



Analisis Sistem Penyangga pada Terowongan Pengelak Proyek Bendungan Lau Simeme Kec. Sibiru-biru Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Analysis of the Buffer System in the Lau Simeme Dam Project Evasion Tunnel, Kec. Sibiru-biru Deli Serdang Regency, North Sumatra

Geovano Osvaldo Simbolon, & Nurmaidah

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Indonesia

Abstrak

Terowongan ini merupakan bangunan pengelak yang berfungsi untuk mengalihkan air sungai selama konstruksi badan bendungan dibangun. Lokasi Terowongan ini terletak di Desa Kuala Deka, Kecamatan Sibiru-biru, Provinsi Deli Serdang, Sumatera Utara. Terowongan ini terdapat di bawah bukit oleh karena itu, diperlukan sistem penyangga di dalam terowongan agar terowongan dapat dikategorikan aman. Tujuan penelitian ini, untuk menganalisis tegangan-tegangan di sisi inlet dan memperhitungkan faktor keamanan terowongan. Sedangkan untuk mengetahui stand-up time terowongan ditentukan dengan menggunakan klasifikasi massa batuan Rock Mass Rating (RMR). Oleh karena itu, ketika menganalisis sistem pendukung hulu (Inlet) di STA 0+ 043.000, kami menyimpulkan bahwa sistem pendukung yang digunakan di sisi hulu terowongan adalah rock bolts dan shotcrete, berdasarkan pedoman Bieniawski (1989) termasuk batuan sedang (Kelas III) yang disurvei oleh ahli geologi, menghasilkan nilai RMR antara RMR 41 dan 60. Menurut perhitungan matematis, tegangan di sisi inlet adalah 11,758 MPa dan maksimum kekakuan adalah 41.221,137 MPa/m, sehingga faktor keamanan pada sisi inlet adalah 301,14 untuk atap dan 51,50 untuk dinding. Faktor keamanan terowongan secara keseluruhan adalah 1,5, sehingga terowongan bendungan Lau-Simeme dianggap aman.

Kata Kunci: Terowongan pengelak, Kuat massa batuan, Rock Mass Rating (RMR), dan tegangan.

Abstract

This tunnel is an alternative structure used to divert river water during construction of the dam body. Location The tunnel is located in Kuala Deka Village, Civilville District, Deli Serdang District, North Sumatra. Since this tunnel is located under a hill, a buffer system is required within the tunnel for the tunnel to be considered safe. The purpose of this study is to analyze the entrance side stress and calculate the safety factor of the tunnel. Rock mass classification (RMR) is currently used to determine the service life of tunnels. Analysis of the upstream support system "Inlet" shows that at STA 0+ 043.000 the support system used on the upstream side of the tunnel is I conclude that it is bedrock bolts and shotcrete. A geologist gives him an RMR value between RMR 41 and 60. Mathematically, the inlet stress is 11,758 MPa and the maximum stiffness is 41.221,137 MPa/m, so the inlet safety factor is 301,14. 51,50 for roofs and walls. The Lau-Simeme Dam Tunnel is considered safe because the overall tunnel safety factor is 1,5.

Keywords: Bypass Tunnel, Rock Strength, Rock Mass Rating (RMR) and Stress.

How to Cite: Geovano Osvaldo Simbolon, & Nurmaidah. (2023). Analisis Sistem Penyangga pada Terowongan Pengelak Proyek Bendungan Lau Simeme Kec. Sibiru-biru Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur, 2(1) 2023: 1-13,

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bendungan Lau Simeme merupakan salah satu Proyek Nasional Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kemen PUPR) yang dilaksanakan oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air melalui Balai Wilayah Sungai (BWS) Wilayah II. Bendungan pada dasarnya terdiri dari banyak struktur, seperti struktur pelimpah (spillway), struktur penerima (intake), struktur pengelak (tunnel), dan struktur lainnya.

Pembangunan pada Bendungan Lausimeme pertama-tama akan membutuhkan pembangunan struktur terowongan untuk mengalihkan aliran air sementara selama pembangunan bendungan. Terowongan ini adalah salah satu struktur dari Bendungan Lau Simeme. Bangunan ini disebut juga bangunan pengelak berfungsi sebagai saluran untuk mengalihkan air sungai selama konstruksi badan bendungan yang akan dibangun.

Metode yang digunakan dalam proyek ini adalah drill and blast serta NATM (New Austrian Tunneling Method).

Dengan adanya latar belakang tersebut, tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis tegangan-tegangan yang berhubungan dengan perancangan system pendukung terowongan untuk menentukan faktor keamanan terowongan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Studi

Rencana lokasi pembangunan Bendungan Lau Simeme terletak di Desa Kuala Deka, Kecamatan Siburu-biru, Provinsi Deli Serdang, Sumatera Utara. Jarak dari Bandara Kualanamu ke lokasi proyek Desa Kuala Deka di Kec. Siburu-biru, berjarak $\pm 57,5$ km dengan kendaraan roda empat.

Gambar 1: Denah Lokasi Proyek
Sumber: PP-ANDESMONT KSO



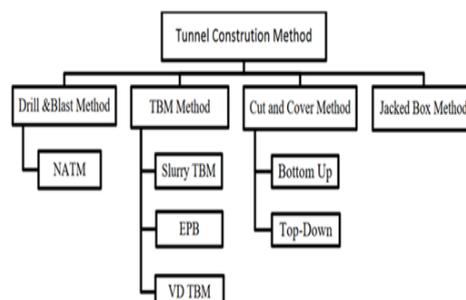
Data Penunjang

Untuk menganalisis system penyangga pada terowongan pengelak, data yang dibutuhkan yaitu antara lain:

1. Data tanah bagian hulu.
2. Data mutu beton.
3. Data geologi tunnel.
4. Data penampang terowongan memanjang.
5. Shop Drawing tunnel, rock bolt, grouting.

Metode Penggalian Terowongan

Tabel 1: Jenis Metode Pembangunan Terowongan
Sumber: PP-ANDESMONT KSO



A. Drill and Blast/ Bor dan Peledakan

Prinsip ini pertama kali dipraktikkan sekitar tahun 1627 oleh Tyrolean Kaspar Wendl dari tambang perak Banská Štiavnica. Pengeboran dan peledakan (Drilling and blasting) adalah kegiatan yang melibatkan penggunaan bahan peledak dan proses terkontrol lainnya. seperti teknik peledakan tekanan gas. Hal ini paling sering dilakukan di pertambangan, penggalian, dan teknik sipil seperti konstruksi bendungan, konstruksi terowongan, dan konstruksi jalan

Metode pengeboran dan peledakan kurang maju dibandingkan teknologi TBM. Dibandingkan dengan metode tunneling TBM, metode penggalian dan peledakan lebih kecil tetapi memiliki biaya tenaga kerja keseluruhan yang lebih tinggi (Girmscheid dan Schexnayder 2002).

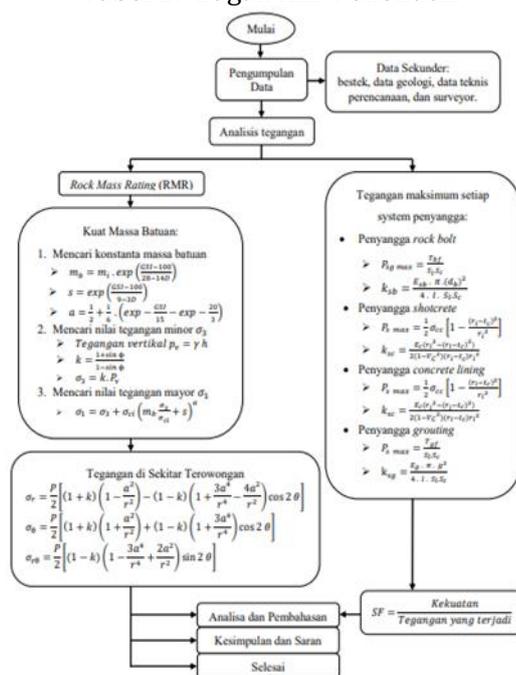
B. NATM (New Austrian Tunneling Method)

NATM adalah proses plesteran bawah tanah yang memperkuat batuan dasar dan tanah itu sendiri. Persyaratan untuk memperkuat batu dan tanah di terowongan adalah dengan menggunakan tindakan perlindungan seperti menempatkan shotcrete dan rock bolt sebagai penyangga sebelum membangun struktur lapisan. Oleh karena itu, diperlukan sistem penyangga di dalam terowongan agar terowongan dapat diklasifikasikan sebagai aman shotcrete, baut jangkar (Rock bolts), instalasi baja (steel ribs), dinding beton (Concrete lining), dan Grouting.

Tahap Penyelesaian Studi

Untuk memudahkan tahap - tahap penyusunan tugas akhir, maka dibuat bagan alir seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.

Tabel 2: Bagan Alir Penelitian



Dalam mengetahui jenis penyangga yang digunakan dengan menguji massa batuan dengan metode RMR (Rock Mass Rating) dari setiap bagian terowongan menggunakan pedoman Bieniawski 1989.

Metode tersebut diperkenalkan oleh Bienawski (1972) dan Bienawski (1975), kemudian dikembangkan lebih lanjut sesuai dengan pengetahuan dari berbagai kasus dan disesuaikan dengan sistem prosedur standar saat ini (Bienawski, 1989). Metode klasifikasi berdasarkan sifat teknis batuan ini banyak dikenal dan digunakan untuk berbagai keperluan seperti: penggalian tambang, terowongan bawah tanah, stabilisasi lereng, dll. Masing-masing diberi bobot atau nilai rating dan ditambahkan ke RMR keseluruhan.

Enam parameter yang digunakan dalam klasifikasi batuan dalam sistem RMR adalah:

1. Kuat tekan uniaxial batuan utuh (USC).
2. Rock quality designation (RQD).
3. Spasi bidang diskontinuitas.
4. Kondisi bidang diskontinuitas.

5. Kondisi air tanah.
6. Orientasi bidang diskontinuitas.

Metode klasifikasi ini membagi batuan menjadi wilayah yang berbeda dengan sifat yang sama berdasarkan enam parameter di atas, dan mengklasifikasikan batuan berdasarkan wilayah. Batas (Wilayah) tektonik biasanya disesuaikan untuk memperhitungkan perubahan geologi seperti sesar, perubahan kerapatan rekahan, dan perubahan jenis batuan.

Geological Strength Index (GSI)

GSI merupakan standar evaluasi dari pengamatan geologi di lapangan. GSI dapat dihitung berdasarkan terjadinya pengamatan di lapangan atau berdasarkan klasifikasi RMR. Menurut Bieniawski 1989, GSI dapat dikonversi dari nilai RMR dengan relasi sebagai berikut:

$$GSI = RMR - 5$$

Hubungan diatas digunakan untuk nilai RMR >23, sedangkan untuk RMR <23 Barton et al's (1974) memberikan hubungan alternatif menggunakan parameter Q sebagai gantinya:

$$GSI = 9\text{Log}_e Q' + 44$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terowongan adalah infrastruktur bawah tanah yang lebih panjang dari lebar penggalian. Bentuk terowongan biasanya tertutup di semua sisi kecuali kedua ujungnya yang terbuka di pintu masuk dan keluar. Sistem pendukung yang umum digunakan dalam konstruksi terowongan adalah shotcrete, rock bolts, steel ribs, concrete lining dan grout.

Data Hasil Pengujian Laboratorium

Penelitian ini menggunakan data teknis yang diperoleh dari hasil laboratorium. Hasil pengujian yang diperoleh dari uji laboratorium mengalir ke data sekunder.

Tabel 3: Data Hasil Pengujian Laboratorium

No.	Parameter	Inlet	Middle	Outlet
1	Berat isi batuan (kN/m ³)	20.12	15.65	20.36
2	Kuat tekan batuan (MPa)	12.07	5.57	26.35

Sumber: Data Proyek

Klasifikasi batuan menggunakan sistem Rock Mass Rating (RMR) digunakan untuk memperkirakan kualitas batuan berdasarkan jenis batuan dan kelas kekuatan batuan. Klasifikasi RMR ini menggunakan enam parameter yaitu kekuatan material batuan utuh (UCS), Rock quality designation (RQD), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi airtanah serta arah diskontinuitas.

Tabel 4: Analisis RMR Sta.0+026.50 ~ 0+043.00

No	Parameter RMR	Hasil	Bobot Nilai
1	Estimasi UCS	19 Mpa	2
2	RQD (%)	92.64%	20
3	Spasi Bidang Diskontinuitas	0,3 m	10
Kondisi Bidang Diskontinuitas			
4	Persistensi Kekas	2	17
	Kekasaran	5	
	Pemisah Bukaan	1	
	Isian	4	
	Pelapukan	5	
5	Air Tanah	Completely Dry	15
6	Orientasi Bidang diskontinuitas	Fair	-5
Total nilai RMR			64
Koreksi			-5
Hasil Nilai RMR			59
Nomor Kelas Batuan			III
Deskripsi			Fair Rock
Stand Up time			± 168 Jam

Sumber: Data Penelitian

Kuat Massa Batuan

Berikut adalah data-data massa batuan pada terowongan Lau Simeme

Tabel 5: Sifat-Sifat Batuan di Sekitar Terowongan

SIFAT BATUAN	SIMBOL	INLET	MIDDLE	OUTLET	SATUAN
STA	=	0+043.000	0+347.830	0+627.830	-
Berat Isi Batuan	γ	2.052	1.596	2.077	gr/cm ³
		0.00201	0.00156	0.00204	MN/cm ³
Poisson's Ratio	ν	0.3638	0.3394	0.4205	-
Sudut Kuat Geser Batuan	φ	42.84	29.34	19.26	°
Koef. Tegangan Aktif	K aktif	0.04734	0.06660	2.32788	-
Kuat Tekan Batuan Intact	σ _{ci}	123.114	56.894	268.764	kg/cm ²
		12.07335908	5.57939545	26.35674481	MPa
Bobot RMR	RMR	59	65	60	-
Bobot GSI (RMR-5)	GSI	54	60	55	-
Ratio Kuat Tekan	R atau ρ	0.02	0.02	0.02	Poor
Nilai mi batuan utuh	mi	17	17	19	Rock Type
Tinggi Terowongan	H	10.3	10.3	10.3	m
Lebar Terowongan	B	10.5	10.5	10.5	m
Jari-jari Terowongan	a	3.4	3.4	3.4	m
Jarak Tinjau Terowongan	r	5.15	5.15	5.15	m
Tinggi batuan di atas Terowongan	h	79	96	79	m
		4.26	5.85	65.87	kg/cm ²
Kobesi	c	0.417	0.573	6.459	MN/m ²

Sumber: Data Proyek

Analisis kekuatan batuan ini menggunakan perhitungan persamaan Hoek-Brown. Adapun beberapa perhitungan yang harus dihitung dalam kuat massa batuan yaitu mencari konstanta massa batuan, mencari nilai tegangan minor dan serta tegangan mayor yang bekerja. Berikut adalah menghitung kuat massa batuan pada atap Terowongan Lau Simeme, berdasarkan persamaan Hoek-Brown ialah:

1. Mencari nilai konstanta massa batuan (m_b , s dan a)

$$\begin{aligned}
 m_b &= m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \\
 &= 17 \cdot \exp\left(\frac{54 - 100}{28 - 14(0,8)}\right) \\
 &= 1,099 \\
 s &= \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \\
 &= \exp\left(\frac{54 - 100}{9 - 3(0,8)}\right) \\
 &= 0,000939938 \\
 a &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(\exp - \frac{GSI}{15} - \exp - \frac{20}{3}\right) \\
 &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(\exp - \frac{54}{15} - \exp - \frac{20}{3}\right) = 0,50
 \end{aligned}$$

2. Mencari Nilai Tegangan Minor (σ_3)

$$\begin{aligned}
 P_v &= \gamma \cdot h \\
 &= 0.00201 \text{ MN/cm}^3 \times 79 \text{ m} \\
 &= 0,158 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \left(\tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)\right)^2 \\
 &= \left(\tan\left(45 - \frac{42,84}{2}\right)\right)^2 \\
 &= (\tan(45 - 21,42))^2 \\
 &= (\tan(23,58))^2 \\
 &= (0,4364736281)^2 \\
 &= 0,190509228 \\
 &= 0,191 \\
 \sigma_3 &= k \cdot P_v
 \end{aligned}$$

$$= 0,191 \times 0,158$$

$$= 0,030 \text{ MPa}$$

3. Mencari Nilai Tegangan Mayor Yang Bekerja (σ_1)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \\ &= 0,030 + 12,07 \left(1,099 \frac{0,030}{12,07} + 0,000939938 \right)^{0,50} \\ &= 0,761 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berikut adalah menghitung analisis kuat massa batuan yang berada pada dinding terowongan lau simeme tang terletak pada posisi inlet, dengan menggunakan persamaan Hoek-Brown sebagai berikut:

1. Mencari nilai konstanta massa batuan (m_b , s dan a)

$$\begin{aligned} m_b &= m_i \cdot \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \\ &= 17 \cdot \exp \left(\frac{54 - 100}{28 - 14(0,8)} \right) \\ &= 1,099 \\ s &= \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \\ &= \exp \left(\frac{54 - 100}{9 - 3(0,8)} \right) \\ &= 0,000939938 \\ a &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(\exp - \frac{GSI}{15} - \exp - \frac{20}{3} \right) \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(\exp - \frac{54}{15} - \exp - \frac{20}{3} \right) \\ &= 0,50 \end{aligned}$$

2. Mencari Nilai Tegangan Minor (σ_3)

$$\begin{aligned} P_v &= \gamma \cdot h \\ &= 0,00201 \text{ MN/cm}^3 \times 82,4 \text{ m} \\ &= 0,165 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \left(\tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \\ &= \left(\tan \left(45 - \frac{42,84}{2} \right) \right)^2 \\ &= (\tan(45 - 21,42))^2 \\ &= (\tan(23,58))^2 \\ &= (0,4364736281)^2 \\ &= 0,190509228 \\ &= 0,191 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= k \cdot P_v \\ &= 0,191 \times 0,165 \\ &= 0,032 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Mencari Nilai Tegangan Mayor Yang Bekerja (σ_1)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \\ &= 0,032 + 12,07 \left(1,099 \frac{0,032}{12,07} + 0,000939938 \right)^{0,50} \\ &= 0,779 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 6: Hasil Analisis Kuat Massa Batuan pada Terowongan

STA	Kuat Massa Batuan Pers. Hoek (Mpa)	
	Atap	Dinding
0 +043	0,761	0,779

Sumber: Data Hasil Penelitian

Tegangan di Sekitar Terowongan dengan Kirsch Solution

Analisis tegangan yang berada di sekitar sisi atap inlet terowongan dengan kedalam dari permukaan bukit (h) = 79 m yang terdapat di STA 0+043.

$$\begin{aligned} P &= \gamma \cdot h \\ &= 0,00201 \text{ MN/cm}^3 \times 79 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 0,158 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \cos 2 \theta &= \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \\ &= \cos \theta \cdot \cos \theta - \sin \theta \cdot \sin \theta \\ &= \cos(90) \cdot \cos(90) - \sin(90) \cdot \sin(90) \\ &= (0 \times 0) - (1 \times 1) = -1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin 2 \theta &= 2 \sin \theta \cos \theta \\ &= 2 \sin (90) \cos (90) \\ &= 2 (1 \times 0) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{P}{2} \left[(1+k) \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1-k) \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right) \cos 2 \theta \right] \\ &= \frac{0,158}{2} \left[(1+0,191) \left(1 - \frac{3,4^2}{5,15^2} \right) - (1-0,191) \left(1 + \frac{3(3,4)^4}{5,15^4} - \frac{4(3,4)^2}{5,15^2} \right) (-1) \right] \end{aligned}$$

$$= 0,04199 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_\theta &= \frac{P}{2} \left[(1+k) \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1-k) \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2 \theta \right] \\ &= \frac{0,158}{2} \left[(1+0,191) \left(1 + \frac{3,4^2}{5,15^2} \right) + (1-0,191) \left(1 + \frac{3(3,4)^4}{5,15^4} \right) (-1) \right] \end{aligned}$$

$$= 0,03476 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{P}{2} \left[(1-k) \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2} \right) \sin 2 \theta \right]$$

$$= \frac{0,158}{2} \left[(1 - 0,191) \left(1 - \frac{3(3,4)^4}{5,15^4} + \frac{4(3,4)^2}{5,15^2} \right) x (0) \right]$$

$$= 0,00000 \text{ MPa}$$

Analisis tegangan yang berada di sekitar sisi dinding inlet terowongan dengan kedalaman dari permukaan bukit (h) = 82,4 m yang terdapat di STA 0+043.

$$P = \gamma \cdot h$$

$$= 0,00201 \text{ MN/cm}^3 \times 82,4 \text{ m}$$

$$= 0,165 \text{ MPa}$$

$$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$$

$$= \cos\theta \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \sin\theta$$

$$= \cos(0) \cdot \cos(0) - \sin(0) \cdot \sin(0)$$

$$= (1 \times 1) - (0 \times 0) = 1$$

$$\sin 2\theta = 2 \sin\theta \cos\theta$$

$$= 2 \sin(0) \cos(1)$$

$$= 2(0 \times 1) = 0$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2} \left[(1+k) \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1-k) \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$= \frac{0,165}{2} \left[(1+0,191) \left(1 - \frac{3,4^2}{5,15^2} \right) - (1-0,191) \left(1 + \frac{3(3,4)^4}{5,15^4} - \frac{4(3,4)^2}{5,15^2} \right) \cdot 1 \right]$$

$$= 0,06701 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\theta = \frac{P}{2} \left[(1+k) \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + (1-k) \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$= \frac{0,165}{2} \left[(1+0,191) \left(1 + \frac{3,4^2}{5,15^2} \right) + (1-0,191) \left(1 + \frac{3(3,4)^4}{5,15^4} \right) \cdot 1 \right]$$

$$= 0,24586 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{P}{2} \left[(1-k) \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$= \frac{0,165}{2} \left[(1-0,191) \left(1 - \frac{3(3,4)^4}{5,15^4} + \frac{4(3,4)^2}{5,15^2} \right) \sin 2(0) \right]$$

$$= 0,00000 \text{ MPa}$$

Tabel 7: Hasil Analisis Tegangan di Sekitar Terowongan menggunakan Kirsch Solution

Lokasi	Tegangan di Sekitar Terowongan (Mpa)		
		Atap	Dinding
STA 0+043 (Inlet)	σ_r (MPa)	0,04199	0,06701
	σ_θ (MPa)	0,03476	0,24586
	$\sigma_{r\theta}$ (MPa)	0,00000	0,00000
	σ maks	0,04199	0,24586

Sumber: Data Hasil Penelitian

Analisis Perilaku Tegangan dan Faktor Aman pada Sistem Penyangga

1. Analisis Perilaku Tegangan

Akibat dari suatu penggalian terowongan dengan cara menggunakan metode blasting, terjadi perubahan konfigurasi tegangan pada batuan/tanah di sekitar terowongan dan membuat kestabilan terowongan terganggu. Cara mengembalikan kestabilan pada terowongan akan diberikan penyangga.

Tegangan Maksimum dan Kekakuan Sistem Peyangga *Shotcrete*

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } \sigma_{cc} &= 16,6 \text{ MPa} \\ r_i &= 3,4 \text{ m} \\ t_c &= 0,15 \text{ m} \\ v_c &= 0,2 \\ K200(f'c) &= 16,6 \text{ MPa} \\ E_s &= 4700\sqrt{f'c} \\ &= 4700\sqrt{16,6} \\ &= 19149,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Penyelesaian:

Tegangan maksimum shotcrete

$$\begin{aligned} P_s \text{ max} &= \frac{1}{2} \sigma_{cc} \left[1 - \frac{(r_i - t_c)^2}{r_i^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \times 16,6 \left[1 - \frac{(3,4 - 0,15)^2}{3,4^2} \right] \\ &= 0,716 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kekakuan maksimum shotcrete

$$\begin{aligned} kk_{sc} &= \frac{E_c(r_i^2 - (r_i - t_c)^2)}{2(1 - v^2)(r_i - t_c)^2} \\ &= \frac{19149,25 (3,4^2 - (3,4 - 0,15)^2)}{2(1 - 0,2^2)(3,5 - 0,15)^2} \\ &= 886,489 \text{ MPa/m} \end{aligned}$$

Tegangan Maksimum dan Kekakuan Sistem Peyangga Rockbolt

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } d_b &= 25 \text{ mm} \\ &= 0,025 \text{ m} \\ E_s &= 200000 \text{ MPa} \\ T_{bf} &= 2 \text{ MPa} \\ l &= 4 \text{ m} \\ S_c &= 1 \text{ m} \\ S_l &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Penyelesaian:

Tegangan maksimumm rockbolt

$$P_s \text{ max} = \frac{T_{bf}}{S_l \cdot S_c}$$

$$= \frac{2}{2 \times 1} = 1 \text{ MPa}$$

Kekakuan maksimum rockbolt

$$k_{sb} = \frac{E_{sb} \cdot \pi \cdot (d_b)^2}{4 \cdot l \cdot S_l \cdot S_c}$$

$$= \frac{200000 \times 3,14 \times (0,025)^2}{4 \times 4 \times 2 \times 1}$$

$$= 12,265 \text{ MPa/m}$$

Tegangan Maksimum dan Kekakuan Sistem Peyangga Concrete Lining

Diketahui:

$$\sigma_{cc} = 22,5 \text{ MPa}$$

$$r_i = 3,4 \text{ m}$$

$$t_c = 1,850 \text{ m}$$

$$v_c = 0,2$$

$$K225 (f'c) = 18,675 \text{ MPa}$$

$$E_s = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$= 4700 \sqrt{18,675}$$

$$= 20310,85 \text{ MPa}$$

Penyelesaian:

Tegangan maksimumm concrete Lining

$$P_s \text{ max} = \frac{1}{2} \sigma_{cc} \left[1 - \frac{(r_i - t_c)^2}{r_i^2} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \times 22,5 \left[1 - \frac{(3,4 - 1,850)^2}{3,4^2} \right]$$

$$= 9,630 \text{ MPa}$$

Kekakuan maksimum concrete lining

$$k_{sc} = \frac{E_c (r_i^2 - (r_i - t_c)^2)}{2(1 - V_c^2)(r_i - t_c)r_i^2}$$

$$= \frac{20310,85(3,4^2 - (3,4 - 1,850)^2)}{2(1 - 0,2^2)(3,4 - 1,850)^2}$$

$$= 40321,845 \text{ MPa}$$

Tegangan Maksimum dan Kekakuan Sistem Peyangga Grouting

Diketahui:

$$T_{gf} = 2 \text{ MPa}$$

$$S_c = 3 \text{ m}$$

$$S_l = 1,616 \text{ m}$$

$$E_g = 6646,80 \text{ MPa}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$d_g = 0,05 \text{ mm}$$

Penyelesaian:

Tegangan maksimum grouting

$$\begin{aligned}
 P_{s \max} &= \frac{T_{gf}}{S_l \cdot S_c} \\
 &= \frac{2}{1,616 \times 3} \\
 &= 0,412 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kekakuan maksimum grouting

$$\begin{aligned}
 k_{sg} &= \frac{E_g \cdot \pi \cdot dg^2}{4 \cdot l \cdot S_l \cdot S_c} \\
 &= \frac{6646,80 \times 3,14 \times 0,05^2}{4 \times 5 \times 1,616 \times 3} \\
 &= 0,538 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Analisis Safety Factor (SF)

Dalam hal bangunan konstruksi baik itu bangunan gedung, transportasi, irigasi dan lainya harus menghitung Safety Factor dari pada bangunan tersebut. Penelitian ini, akan menghitung Safety Facktor dari system penyangga tewongan pada sisi inlet terowongan.

Faktor aman dari Sistem Penyangga Shorcrete

$$\begin{aligned}
 \text{SF Atap} &= \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \max} \text{ I}}{\text{Tegangan Vertikal}} \\
 &= \frac{0,761 + 0,716}{0,04199} \\
 &= 37,17 \dots \text{SF} \geq 1,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SF Dinding} &= \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \max} \text{ I}}{\text{Tegangan Horizontal}} \\
 &= \frac{0,779 + 0,716}{0,24586} \\
 &= 6,08 \dots \text{SF} \geq 1,5
 \end{aligned}$$

Faktor aman dari Sistem Penyangga Rockbolt

$$\begin{aligned}
 \text{SF Atap} &= \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \max} \text{ I} + P_{s \max} \text{ II}}{\text{Tegangan Vertikal}} \\
 &= \frac{0,761 + 0,716 + 1}{0,04199} \\
 &= 58,99 \dots \text{SF} \geq 1,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SF Dinding} &= \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \max} \text{ I} + P_{s \max} \text{ II}}{\text{Tegangan Horizontal}} \\
 &= \frac{0,779 + 0,716 + 1}{0,24586} \\
 &= 10,14 \dots \text{SF} \geq 1,5
 \end{aligned}$$

Faktor aman dari Sistem Penyangga Concrete Lining

$$SF \text{ Atap} = \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \text{ max I}} + P_{s \text{ max II}} + P_{s \text{ max III}}}{\text{Tegangan Vertikal}}$$

$$= \frac{0,761 + 0,716 + 1 + 9,630}{0,04199}$$

$$= 288,33 \dots \dots SF \geq 1,5$$

$$SF \text{ Dinding} = \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \text{ max I}} + P_{s \text{ max II}} + P_{s \text{ max III}}}{\text{Tegangan Horizontal}}$$

$$= \frac{0,779 + 0,716 + 1 + 9,630}{0,24586}$$

$$= 49,31 \dots \dots SF \geq 1,5$$

a) Faktor aman dari Sistem Penyangga *Grouting*

$$SF \text{ Atap} = \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \text{ max I}} + P_{s \text{ max II}} + P_{s \text{ max III}} + P_{s \text{ max IV}}}{\text{Tegangan Vertikal}}$$

$$= \frac{0,761 + 0,716 + 1 + 9,630 + 0,538}{0,04199}$$

$$= 301,14 \dots \dots SF \geq 1,5$$

$$SF \text{ Dinding} = \frac{\text{Kuat Massa Batuan} + P_{s \text{ max I}} + P_{s \text{ max II}} + P_{s \text{ max III}} + P_{s \text{ max IV}}}{\text{Tegangan Horizontal}}$$

$$= \frac{0,779 + 0,716 + 1 + 9,630 + 0,538}{0,24586}$$

$$= 51,50 \dots \dots SF \geq 1,5$$

Tabel 8: Nilai Faktor Aman Inlet Sistem Penyangga Terowongan

<u>Sistem</u>	<u>Faktor Aman Inlet</u>	
	<u>Atap</u>	<u>Dinding</u>
I	37,17	6,08
I+II	58,99	10,14
I+II+III	288,33	49,31
I+II+III+IV	301,14	51,50

Sumber: Data Hasil Penelitian

SIMPULAN

Oleh karena itu, ketika menganalisis sistem pendukung hulu (Inlet) di STA 0+ 043.000, kami menyimpulkan bahwa sistem pendukung yang digunakan di sisi hulu terowongan adalah rock bolts dan shotcrete, berdasarkan pedoman Bieniawski (1989). Saya bisa. Klasifikasi batuan hulu juga termasuk batuan sedang (Kelas III) yang disurvei oleh ahli geologi, menghasilkan nilai RMR antara RMR 41 dan 60. Menurut perhitungan matematis, tegangan yang disebabkan oleh tumpuan (Penyangga) terowongan di sisi inlet adalah 11,758 MPa dan maksimum kekakuan adalah 41.221,137 MPa/m, sehingga faktor keamanan pada sisi inlet adalah 301,14 untuk atap dan 51,50 untuk dinding. Faktor keamanan terowongan secara keseluruhan adalah 1,5, sehingga terowongan bendungan Lau-Simeme dianggap aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggiet Roro Sakapakerti (2020), dalam "Analisis Pengaruh Kuat Geser Massa Batuan terhadap Waktu Tunggu (Stand-up Time) Terowongan Pengelak Beringin Sila, Kabupaten Sumbawa"
- Anang Wibowo., (2020). Trigonometri Analitik, Ponogoro
- Air, K. P. (2011). Pedoman Perencanaan Dan Pelaksanaan Konstruksi Terowongan Untuk Bendungan. Jakarta: Direktorat Jendral Sumber Daya Air.

- Bramara Dwi Mahayana (2017). Metode Pelaksanaan Terowongan Pengelak Bendungan Tukul Kabupaten Pacitan Jawa Timur, Surabaya
- Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil NOMOR: 30/SE/M/2015 mengenai Pedoman Perencanaan Penggalian Dan Sistem Perkuatan Terowongan Jalan Pada Media Campuran Tanag-Batuan.
- Chikalistyanti Sudrajat (2020), mengambil tugas akhir tentang “Analisis Sistem Penyangga Pada Terowongan Pengelak Bendungan Beringin Sila Di Kabupaten Sumbawa”, Mataram
- Dwi Setiya Ningsih (2015), Rumus Trigonometri
- Siswanto, Dyah Anggraini., “Perbandingan Klasifikasi Massa Batuan Kuantitatif: Q, RMR, dan RMI., Universitas diponegoro”, Semarang.
- PT. Persero (PP). 2003. Buku Referensi Untuk Kontraktor Bangunan Gedung dan Sipil. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Putera dkk (2019) dalam “Penggunaan Metode Empirik Sebagai Penentu Penyangga Terowongan Pengelak Bendungan Beringin Sila,
- Quratu’ Aeni (2014) mengambil judul penelitian tentang “Perilaku Tegangan Pada Massa Batuan Yang Menggunakan Sistem Penyangga Grouting Pada Terowongan Pengelak Bendungan Pandan Duri Swangi Di Lombok Timur”, Mataram.
- Wika Kontraktor, PT. 2013. Dokumen Metode Pelaksanaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo. Ponorogo.
- Yuyun Yunita., Analisis Sitem Penyangga Pada Terowongan Mila Di Rababaka Kompleks Kabupaten Dompu, Mataram 2016.