

STUDI AWAL PEMANFAATAN KAYU KARET SEBAGAI MATERIAL *SIDE POST* TEROWONGAN TAMBANG BAWAH TANAH

Adip Mustofa

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: adip@ulm.ac.id

ABSTRAK

Keberadaan terowongan perlu dijamin existensinya agar keselamatan kerja dan kegiatan Tambang Bawah Tanah dapat berjalan lancar. Kayu merupakan material penyangga terowongan tambang bawah tanah batubara yang sering digunakan karena banyak tersedia di sekitar area tambang, oleh karena itu studi awal pemanfaatan kayu karet untuk *side post* penyangga *three piece set* dilakukan. Pengumpulan data dilakukan dengan metode uji fisik mekanik 16 potongan kayu balok sama sisi 5cm untuk mengetahui sifat fisik terutama kadar air dan berat jenis; serta metode uji sifat mekanik kuat lentur dan kuat tekan. Pengolahan data dilakukan dengan metode penentuan dimensi lubang bukaan, perhitungan tegangan izin kayu, perhitungan tegangan pada lubang bukaan dan perhitungan tegangan pada *side post* beserta faktor keamanannya. Sedang analisis data dilakukan dengan penilaian terhadap faktor kemandirian dan korelasi kelas keawetan kayu.

Data kondisi geoteknik lokasi tambang yang diperoleh dari data sekunder yaitu: bobot isi batuan $2,3821 \text{ gr/cm}^3$, kuat tekan $7,8234 \text{ Mpa}$, modulus elastisitas $156,7 \text{ Mpa}$, poisson's ratio $0,395$, kohesi $1,5567 \text{ Mpa}$ dan sudut geser dalam $39,20^\circ$ dengan peringkat masa batuan (RMR) 38. Karakter fisik kayu khususnya kadar air $12\%-18\%$ dan berat jenis $0,48-0,61$; karakteristik mekanik dengan kuat tekan $215,36-351,97 \text{ kg/cm}^2$ dan kuat lentur $509,63-689,79 \text{ kg/cm}^2$. Plotting RMR dalam grafik Bieniawski dihasilkan rekomendasi dimensi lubang bukaan (terowongan) tambang bawah tanah $1,65-7 \text{ m}$ dan *stand up time* $8 - 80 \text{ jam}$. Dalam olah data dipilih dimensi terowongan max 4 m berkait pertimbangan kebutuhan dimensi terowongan dan ketersediaan panjang kayu karet dilapangan hanya berkisar $2-4 \text{ m}$. Hasil perhitungan tegangan izin kayu menggunakan persamaan Biron dan Arioglu diperoleh $97,575 \text{ kg/cm}^2$. Hasil perhitungan tegangan horizontal terowongan menggunakan persamaan Unal diperoleh $1,929-3,858 \text{ kg/cm}^2$. Perhitungan tegangan *bending side post* menggunakan persamaan Biron dan Airoglu diperoleh $9,235-108,126 \text{ kg/cm}^2$, sedang faktor kemandirian menggunakan berbagai ukuran panjang kayu diperoleh $0,607-4,626$. Hasil perhitungan olah data diketahui bahwa khusus kayu dengan dimensi panjang $2-2,5 \text{ m}$ memiliki Faktor Keamanan (FK) penyangga *side post* $\geq 1,5$.

Kata-kata kunci: *Stripping Ratio*, Kayu Karet, *Side Post*, Penyangga Kayu

PENDAHULUAN

Sebagian besar perusahaan tambang batubara yang beroperasi di Kalimantan Selatan mengaplikasikan metode tambang terbuka *open pit*. Penggalian *open pit* pada saatnya akan sampai pada batas kedalaman ekonomis penambangan *open pit*. Meningkatnya kedalaman penggalian akan makin besar pula biaya produksinya. Pada saat batas kedalaman penambangan *open pit* dicapai maka ada 2 alternatif kebijakan yang harus diambil yaitu tambang *open pit* ditutup atau dilanjutkan dengan penambangan bawah tanah.

Tantangan yang dihadapi dalam penambangan metode tambang bawah tanah jauh lebih besar dibandingkan dengan metode tambang terbuka. Salah satu permasalahan utamanya adalah dalam penentuan sistem penyanggaan yang akan digunakan dimana harus dapat menjamin keselamatan kerja serta memiliki nilai ekonomis jika ditambang.

Kayu merupakan material penyangga terowongan tambang bawah tanah batubara yang sering digunakan karena banyak tersedia di sekitar area tambang. Mempertimbangkan hal di atas maka studi pemanfaatan kayu karet khususnya untuk kayu *side post* dilakukan. Dalam studi ini mengkaji pemanfaatan kayu karet dengan penampang kayu berbentuk persegi untuk material *side post* penyangga *three piece set*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik dan mekanik dari kayu karet, korelasi kelas kayu karet, faktor keamanan penyangga kayu karet dengan luas penampang berbentuk persegi dan mengetahui bagaimana

rekomendasi pemanfaatan kayu karet sebagai material penyangga *side post* terowongan tambang bawah tanah. Dalam penelitian ini memper hitungkan berapa lama waktu dari penyanggaan dapat bertahan.

METODE PENELITIAN

1. Metode Pengumpulan Data

Pengambilan data dilapangan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari peninjauan langsung dilapangan untuk plotting lokasi asal sampel kayu, pemotongan serta preparasi sampel siap uji dan pengujian laboratorium sifat fisik serta sifat mekanik dari 16 sampel uji. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data geologi dan data geoteknik batuan daerah penelitian terutama densitas batuan, kuat tekan, *poisson's ratio*, dan lain-lain hingga *Rock Mass Rating* (RMR) batuan.

a. Metode Pengujian Sifat Fisik Sampel Kayu Karet

Sifat fisik kayu karet yang dibutuhkan merupakan sifat fisik kadar air dan berat jenis. Kedua sifat fisik ini akan mempengaruhi nilai dari kekuatan kayu karet. Secara spesifik sifat fisik kayu adalah sebagai berikut:

1) Metode Pengujian Kadar Air

Ada 3 macam kadar lengas pada kayu, yaitu kadar lengas kayu basah, kadar lengas kayu kering udara dan kadar lengas mutlak (0%). Kayu yang baru ditebang masih basah sekali dan tergantung pada jenis kayu, kadar lengas umumnya berkisar antara $40\% - 200\%$. Kayu yang basah

semakin lama semakin kering hingga mencapai kadar air antara 24%-30% yang dinamakan fiber saturation point. Pengertian sesudah titik ini akan memperlihatkan perbaikan terhadap sifat-sifat teknik kayu. Kayu yang basah (lebih tinggi dari fiber saturation point) kekuatannya berbeda jauh jika dibanding kayu kering udara (Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia, 1961). Penentuan nilai kadar air dilakukan dengan meletakkan sampel ke dalam oven dalam waktu tertentu.

2) Metode Pengujian Berat Jenis

Kebanyakan karakteristik mekanik kayu memiliki hubungan dengan berat jenisnya. Berat jenis kayu adalah kerapatan kayu dibandingkan dengan kerapatan air yang nilainya $\times \text{gr/cm}^3$ sehingga nilai dari berat jenis tidak memiliki satuan. Semakin tinggi berat jenisnya, umumnya makin kuat juga kayunya begitu juga sebaliknya (Sucipto, 2009). Berat jenis diuji dengan menggunakan neraca digital, dimana rumus yang digunakan dalam perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$G_m = \frac{\rho}{1000 \times \left(\frac{1+m}{100}\right)} \quad (1)$$

Keterangan:

G_m = Berat jenis pada m%

ρ = Kerapatan (kg/cm^3)

m = Kadar air <30%

b. Metode Pengujian Sifat Mekanik Sampel Kayu Karet

Sifat mekanik kayu dinilai setelah kayu diberi tekanan. Sifat mekanik didapatkan dari pengujian laboratorium. Secara spesifik sifat mekanik sampel kayu karet yang akan diuji adalah :

1) Metode Pengujian Kuat Lentur

Kuat lentur kayu merupakan keteguhan kayu dalam menahan beban atau gaya-gaya yang berusaha pengolahan

dalam hal ini merupakan pengolahan yang dilakukan dengan menggunakan grafik dan perhitungan data, dimana metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Metode Perhitungan Tegangan Izin Kayu Karet

Karena kayu adalah bahan alami, banyak faktor yang tidak diketahui mempengaruhi kekuatan dan memerlukan faktor keamanan yang besar. Praktek terbaik akan menguji kekuatan material langsung dan menggunakannya sesuai dengan kekuatan-kekuatan ditentukan. Tegangan izin kayu dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_{sf} = \frac{\bar{X} - K S}{n} f_k f_y \quad (4)$$

Keterangan:

σ_{sf} = Tegangan izin kayu (kg/cm^2)

$\bar{X}$ = Rata-rata kekuatan tanpa cacat

K = Statistik tetap (umumnya bernilai 2)

S = Standar deviasi tegangan (kg/cm^2)

n = Safety factor (loading in bending 2,25)

f_k = Faktor alami cacat (0,40 – 0,75)

f_y = Faktor lama loading (lama = 1 dan sebentar = 1.5)

b. Metode Penentuan Dimensi Lubang Buka

Dimensi tinggi dan lebar lubang bukaan yang dimaksud didapatkan dari plotting nilai RMR pada daerah penelitian terhadap grafik hubungan antara stand up time dan span oleh Bieniawski.

melengkungkan kayu. Misalnya beban pada balok yang ditumpu kedua ujungnya (Arafah, 2012). Ketentuan dimensi benda uji pada pengujian kuat lentur berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu berukuran 50 mm x 50 mm x 760 mm. Persamaan perhitungan kuat lentur kayu mengacu pada SNI seperti di bawah ini (SNI 03-3959, 1995).

$$f_b = \frac{3 P L}{2 b h^2} \quad (2)$$

Keterangan:

f_b = Kuat lentur (kg/cm^2)

P = Beban uji maksimum (kg)

L = Jarak tumpuan (cm)

b = Lebar benda uji (cm)

h = Tinggi benda uji (cm)

2) Metode Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan kayu merupakan keteguhan kayu dalam menahan beban atau gaya-gaya yang berusaha menekan kayu (Arafah, 2012). Kuat tekan sejajar arah serat adalah kekuatan kayu memikul beban yang bekerja padanya yang arah bebannya sejajar dengan arah serat kayu. Dimensi benda uji pada pengujian kuat tekan mengacu ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu berukuran 50 mm x 50 mm x 200 mm. Kuat tekan kayu dihitung mengacu rumus kuat tekan SNI (SNI 03-3958, 1995), sebagai berikut :

$$f_c = \frac{P}{b h} \quad (3)$$

Keterangan:

f_c = Kuat tekan (kg/cm^2)

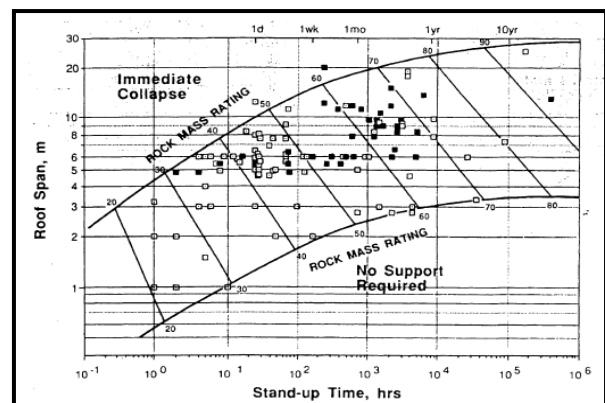
P = Beban uji maksimum (kg)

b = Lebar benda uji (cm)

h = Panjang benda uji (cm)

2. Metode Pengolahan Data

Metode



Gambar-1. Grafik Hubungan Antara Stand Up Time dan Span Berdasarkan Nilai Rock Mass Rating

c. Metode Perhitungan Tegangan Pada Lubang Bukaan

Unal (1983), berdasarkan studinya di tambang batubara, membuat suatu korelasi berikut ini untuk memperkirakan tekanan pendukung menggunakan Rock Mass Rating (RMR) pada lubang bukaan dengan atap datar. Persamaan tinggi beban dan besar beban secara vertikal yang terjadi pada lubang bukaan bawah tanah adalah:

$$\sigma_v = H p \gamma \quad (5)$$

$$H_p = \frac{100 - RMR}{100} B \quad (6)$$

$$\sigma_h = K \sigma_v \quad (7)$$

$$K = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (8)$$

Keterangan:

H_p = Tinggi beban runtuh (m)

RMR = Nilai *Rock Mass Rating* (0-100)

B = Lebar penyangga (m)

γ = Densitas batuan (t/m^3)

σ_v = Tegangan vertikal (t/m^2)

K = Rasio tegangan

σ_v = Tegangan horizontal (t/m^2)

d. Metode Perhitungan Tegangan Pada Side Post dan Faktor Keamanan

Tegangan yang diterima oleh penyanggaan *side post* dihitung untuk mengetahui berapa nilai tegangan yang diterima oleh *side post*. Nilai ini akan dibandingkan dengan tegangan izin dari kayu yang boleh diterima sehingga didapatkan nilai faktor keamanannya.

1) Tegangan Pada Side Post

Side post menerima tekanan dari samping dan reaksi panjang ujung *cap*. Biasanya panjang sisi *post* yang digunakan relatif sama dengan *cap* (Rai, 1994). Tegangan pada *side post* yang berbentuk persegi adalah :

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

$$\sigma_{sf} \geq -0.5 \omega \frac{\sigma_t a L_b}{b h} \pm 0,6375 \frac{\sigma_y a L_y^2}{b h^2} \quad (10)$$

Keterangan:

σ_{sf} = Tegangan yang diperbolehkan (kg/cm^2)

σ_n = Tegangan normal (kg/cm^2)

σ_b = Tegangan lentur (kg/cm^2)

ω = Faktor *buckling*

λ = *Number of slenderness*

σ_v = Tegangan vertikal (kg/cm^2)

σ_h = Tegangan horizontal (kg/cm^2)

L_b = Panjang *cap* (cm)

L_y = Panjang *post* (cm)

a = Jarak antar set (cm)

$b = h$ = Sisi *post* (cm)

2) Faktor Keamanan

Faktor keamanan merupakan nilai yang dihasilkan dari perbandingan antara tegangan izin kayu dan tegangan yang diterima oleh kayu. Penyangga dapat dikatakan aman apabila memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1,5 sedangkan penyangga dikatakan tidak aman jika memiliki nilai faktor keamanan dibawah 1,5. Perhitungan dalam penentuan faktor keamanan adalah sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_b} \quad (11)$$

Keterangan :

FK = Faktor Keamanan

σ_{sf} = Tegangan izin kayu

σ_b = Tegangan pelengkungan (bending)

HASIL PENELITIAN

1. Kondisi Geoteknik Daerah Penelitian

Kondisi geoteknik daerah penelitian didapatkan dari penelitian Erlangga, dkk (2010) dimana batuan atap pada umumnya adalah batulempung (claystone) dengan ketebalan rata-rata 10,96 m. Penilaian peringkat masa batuan (RMR) bernilai 38 dimana dapat diklasifikasikan sebagai masa batuan Kelas IV atau masa batuan lemah (poor rock mass).

Batuan lantai (floor) pada umumnya adalah batulempung yang bersifat karbon (carbonaceous claystone), dengan ketebalan 0,70meter dan batulanau (siltstone) dengan ketebalan 2,35 meter.

Tabel-1. Data Karakter mekanik Batuan Lokasi Rencana Tambang Bawah Tanah

Bobot Isi Jenuh (gr/cm^3)	Uji Kuat Tekan		ν	Uji Triaksial	
	σ_c	E		c_p	ϕ_p
	(Mpa)	(Mpa)		(Mpa)	($^\circ$)
2,3821	7,8234	156,7	0,395	1,5567	39,20

Tabel-2. Penilaian Peringkat Massa Batuan

No	Parameter Uji	Hasil Uji	Peringkat
1	UCS	5 -25 Mpa	2
2	RQD	75 -90 %	17
3	Spacing of Discontinuity	20- 60 cm	10
4	Condition of Discontinuity	Slickensided surface	10
5	Air Tanah (Ground Water)	Dripping	4
6	Effect of Discontinuity	Fair (irrespective of Strike; Dip 0° - 20°)	-5
Peringkat Masa Batuan		(RMR)	38

2. Kondisi Fisik Mekanik Kayu Karet

Data sampel kayu karet meliputi kadar air, berat jenis, kuat tekan dan kuat lentur yang didapatkan dari perhitungan secara langsung dan hasil uji di laboratorium. Secara lengkap data sampel uji kayu karet terdapat pada Tabel-3.

Tabel-3. Kayu Karet Sampel A, B, C dan D

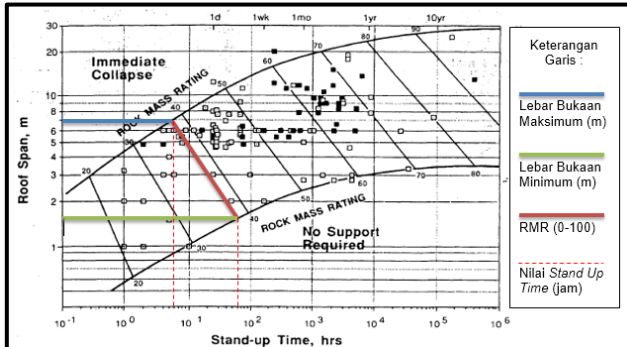
Nama Sampel	Kode Sampel	Kadar Air (%)	Berat Jenis	Kuat Tekan (kg/cm^2)	Kuat Lentur (kg/cm^2)
		m	G_m	f_c	f_b
A	A1	12,19	0,59	284,43	689,79
	A2	12	0,54	313,81	590,36
	A3	12,31	0,49	351,97	615,97
	A4	12	0,49	323,55	637,13
B	B1	14,13	0,53	265,09	598,99
	B2	14,13	0,56	265,56	563,29
	B3	14,19	0,56	252,27	553,75
	B4	14	0,48	271,42	561,12
C	C1	16,25	0,54	253,4	537,29
	C2	16,19	0,55	242,83	543,08
	C3	16,06	0,59	239,51	519,96
	C4	16,25	0,5	243,11	544,42
D	D1	18,5	0,56	222,42	515,26
	D2	18,31	0,6	218,42	519,96
	D3	18,5	0,61	225,61	512,12
	D4	18,44	0,51	215,36	509,63

HASIL PENGOLAHAN DATA

1. Dimensi Lubang Bukaian Tambang Bawah Tanah

Waktu stabil tanpa penyangga (*stand up time*) akan dikontrol oleh lebar lubang bukaan (*span*) yang akan diterapkan dalam kegiatan penambangan maupun dalam kegiatan pembuatan lubang masuk seperti *main shaft*, *slope shaft* dan atau *panel gate*. Penentuan lebar lubang bukaan terowongan tambang dilakukan memplotkan nilai RMR batuan pada grafik dibawah.

Dengan nilai RMR 38 (tabel-2) yang diperoleh dari data sekunder berdasarkan pengamatan dan pengujian peneliti terdahulu maka nilai tersebut diplotkan dalam grafik Bieniawski sehingga didapatkan nilai lebar lubang bukaan maksimum dan minimum serta perkiraan *stand up time* yang memiliki hubungan dengan lebar lubang bukaan terowongan tambang (*span*), dimana dapat di lihat pada Gambar-2 dibawah



Gambar-2. Perkiraan *Stand Up Time* dan Lebar Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah

Berdasarkan Gambar-2. diketahui bahwa lebar bukaan minimal (perpotongan garis hijau) adalah 1,65 m dengan *stand up time* 8 jam dan maksimal lebar lubang bukaan (perpotongan garis biru) adalah 7 m dengan *stand up time* 80 jam.

2. Tegangan Izin Kayu Karet

Tegangan izin kayu karet merupakan nilai yang diperlukan dalam mempertimbangkan keamanan dari penyangga, baik di bagian *cap* penyangga maupun dibagian *side post* penyangga.

Dalam penelitian ini sampel yang digunakan dalam perhitungan lanjut adalah sampel dengan nilai kuat lentur tertinggi, yaitu sampel A yang memiliki nilai kadar air paling rendah (12%). Tegangan izin kayu karet yang digunakan sebagai material penyangga dihitung dengan menggunakan persamaan dari Biron dan Arioglu (1983). Perhitungan dalam penentuan nilai tegangan izin kayu adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan Kuat Lentur Rata-Rata ($\bar{f}_b$)

$$\bar{f}_b = \frac{f_{b1} + f_{b2} + f_{b3} + f_{b4}}{4} = \frac{689,79 + 590,36 + 615,97 + 637,13}{4} = 633,311 \text{ kg/cm}^2$$

b. Perhitungan Standar Deviasi Kuat Lentur (S)

$$S = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n f_{bi}^2 - (\sum_{i=1}^n f_{bi})^2}{n(n-1)}} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{- Jumlah Sampel (n)} &= 4 \\ \text{- } \sum_{i=1}^n f_{bi}^2 &= f_{b1}^2 + f_{b2}^2 + f_{b3}^2 + f_{b4}^2 \\ &= 1.609.680,42 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{- } \sum_{i=1}^n f_{bi} &= f_{b1} + f_{b2} + f_{b3} + f_{b4} \\ &= 2.533,24 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{- } (\sum_{i=1}^n f_{bi})^2 &= (f_{b1} + f_{b2} + f_{b3} + f_{b4})^2 \\ &= 6.417.324,51 \text{ kg}^2/\text{cm}^4 = 42,227 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Tegangan Izin Kayu (σ_{sf}) :

$$\sigma_{sf} = \frac{\bar{x} - K \times S}{n} \times f_k \times f_y = 97,575 \text{ kg/cm}^2$$

3. Tegangan Pada Lubang Bukaan

a. Tegangan Vertikal

Tegangan vertikal merupakan beban yang diberikan oleh batuan dari atas dalam setiap luasan. Dalam perhitungan tegangan vertikal diperlukan nilai tinggi runtuh yang mana dalam perhitungannya memerlukan data lebar terowongan. Lebar terowongan yang digunakan pada perhitungan diambil dari Gambar-2. Memperhatikan dimensi kayu yang tersedia dilapangan maka digunakan lebar terowongan 2m - 4 m. Perhitungan tegangan vertikal untuk terowongan lebar 2m, sbb:

- Densitas Batuan (γ) = 2,3821 t/m³
- Lebar Terowongan (B) = 2 m
- RMR = 38
- Tinggi Beban Runtuhan (H_p) = $\frac{100 - \text{RMR}}{100} \times B$
 $= \frac{100 - 38}{100} \times 2 \text{ m} = 0,62 \times 2 \text{ m} = 1,24 \text{ m}$
- Tegangan Vertikal (σ_v) = $H_p \times \gamma$
 $= 1,24 \text{ m} \times 2,3821 \text{ t/m}^3 = 2,954 \text{ t/m}^2$

Tabel-4. Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal

RMR	Lebar Terowongan (m)	Tinggi Beban Runtuhan (m)	Tegangan Vertikal (t/m ²)
38	2	1,24	2,954
	2,5	1,55	3,692
	3	1,86	4,431
	3,5	2,17	5,169
	4	2,48	5,908

b. Tegangan Horizontal

Tegangan horizontal merupakan tegangan berasal dari samping daerah lubang bukaan dimana dalam perhitungannya diperlukan data tegangan vertikal, lebar terowongan dan nilai poisson's ratio batuan. Setelah didapatkan nilai konstanta rasio tegangan (K) maka tegangan horizontal (σ_h) dapat dihitung. Perhitungan untuk mengetahui nilai tegangan horizontal (σ_h) sebagai berikut :

- Poisson's Ratio (ν) = 0,395
- Tegangan Vertikal (σ_v) = 2,954 t/m²
- Konstanta Rasio Tegangan (K) = $\frac{\nu}{1 - \nu}$
 $= \frac{0,395}{1 - 0,395} = 0,653$
- Tegangan Horizontal (σ_h) = $K \times \sigma_v$
 $= 0,653 \times 2,954 \text{ t/m}^2 = 1,929 \text{ t/m}^2$

Tabel-5. Hasil Perhitungan Tegangan Horizontal

RMR	Lebar Terowongan (m)	Tinggi Beban Runtuhan (m)	Tegangan Horizontal (t/m ²)
38	2	1,24	1,929
	2,5	1,55	2,411
	3	1,86	2,893
	3,5	2,17	3,375
	4	2,48	3,858

4. Tegangan Side Post Daerah Penelitian

Tegangan *side post* berbeda dengan tegangan pada *cap*, dimana tegangan *side post* memiliki tegangan tambahan dari samping terowongan. Total tegangan normal dan tegangan *bending* harus lebih kecil dari tegangan izin kayu agar lubang bukaan dapat bertahan. Untuk menentukan tegangan pada *side post* dilakukan perhitungan dengan cara sebagai berikut:

- Tinggi terowongan (Y) = 2 m = 200 cm
- Angka Kerampingan (λ) = $4 \times \frac{L_y}{d_y}$
= 33,333
- Faktor Penekukan (ω) = 1,290
- Tegangan Side Post :
- $(\sigma_n \pm \sigma_b)_1$ = 14,479 kg/cm²
- $(\sigma_n \pm \sigma_b)_2$ = -21,095 kg/cm²

Tabel-6. Tegangan Side Post Daerah Penelitian

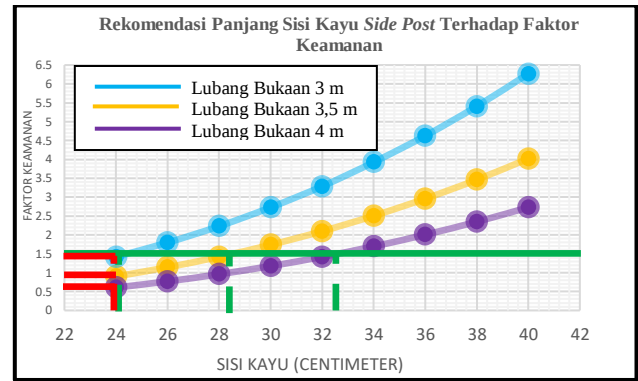
Tinggi (cm)	Angka Kerampingan (λ)	Buckling Factor (ω)	Tegangan Bending Side Post	
			$\sigma_n + \sigma_b$ (kg/cm ²)	$\sigma_n - \sigma_b$ (kg/cm ²)
200	25,000	1,200	5,773	-9,235
250	33,333	1,290	14,479	-21,095
300	41,667	1,390	29,171	-40,309
350	50,000	1,500	51,377	-68,684
400	58,333	1,630	82,527	-108,126

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tegangan *side post* tidak berbeda jauh dengan tegangan pada *cap*, hanya saja tegangan yang diterima dari arah yang berbeda sehingga perhitungannya memerlukan nilai rasio tegangan vertikal dan tegangan horisontal. Nilai faktor keamanan yang dihasilkan harus melebihi 1,5 agar dapat diperoleh kondisi aman. Faktor keamanan yang kurang dari 1,5 (warna merah pada Tabel-7) diperbaiki dengan memperbesar panjang sisi. Analisis dilakukan dengan memperbesar panjang sisi dari 24-40 cm hingga mendapatkan nilai faktor keamanan 1,5 pada setiap dimensi lubang bukaan.

Tabel-7. Faktor Keamanan Side Post

Lebar (B) Meter	Tegangan Bending ($\sigma_n \pm \sigma_b$) (kg/cm ²)		Faktor Keamanan (FK)	
	+	-	+	-
2	14,479	-21,095	6,739	4,626
2,5	29,171	-40,309	3,345	2,421
3	51,377	-68,684	1,899	1,421
3,5	82,527	-108,126	1,182	0,902
4	123,731	-160,859	0,789	0,607



Gambar-3. Grafik Rekomendasi Panjang Sisi Kayu Side Post Terhadap Faktor Keamanan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan yang telah dibahas, meliputi :

1. Hasil pengujian sifat fisik dan sifat mekanik kayu karet hasil perlakuan diperoleh kadar air dari 12-18%, berat jenis sekitar 0,48-0,61, kuat tekan sekitar 215,36-351,97 kg/cm², kuat lentur sekitar 509,63-689,79 kg/cm² yang masuk dalam kategori kelas III (PKKI, 1961).
2. Berdasarkan pendekatan serta perhitungan secara empiris nilai faktor keamanan (FK) sistem penyanggaan pada lubang bukaan dengan dimensi 2 meter - 4 meter adalah 4,626 – 0,607 pada bagian *side post*.
3. Hasil analisis penyangga tambang bawah tanah dengan menggunakan kayu karet pada RMR sebesar 38 dibutuhkan kayu karet yang memiliki panjang sisi minimal 24,2 cm, 28,4 cm dan 32,6 cm pada *side post* (dimensi 3 m, 3,5 m dan 4 m). Sehingga untuk memenuhi faktor keamanan 1,5 maka panjang sisi kayu dapat diperbesar sesuai dengan dimensi lubang bukaan yang diperlukan.

SARAN

Perlunya beberapa saran yang dapat diberikan agar penelitian ini menjadi lebih baik dan bagus lagi, sebagai berikut :

1. Pengaplikasian kayu karet sebagai material penyangga tambang bawah tanah memerlukan penelitian lanjut mengenai keawetannya.
2. Sebaiknya pengambilan data rencana dimensi dan karakteristik batuan terowongan tambang bawah tanah diperoleh secara langsung di lapangan (data primer) agar dapat mengetahui dan mengukur secara aktual di lapangan.
3. Peluang penelitian lanjutan perihal metode perhitungan lain pada lubang bukaan dan bentuk penyanggaan kayu yang berbeda di tambang bawah tanah..
4. Peluang penelitian lanjutan perihal perbedaan kuat lentur dari kayu karet berdasarkan hasil uji pada titik pembebanan dengan panjang sampel yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) NI-1961*. Bandung: Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.

- [2] Anonim. 1995. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3958-1995 "Metode Pengujian Kuat Tekan Kayu di Laboratorium*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [3] Anonim. 1995. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3959-1995 "Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu di Laboratorium*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [4] Arafah, Muh. 2012. *Modul Memahami Bahan Bangunan*. Mamuju: Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Kabupaten Mamuju, SMK Negeri 1 Karossa.
- [5] Bieniawski, Z. T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Canada: John Wiley & Sons.
- [6] Biron, Cemal and Arioglu, Ergin. 1983. *Design of Support in Mines*. Virginia: John Wiley & Sons.
- [7] Erlangga, E. O., dkk. 2010. *Kajian Geoteknik Untuk Tambang Batubara Bawah Tanah Di Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan*. Bandung: TEKMIIRA.
- [8] Ramdhani, K., Nurhakim, Adip M. & Eko S. 2018. *Studi Pemanfaatan Kayu Gelam Sebagai Material Support Tambang Bawah Tanah Di Desa Loa Ulung, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur*. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- [9] Maryani. 2007. *Aneka Tanaman Perkebunan*. Pekanbaru: Pusat Pengembangan Universitas Riau.
- [10] Rai, Made Astawa, 1994. *Teknik Terowongan*. Bandung: Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.
- [11] Sucipto, Tito. 2009. *Struktur, Anatomi Dan Identifikasi Jenis Kayu*. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- [12] Unal, E. 1983. *Development of Design Guidelines and Roof Control Standard for Coal Mine Roofs*. USA: PH. D. Thesis, Penn State University.