan kuat tekan batuan runtuh

$$\sigma_b = M_{max} / W$$

$$\sigma_b = 345.651 \text{ kg cm} / 572,265 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_b = 604,01 \text{ kg/cm}^2$$

4.7.2 Tegangan pada Side Post

Perhitungan tegangan pada side post

$$\sigma_{sf} = -0,637\omega \frac{\sigma_v \alpha l_b}{dy^2} \pm 1,084 \frac{\sigma_h \alpha l_y^2}{dy^3}$$

$$\sigma_{sf} = -0,637 \times 1,55 \frac{0,411 \times 80 \times 290}{18^2}$$

$$- 1,084 \frac{0,142 \times 80 \times 240}{18^3}$$

$$\sigma_{sf} = -29,05 - 0,50$$

$$\sigma_{sf} = 29,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{sf} = 295,5 \text{ ton/m}^2$$

4.8 Faktor Keamanan

Faktor keamanan didefinisikan sebagai kekuatan kayu dalam kaitannya dengan gaya yang diterapkan. Bukaan yang aman adalah bukaan yang nilai FK-nya kurang dari 1,5, sesuai dengan Keputusan Menteri Energi

dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1827 K/30/MEM/2018.

4.8.1 FK Penyangga Bagian Cap

$$FK = \sigma_{sf} / \sigma_b$$

$$FK = 800 \text{ kg/cm}^2 / 604,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = 1,32$$

Nilai 1,32 ditentukan dari perhitungan nilai batas FK. Dimana standar aman KEPMEN 1827K/30/MEM/2018 tidak terpenuhi dengan nilai ini. Untuk mengklasifikasikan FK sebagai aman, jarak penyangga perlu dievaluasi.

4.8.2 FK Penyangga Bagian Side Post

$$FK = \sigma_{sf} / \sigma_b$$

$$FK = 470 \text{ kg/cm}^2 / 29,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = 15,90$$

Nilai FK tiang samping dihitung di atas, dan ditemukan nilai yang lebih besar dari 1,5, yang mengindikasikan bahwa penyangga pada tiang samping aman.

4.8.3 Rekomendasi Penyangga Kayu

Tabel 25. Desain Penyangga Kayu

| Cap Length (m) | Bottom Width (m) | High (m) | Spacing Between Supports (m) | Support Diameter (cm) | FK |
|----------------|------------------|----------|------------------------------|-----------------------|------|
| 2,9 | 3,4 | 2,4 | 50 | 16 | 1,66 |
| | | | 60 | 18 | 1,76 |
| | | | 70 | 18 | 1,51 |
| | | | 80 | 19 | 1,55 |
| | | | 90 | 20 | 1,61 |
| | | | 100 | 21 | 1,68 |
| | | | 110 | 21 | 1,53 |
| | | | 120 | 22 | 1,61 |

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai sifat fisik dan mekanik batuan:
 - 1) Berat isi batu lempung rata-rata 2,68 gr/cm³, sedangkan berat isi batu bara 1,15 gr/cm³.
 - 2) Claystone memiliki nilai indeks beban titik rata-rata sebesar 0,37 MPa, sedangkan batu bara memiliki nilai sebesar 0,15 MPa.
 - 3) Claystone memiliki nilai UCS rata-rata 8,72 MPa sedangkan batubara memiliki nilai 3,67 MPa ketika dikonversi dari PLI ke UCS.

- b. Kelas massa batuan atap, batu lempung, memiliki nilai 59 (Kelas III, Batuan Sedang), sedangkan kelas massa batuan dinding, batu bara, memiliki nilai 53 (Kelas III, Batuan Sedang), sesuai dengan hasil pembobotan kelas massa batuan dengan teknik RMR-System. Berdasarkan pedoman RMR-System, nilai waktu tahan atap adalah 3500 jam atau 145,83 hari, dan nilai waktu tahan batuan dinding adalah 800 jam atau 33,33 hari, dengan bentang 3 meter.
- c. Nilai FK dinding kanan adalah 7,43, FK dinding kiri adalah 4,22, dan FK atap adalah 0,65, berdasarkan studi FK yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak unwedge. Karena nilai FK batuan atap berada di bawah batas aman, maka dilakukan rekayasa penyangga dengan menggunakan RMR-System. FK atap setelah pemasangan rockbolt sepanjang 4 meter adalah 4,86, sedangkan FK atap setelah pemasangan shotcrete setebal 100 mm adalah 3,02.
- d. Nilai FK stempel, 1,32, yang berada di bawah 1,5, ditentukan dengan menggunakan desain penyangga kayu set tiga bagian dengan diameter 18 cm dan jarak antar penyangga 0,8 m. Selain itu, jarak penyangga diubah menjadi 0,7 m untuk menghasilkan nilai FK di atas 1,5, sehingga nilai FK stempel meningkat menjadi 1,51. Rekomendasi geometri penyangga yang sebaiknya digunakan yaitu:
- 1) Berdasarkan nilai FK geometri penyangga yaitu: panjang cap = 2,9 m, lebar bawah = 3,4 m, tinggi = 2,4 m, jarak antar penyangga 0,7 m, dan diameter penyangga 18 cm dengan FK cap sebesar 1,51.
 - 2) Berdasarkan jarak antar penyangga geometri penyangga yaitu: panjang cap = 2,9 m, lebar bawah 3,4 m, tinggi 2,4 m, jarak antar penyangga 1,2 m, dan diameter penyangga 22 cm dengan FK cap sebesar 1,61.

5.2 Saran

- a. Disarankan untuk memasang penyangga tanah berdasarkan RMR-System dengan menggunakan shotcrete setebal 100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding, atau baut batu dengan panjang 4 m dan jarak 1,5 m. Penyangga alternatif juga dapat digunakan, seperti penyangga kayu.
- b. Karena hanya ada sedikit diskusi selama pelaksanaan penelitian ini, maka penelitian lebih lanjut diperlukan, karena selalu ada kemungkinan kondisi lubang bukaan berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alwan, Y. D. (2022). STUDI PEMANFAATAN KAYU KARET SEBAGAI MATERIAL PENYANGGA TAMBANG BAWAH TANAH DI DESA PUALAM SARI, KECAMATAN BINUANG, KABUPATEN TAPIN, PROVINSI KALIMANTAN SELATAN.
- [2] Ardila, A., & Heriyadi, B. (2022). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Underground mine

- Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Site D. 25 Lokasi III PT. Dasrat Sarana Arang Sejati, Parambahan, Desa Batu Tanjung, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. *Bina Tambang*, 6(3), 218-228.
- [3] Bieniawski, Z. T. (Ed.). (1976). *Exploration for rock engineering: Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering*. Balkema.
- [4] Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. John Wiley & Sons, New York, 251 p.
- [5] Bieniawski, Z. T. (1973). *Engineering classification of jointed rock masses*. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 1973(12), 335-343.
- [6] Franklin, J. A., & Broch, E. (1972). *The point load strength test*. *International Journal of rock mechanics and mining science*, 9, 669-697.
- [7] Caudle, R. D., & Clark, G. B. (1955). *Stresses around mine openings in some simple geologic structures*. *Bulletin/University of Illinois, Engineering Experiment Station*; no. 430.
- [8] Deere, D. U., & Deere, D. W. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years*. DEERE (DON U) CONSULTANT GAINESVILLE FL.
- [9] Haris, J. (2017). *Desain Terowongan Development di Wilayah Ombilin I Sawahluwung PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Unit Pertambangan Ombilin, Sawahlunto*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [10] Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). *Underground Excavations in Rock*, London, Instn Min. Metallurgy, 527.
- [11] Koppa, Raimon. (1990). *Bahan Ajar Studi Teknik Terowongan*. Padang: FT UNP
- [12] Pratama, A. S., & Heriyadi, B. (2023). *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*. *Bina Tambang*, 8(1), 12-24.
- [13] Rai, Made Astawa, dkk. (2012). *Mekanika Batuan*. ITB: Bandung
- [14] Siswanto, S., & Anggraini, D. (2018). *Perbandingan Klasifikasi Massa Batuan Kuantitatif (Q, RMR dan RMI)*. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1(2), 67-73.
- [15] Sugiyono, M. P. P., & Kuantitatif, P. (2009). *Kualitatif, dan R&D*, Bandung: Alfabeta. Cet. Vii.
- [16] Unal, E. (1983). *Development of design guidelines and roof-control standards for coal-mine roofs*. The Pennsylvania State University.
- [17] Wattimena, Ridho Kresna. (2017) *Mekanika Batuan dan Perancangan Konstruksi Bawah Tanah*. ITB Press