



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 1 Tahun 2024 Page 3636-3651

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Evaluasi Geologi Teknik Pada Metode Penggalian Dan Sistem Penyangga Konstruksi Terowongan Pengelak Bendungan Jragung, Semarang

Mulyadi<sup>1✉</sup>, Abdul Rochim<sup>2</sup>, Pratikso<sup>3</sup>

Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

Email : [mulyadisudjai@gmail.com](mailto:mulyadisudjai@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Terowongann pengelak Bendungan Jragung merupakan terowongan yang dibangun untuk mengelakkan air sungai selama pelaksanaan konstruksi. Terletak di Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Terowongan ini direncanakan memiliki panjang 400 m dan diameter dalam 5,30 m. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi geologi teknik area penelitian dalam pelaksanaan metode penggalian, dan sistim penyangga terowongan. Kondisi geologi dan geologi teknik didapatkan dari investigasi geologi dan pengujian laboratorium. Penentuan kualitas massa batuan dilakukan dengan metode GSI dan RMR. Pada analisis metode penggalian dan sistem penyangga digunakan metode empiris berdasarkan RMR dan NATM yang didasari oleh hasil penentuan kualitas massa batuan. Litologi penyusun terdiri dari satuan batupasir perselingan batulempung dan batulanau, dan satuan batulempung sisipan batupasir dan batulanau (anggota Banyak Formasi Kalibeng). Hasil dari pengamatan di lapangan maupun uji sifat mekanik di laboratorium, batuan di lokasi penelitian tergolong kedalam batuan lunak. Adanya bermacam kondisi massa batuan yang melewati trase terowongan, sehingga untuk metode penggalian dan sistim penyangga terowongan dibagi menjadi 4 (empat) segmen. Metode penggalian massa batuan menggunakan digging dan ripping. Secara keseluruhan metode penggalian terowongan dilakukan dengan tahapan top heading dan bench. Untuk sistim penyangga terowongan menggunakan steel rib, rock bolts, wiremesh, shotcrete dan lining concrete.

Kata Kunci: *Terowongan pengelak, Bendungan Jragung, Metode Penggalian, Sistim penyangga.*

## Abstract

A diversion tunnel of the Jragung dam is a tunnel to evade the river during the Jragung Dam construction. Located in Semarang Regency, Central Java Province. This tunnel is planned to have a length of 400 m and an inner diameter of 5,30 m. This study aims to evaluate the geological engineering conditions at the research site used in planning the excavation methods and support systems. Geological conditions and engineering geology were obtained from geological investigation and laboratory testing. Rock mass quality was determined using the GSI and RMR methods. In the excavation method and the support system analysis, empirical methods are used based on RMR and NATM, which rock mass quality results influenced the analysis. The lithology consists of sandstone units intercalated with claystone and siltstone and claystone units intercalated with sandstone and siltstone (Banyak members of the Kalibeng Formation). The results of field observations and mechanical properties testing in the laboratory, the rocks at the research site are classified as soft rocks. The fact that heterogeneity in the condition of the rock mass passing through the tunnel alignment, so that the excavation method and the tunnel support system are divided into four segments. The rock mass excavation methods use digging and ripping. Overall the tunnel excavation method is carried out in the top heading and bench stages. The tunnel support system uses steel rib, rock bolts, wiremesh, shotcrete and lining concrete.

Keyword: *Diversion tunnel, Jragung dam, Excavation method, Support systems.*

## PENDAHULUAN

Penelitian dan pemetaan geologi teknik terutama ditujukan untuk memahami hubungan timbal balik antara lingkungan geologis dan situasi teknik, sifat dan hubungan masing – masing komponen geologi, proses geodinamik aktif dan prognosis proses yang mungkin dihasilkan dari perubahan yang dilakukan (Dearman, 1991).

Menurut PT. Indra Karya (2019), berdasarkan dari CRIEPI (Central Research Institute of Electric Power Industry), klasifikasi batuan pada daerah penelitian Bendungan Jragung terdiri dari klas D, CL, CL-CM dan CM. Ketebalan klas D : 2-6 m, CL: 0,5-8 m. Rencana pondasi terowongan saluran pengelak diletakkan pada batuan klas CL-CM.

Pada hasil analisis dan pengujian Compressive Strength batulempung dan batupasir oleh PT. Virama Karya dan PT. Indra Karya, terlihat perbedaan signifikan dalam nilai rata-rata Compressive Strength. PT. Virama Karya mencatat nilai rata-rata 24,75 kg/cm<sup>2</sup> untuk batulempung dan 46,39 kg/cm<sup>2</sup> untuk batupasir, sedangkan PT. Indra Karya mencapai nilai rata-rata 58,03 kg/cm<sup>2</sup> untuk batulempung dan 90,71 kg/cm<sup>2</sup> untuk batupasir. Berdasarkan uji Unconfined Compressive Strength, klasifikasi batuan ini termasuk dalam kategori batuan sangat lemah - lemah. Dalam konteks perencanaan terowongan saluran pengelak Bendungan Jragung oleh PT. Indra Karya, terowongan tersebut direncanakan sepanjang

+400 m dengan diameter dalam 5,30 m, dan dimensi pintu air 5,40 m x 5,40 m, terletak di lereng sisi kiri sungai Jragung. Dasar terowongan saluran pengelak pada bagian hulu direncanakan pada elevasi +060.00 m dan bagian hilir pada elevasi +052.40 m, dengan pertimbangan terhadap kondisi massa batuan yang dihadapi.

Pada pelaksanaan konstruksi terowongan saluran pengelak Bendungan Jragung, ditemui kendala runtuh pada crown dan dinding terowongan di beberapa titik, terutama di area batuan lunak. Analisis sistem penyangga menjadi krusial dalam mengatasi masalah ini, karena sistem penyangga yang tidak optimal dapat menyebabkan keruntuhan terowongan. Klasifikasi massa batuan menjadi pendekatan kuantitatif untuk desain, namun, penggunaan satu metode saja tidak cukup karena kondisi tektonik yang bervariasi. Dalam konteks konstruksi terowongan, batuan pondasi Bendungan Jragung termasuk dalam kategori batuan lunak, sehingga metode New Austrian Tunneling Method (NATM) diterapkan. NATM mengintegrasikan prinsip perilaku massa batuan di bawah beban, memantau kinerja konstruksi bawah tanah selama pelaksanaan, dan memberikan fleksibilitas dalam penyesuaian serta penggalian terowongan. Pendekatan ini mencakup sistem klasifikasi batuan secara kualitatif dan memberikan pemantauan terus-menerus terhadap gerakan batuan serta revisi penyangga untuk mencapai lining yang stabil dan ekonomis.

Menurut Hardjomuljadi (2010), *New Austrian Tunneling Method* adalah suatu pendekatan berupa idea yang didasari oleh sifat-sifat massa batuan dan pemantauan dari kelakuan galian bawah tanah selama pelaksanaan. *Method* disini merupakan suatu konsep dasar pendekatan empiris dengan dasar teori hubungan antara tegangan (*stress*) dan deformasi (*deformation*) di sekeliling terowongan yang digali.

Penyangga beban yang utama dari suatu terowongan adalah massa batuan disekeliling terowongan itu sendiri. Penyangga awal terutama sekali dimaksudkan agar batuan tersebut dapat menyangga dirinya sendiri. Penyangga awal yang diberikan harus mempunyai karakteristik hubungan beban dan deformasi yang sesuai dan dipasang pada waktu yang tepat (Hardjomuljadi, 2010).

Dalam NATM, penyangga yang dipakai adalah penyangga yang *flexible*, bukan penyangga yang kaku (*rigid*). Jadi penggunaan kombinasi *rockbolt*, *wire mesh* dan *shotcrete* lebih sesuai daripada penggunaan beton yang tebal. Penyangga awal sebenarnya adalah penyangga total dan penyangga kedua (*secondary support*) nantinya akan lebih tergantung kepada hasil pemantauan.

Sesudah penggalian terowongan perlu dipasang penyangga awal, untuk mencegah terjadinya *rock loosening*, karena jika batuan mengalami *loosening* maka keruntuhan akan

sulit untuk dicegah lagi. Oleh sebab itu perlu dipasang penyangga awal yang disesuaikan dengan *stand up time* dari masing- masing jenis batuan.

Tujuan penelitian ini adalah evaluasi kondisi geologi teknik untuk menentukan metode penggalian dan sistem penyangga terowongan yang sesuai dengan kondisi geologi teknik di lokasi penelitian.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Bendungan Jragung, Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah, fokus pada terowongan saluran pengelak STA 0+480 s.d 0+880. Menggunakan data primer dan sekunder, termasuk observasi lapangan, wawancara dengan PT. Brantas Abipraya, dan analisis laboratorium, penelitian ini mengevaluasi kondisi geologi teknik dan kualitas massa batuan untuk perencanaan terowongan. Dua data valid hasil uji GSI kemudian diuji reabilitas dengan alpha, menunjukkan keandalan dan konsistensi. Analisis metode penggalian dan sistem penyangga terowongan dilakukan dengan mempertimbangkan RMR dan NATM, dengan tujuan mendapatkan penggalian dan penyangga yang sesuai dengan kondisi geologi untuk mencapai kestabilan dan keamanan terowongan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

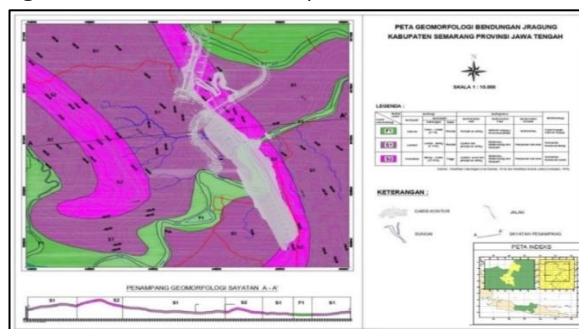
### Hasil

Evaluasi kondisi geologi dilakukan dengan mengidentifikasi morfologi, litologi, stratigrafi, struktur geologi, air tanah, dan kegempaan. Kondisi geologi pada trase terowongan memiliki morfologi dan litologi yang seragam, yaitu satuan morfologi perbukitan struktural curam dan perbukitan struktural miring, litologi berupa batupasir perselingan batulempung dan batulanau serta batulempung sisipan batupasir dan batulanau dengan kemiringan perlapisan relatif tegak kearah timur laut (hilir/ outlet) termasuk dalam Formasi Kalibeng, yang terbentuk pada kisaran kala Miosen Akhir sampai Pliosen. Struktur geologi berupa lipatan antiklin mempunyai puncak lipatan berada di sebelah barat daya atau bagian hulu dari trase inlet terowongan.



Gambar 6. Kenampakan Geomorfologi Daerah Penelitian  
 (a) Morfologi Agak Curam - Curam; (b) Morfologi Landai - Miring;  
 (c) Morfologi Datar – Landai

Morfologi daerah penelitian dan sekitarnya berupa satuan perbukitan struktural curam, satuan perbukitan struktural miring dan satuan dataran sungai. Morfologi ini menyebabkan pada dataran sungai rawan terhadap bahaya banjir, sedangkan pada daerah perbukitan struktural curam dan miring rawan terhadap bahaya longsor dan erosi permukaan. Hal ini menjadi perhatian dalam pembangunan terowongan pada lokasi di kedua portal, yaitu inlet yang berada pada satuan perbukitan struktural miring dan outlet di satuan perbukitan struktural curam.



Gambar 7. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

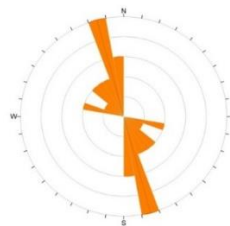
Stratigrafi berupa alluvial, lapisan batupasir perselingan batulempung dan batulanau dengan ketebalan lapisan 30 – 80 cm dan lapisan batulempung sisipan batupasir dan batulanau dengan ketebalan lapisan 10 – 90 cm. Sedangkan pada trase terowongan dijumpai batupasir perselingan batulempung dan batulanau dan batulempung sisipan batupasir dan batulanau. Pada permukaan terdapat lapisan tanah residu dan alluvial dengan ketebalan 2 - 5 m. Arah umum perlapisan batuan menunjukkan kemiringan ke arah timur laut yang merupakan sayap / sisi timur sumbu antiklin. Hal ini akan berpengaruh pada penentuan orientasi arah penggalian dan kestabilan lereng di bagian portal terowongan. Juga arah rembesan yang biasanya akan mengikuti arah perlapisan batuan (Yang et al., 2014).

Struktur geologi berupa lipatan antiklin dengan sumbu yang berarah barat laut – tenggara dan mempunyai puncak lipatan berada di sebelah barat daya atau bagian hulu dari trase inlet terowongan. Antiklin ini termasuk jenis lipatan sedang (*moderate fold*) dengan kemiringan yang condong ke arah timur laut.

Hasil analisis struktur diketahui arah umum kekar adalah barat laut – tenggara (N345°E/82°) seperti pada Gambar 8 dan tegak lurus terhadap arah gaya utama berarah relatif barat daya – timur laut, yaitu subduksi di Pulau Jawa antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia yang terjadi pada zaman Pliosen-Plistosen. Akibat gaya utama ini menyebabkan terbentuknya morfologi (*relief*) perbukitan di daerah penelitian dan sekitarnya.

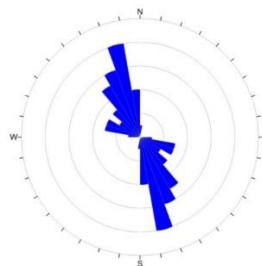
Tabel 2. Kedudukan Kekar-kekar di Lokasi Penelitian

No	Strike (N...°E)	Dip (...°)	No	Strike (N...°E)	Dip (...°)
1	293	83	10	342	80
2	302	85	11	352	85
3	314	88	12	357	70
4	347	76	13	312	82
5	326	78	14	342	80
6	287	87	15	336	70
7	352	88	16	282	72
8	324	82	17	330	85
9	344	80	18	340	81



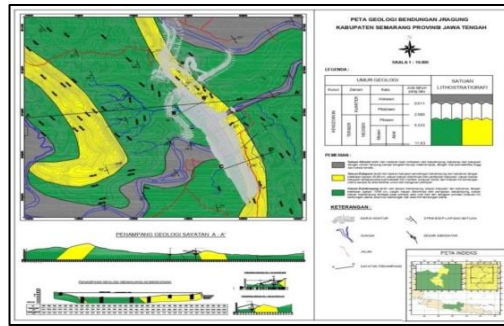
Gambar 8. Hasil Analisis Kekar dengan Kedudukan Umum N345°E/82°

Interpretasi arah kelurusan punggungan perbukitan disimpulkan bahwa kelurusan pada lokasi penelitian dipengaruhi oleh struktur geologi, dilihat dari garis-garis kelurusan yang panjang. Dilakukan analisis dengan *software* DIPS version 5.103 kelurusan punggungan daerah penelitian mempunyai arah umum barat laut – tenggara (N342°E) sesuai pada [Gambar 9](#). Hal ini sesuai dengan hasil analisis data kekar dan sumbu lipatan antiklin yang menunjukkan kedudukan batuan hanya dipengaruhi oleh struktur lipatan dan tidak terpengaruh gaya lain seperti aktivitas vulkanik.

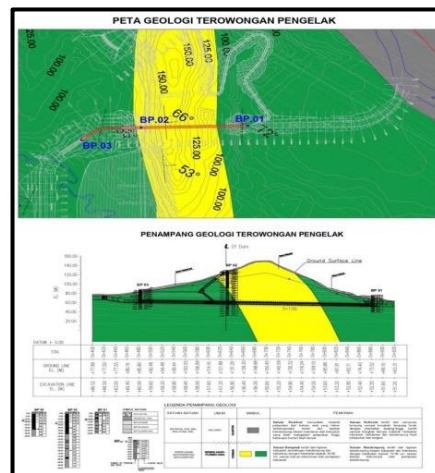


Gambar 9. Hasil Analisis Kelurusan Punggungan berarah Umum Barat Laut – Tenggara (N342°E)

Dari data hasil pemboran diketahui muka air tanah berada pada kedalaman 6,7 – 17 m, dan secara keseluruhan berada diatas jalur terowongan. Sehingga pada analisis metode penggalian maupun sistem penyangga terowongan harus menggunakan properties material jenuh air dan mempertimbangkan pengaruh tekanan air tanah. Permeabilitas (*k*) rerata menunjukkan angka  $4,78 \times 10^{-5}$  –  $5,99 \times 10^{-5}$  cm/det menunjukkan kondisi batuan cukup kedap. Saat penggalian terowongan dilakukan *dewatering* untuk mencegah aliran air terakumulasi dalam terowongan.



Gambar 10. Peta Geologi dan Penampang Geologi Daerah Penelitian



Gambar 11. Profil Geologi pada Trase Terowongan Pengelak

Analisis karakteristik geologi teknik dilakukan sepanjang trase terowongan. Dokumentasi sampel pemboran inti pada elevasi terowongan dapat dilihat pada Gambar 12.

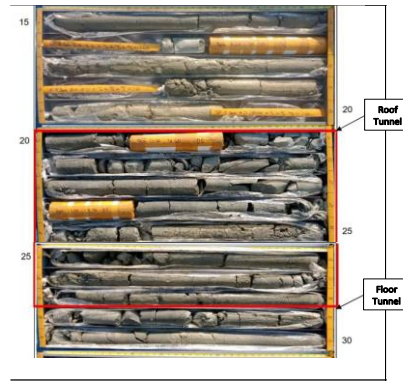
**BP-01**



**BP-02**



**BP-03**



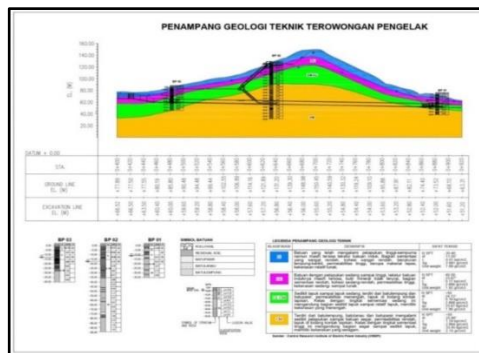
Gambar 12. Foto Sampel Pemboran Inti pada Trase Terowongan

Karakteristik geologi teknik diketahui dengan melakukan pengujian sifat indeks dan sifat mekanika tanah dan batuan. Resume hasil pengujian laboratorium batuan dan tanah pada titik pemboran di sepanjang trase terowongan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Resume Hasil Pengujian Sifat Index dan Mekanik Batuan

No	Hole ID	STA	Kedalaman	Uji Laboratorium									Keterangan	
				Direct Shear				Triaxial Test (Unconsolidated Undrained)		Triaxial Test (Unconfined Compression Test)				
				Water Content (%)	Specific Gravity (g/cm <sup>3</sup> )	c (kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )		
1	BP 01	0+880	21.00 – 23.00	31.81	2.5755	-	-	0.310	5.029	0.327	0.653	-	Batulempung	
2			32.20 – 33.70	24.59	2.5884	-	-	0.730	25.174	0.214	0.429	-	Batulempung	
3	BP 02	0+630	1.00 – 1.50	34.62	2.6212	-	-	-	-	-	-	-	Residual	
4			3.00 – 3.50	30.91	2.6819	0.063	30.340	0.010	11.052	-	0.435	-	Residual	
5			51.44 – 51.92	46.67	2.6325	4.347	16.951	-	-	-	-	-	23.964	Batulempung
6	BP 03	0+480	56.36 – 56.82	32.45	2.6418	6.248	19.377	-	-	-	-	-	48.271	Batulempung
7			62.00 – 62.50	47.74	2.6149	3.136	15.238	-	-	-	-	-	23.672	Batupasir
8	BP 02	0+630	65.00 – 65.50	49.12	2.6259	1.245	25.994	-	-	-	-	-	33.451	Batulempung
9			12.45 – 12.85	30.93	2.666	0.17	23.67	-	-	-	-	-	-	Batulempung
10	BP 03	0+480	16.60 – 17.00	28.77	2.668	0.16	24.72	-	-	-	-	-	-	Batulanau
11			20.30 – 20.60	-	2.6601	1.087	35.867	-	-	-	-	-	1.550	Batupasir
12			23.00 – 23.30	-	2.6641	1.879	37.611	-	-	-	-	-	3.413	Batulempung

Dari hasil pengujian laboratorium dibuat ilustrasi karakteristik geologi teknik bawah permukaan sepanjang trase terowongan yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Penampang Geologi Teknik pada Trase Terowongan Penglak

Analisis pada trase terowongan tersusun atas dua satuan geologi teknik tingkat pelapukan batuan yang terdiri dari batulempung sisipan batupasir lapuk sedang – sedikit lapuk (CL-CM), serta batupasir perselingan batulempung dan batulanau sedikit lapuk – batuan segar (CM).

1. Batulempung sisipan batupasir lapuk sedang – sedikit lapuk (CL-CM)

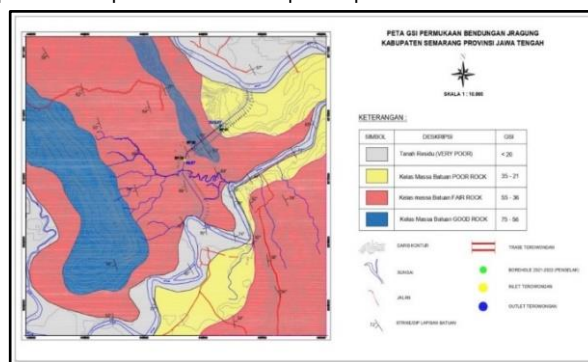
Warna abu-abu – kecoklatan, lapuk di bidang kontak lapisan dengan tingkat sementasi sedang ini terdiri dari bagian sedikit lapuk sampai relatif lapuk. Kekar spasi : 30 – 80 cm, tertutup

hingga terbuka 1 – 5 mm, sebagian terisi lempung dan mineral kalsit. Memiliki kekerasan sedang - agak lunak, N-SPT >50, sudut geser ( $\phi$ ) 24,72°, kohesi (c) = 0,16 kg/cm<sup>2</sup>, *specific gravity* (sg) = 2,668 kg/cm<sup>3</sup>, kapasitas/ daya dukung batas (qu) = 23,67 kg/cm<sup>2</sup>, kuat tekan 0,429 – 0,653 kg/cm<sup>2</sup>, porositas kedap – semi kedap dengan permeabilitas (k) = 5,72x10<sup>-06</sup> - 7,90x10<sup>-04</sup> cm/det (Lu=0,44 – 60,78), berat jenis 1,96 gr/cm<sup>3</sup>, dan *water content* 31,31 %.

2. Batupasir perselingan batulempung dan batulanau sedikit lapuk – batuan segar (CM)

Warna abu-abu – kecoklatan muda, lapuk di bidang kontak lapisan, dengan tingkat sementasi tinggi ini terdiri dari bagian sedikit lapuk sampai relatif segar. Kekar spasi : 20 – 60 cm, tertutup hingga terbuka 1 – 3 mm, sebagian terisi lempung dan mineral kalsit. Memiliki kekerasan yang seragam keras, N-SPT >50, sudut geser ( $\phi$ ) 25,99°, kohesi (c) = 1,24 kg/cm<sup>2</sup>, *specific gravity* (sg) = 2,664 kg/cm<sup>3</sup>, kapasitas/ daya dukung batas (qu) = 33,45 kg/cm<sup>2</sup>, kuat tekan 0,429 – 0,653 kg/cm<sup>2</sup>, porositas kedap dengan permeabilitas (k) = 2,47x10<sup>-06</sup> - 1,34x10<sup>-04</sup> cm/det (Lu=0,19 – 10,28), berat jenis 2,15 gr/cm<sup>3</sup>, dan *water content* 38,73 %.

Analisis terhadap kualitas massa batuan permukaan dengan menggunakan metode *Geological Strength Index (GSI)*. Penentuan GSI permukaan dilakukan secara langsung di lapangan, sehingga menghasilkan peta GSI permukaan seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Peta GSI Permukaan Daerah Penelitian

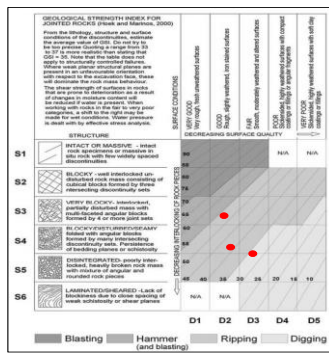
Kualitas massa batuan bawah permukaan dilakukan pada trase terowongan dengan menggunakan metode *Geological Strength Index (GSI)* dan *Rock Mass Rating (RMR)*. Data yang digunakan merupakan hasil pengamatan pada bor log dan hasil uji laboratorium pada sampel bor log di sepanjang trase terowongan. Penentuan kualitas massa batuan dilakukan dengan penentuan nilai *Rock Quality Designation (RQD)*, nilai GSI bawah permukaan dan nilai RMR tiap 1 m kedalaman pembedaan. Selanjutnya dilakukan Analisa hubungan GSI dan RMR yang menghasilkan grafik hubungan antara GSI dan RMR pada Gambar 15.



### 3. Evaluasi Metode Penggalian Terowongan

Pada analisis penentuan tipe penggalian dengan menggunakan grafik GSI oleh Tsiambaos dan Saroglou didapatkan tipe penggalian menggunakan *digging* dan *ripping*. Meskipun demikian, menurut Hoek (2001) dalam Sharifzadeh and Kolivand (2013) tidak ada aturan baku yang benar-benar dapat memfasilitasi dalam penentuan tipe penggalian. Penentuan tipe penggalian lebih dipengaruhi oleh pengalaman teknis daripada perhitungan teoritis. Penentuan tipe penggalian pada terowongan lebih dipengaruhi oleh keamanan konstruksi, biaya dan waktu.

Penentuan tipe penggalian terowongan umumnya dilakukan dengan menggunakan grafik dari Pettifer and Fookes (1994). Namun dalam penelitian oleh Tsiambaos and Saroglou (2010) membahas grafik Pettifer-Fookes ini pada tipe penggalian *ripping* bersifat terlalu *underestimate* dan memprediksi penggalian yang sukar, sedangkan peralatan ekskavasi saat ini semakin modern. Sehingga diperkenalkan modifikasi grafik GSI sebagai alat penilai untuk menentukan tipe penggalian yang dianggap lebih sesuai dengan kondisi saat ini. Tipe penggalian yang sesuai dengan trase terowongan adalah penggalian menggunakan *ripping* dan *digging*.



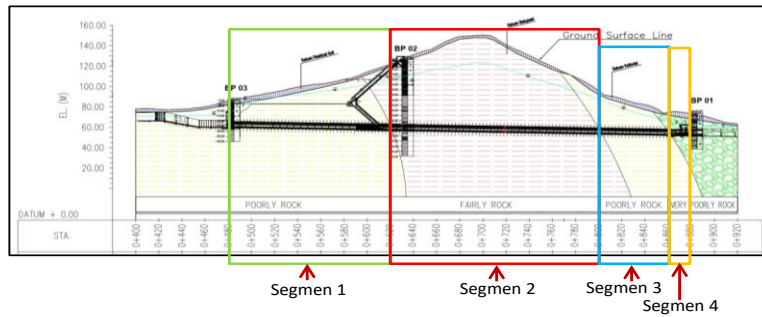
Gambar 18. Penilaian Tipe Penggalian Menggunakan Grafik GSI Tsiambaos dan Saroglou

Analisis kualitas massa batuan pada trase terowongan dengan menggunakan metode GSI dan RMR, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4. Pada hasil analisis diketahui setiap segmen trase terowongan memiliki kelas massa batuan yang berbeda, yaitu kelas buruk - baik berdasarkan nilai GSI, dan kelas sangat buruk - sedang berdasarkan nilai RMR.

Tabel 4. Hasil Analisis Kualitas Massa Batuan pada Elevasi Terowongan

Borehole	STA	GSI		RMR	
		Rating	Kelas Batuan	Rating	Kelas Batuan
BP-03	(0+480) – (0+620)	48,54	Sedang	36,62	Buruk
BP-02	(0+620) – (0+770)	67,11	Baik	47,39	Sedang
BP-01	(0+770) – (0+820)	52,89	Sedang	35,57	Buruk
	(0+820) – (0+880)	24,94	Buruk	18,63	Sangat Buruk

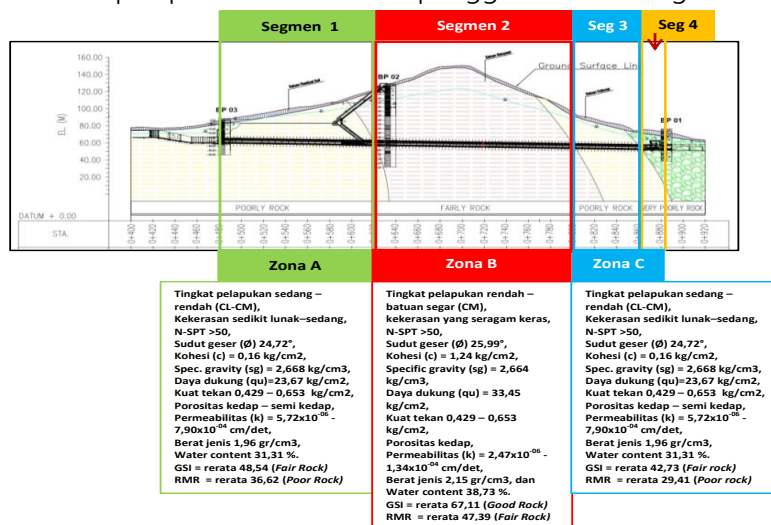
Untuk perencanaan sistem penyangga terowongan dibagi menjadi 4 segmen seperti pada Gambar 19 yaitu segmen 1 (STA 0+480 – 0+620), segmen 2 (STA 0+620 – 0+770), segmen 3 (STA 0+770 – 0+860) dan segmen 4 (STA 0+860 – 0+880).



Gambar 19. Pembagian Segmen berdasarkan Analisis Kualitas Massa Batuan

Analisis metode penggalian terowongan dilakukan dengan metode RMR dan NATM. Berdasarkan hasil klasifikasi massa batuan, diketahui metode penggalian yang sesuai dengan kondisi lapangan disajikan pada Tabel 5. Kemudian dilakukan penentuan metode penyangga terowongan menggunakan metode RMR dan NATM. Hasil dari analisis dapat dilihat pada Tabel 6.

Evaluasi kondisi geologi teknik meliputi kondisi geologi teknik dan analisis kualitas massa batuan. Kondisi geologi teknik pada trase terowongan dibagi menjadi 3 (tiga) zona. Dari ketiga zona tersebut dikelompokkan berdasarkan penilaian kualitas massa batuan menjadi 4 (empat) segmen seperti pada Gambar 20. Kualitas massa batuan akan berpengaruh terhadap penentuan metode penggalian dan sistem penyangga terowongan. Arah kemiringan perlapisan batuan yang relatif searah juga berdampak pada orientasi arah penggalian terowongan.



Gambar 20. Evaluasi Kondisi Geologi Teknik pada Trase Terowongan

Kualitas massa batuan di bawah permukaan berdasarkan penilaian GSI memiliki kualitas batuan buruk (*poor*) - bagus (*good*). Sedangkan berdasarkan RMR kualitas batuan sangat buruk (*very poor*) - sedang (*fair*). Analisis kualitas massa batuan tersebut dipengaruhi oleh jenis perlapisan batuan dengan kemiringan berarah ke timur laut (area outlet/ hilir).

Rendahnya kualitas massa batuan menyebabkan perlunya pemantauan terhadap dampak yang mungkin terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi, yaitu deformasi pada terowongan maupun pada permukaan tanah. Instrumen pemantauan deformasi dapat dipasang setidaknya

masing-masing pada setiap segmen penggalian terowongan.

Untuk orientasi arah penggalian lebih menguntungkan apabila penggalian terowongan dilakukan dari arah inlet atau sisi barat daya (hulu), karena arah kemiringan perlapisan batuan relatif ke arah timur laut atau outlet (hilir) di sepanjang trase terowongan. Penentuan orientasi arah penggalian yang tepat akan membantu mencegah terjadinya runtuhnya pada muka bidang galian.

Tabel 5. Hasil Analisis Metode Penggalian Terowongan

Titik Bor	Segmen	RMR	NATM
BP-03	1	Top heading dan bench, kemajuan 0,5 – 0,75m di top heading, pemasangan penyangga seiring dengan penggalian.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ekskavasi / penggalian awal pada top heading.</li> <li>- Pemasangan penyangga utama pada top heading.</li> <li>- Ekskavasi / penggalian peralihan dari top heading ke bench.</li> <li>- Pemasangan penyangga utama pada bench.</li> <li>- Ekskavasi / penggalian peralihan dari bench ke invert.</li> <li>- Kemajuan penggalian dan pemasangan penyangga utama berjarak 0,5 – 1,5 m.</li> </ul>
BP-02	2	Top heading dan bench, kemajuan 0,75 – 1,5 m di top heading, pemasangan penyangga setelah setiap penggalian, penyangga penuh 10 m dari muka.	
BP-01	3	Top heading dan bench, kemajuan 0,5 – 0,75m di top heading, pemasangan penyangga seiring dengan penggalian.	
	4	Drift berganda dengan kemajuan 0,5m di top heading, penyangga harus segera terpasang setelah penggalian, shotcrete perlu segera dilakukan.	

Penentuan metode penggalian terowongan dilakukan menggunakan gabungan 2 metode empiris, yaitu *Rock Mass Rating* (RMR) dan *New Austrian Tunneling Method* (NATM). Analisis metode penggalian dilakukan berdasarkan hasil analisis kualitas massa batuan yang dibagi menjadi 4 segmen berdasarkan RMR dan GSI. Dari gabungan kedua metode tersebut didapatkan panjang lajur penggalian dan lokasi penempatan penyangga. Hasil analisis dengan metode RMR maupun NATM menunjukkan penggalian terowongan dilakukan dengan tahapan penggalian yaitu *top heading* dan *bench*.

#### 4. Evaluasi Sistem Penyangga Terowongan

Penentuan sistem penyangga terowongan dilakukan seperti pada penentuan metode penggalian, dibagi menjadi 4 segmen dengan berdasarkan RMR dan GSI. Dengan menggunakan metode penggalian berdasarkan RMR dan NATM didapatkan hasil sistim penyangga yang hampir sama, sehingga tidak akan berbeda jauh *safety factor* yang didapat apabila akan dilakukan analisis dengan metode numeris.

Pada hasil analisis gabungan metode RMR dan NATM tersebut, pemasangan sistem penyangga terowongan disesuaikan dengan kondisi batuan di setiap segmennya. Sistem penyangga menggunakan perkuatan rangka baja (*steel ribs*), baut batuan (*rockbolts*), *wiremesh* dan *shotcrete*. Pemasangan rangka baja (*steel ribs*) pada trase terowongan dengan jarak spasi 0,5 – 1,5 meter atau disesuaikan dengan kualitas massa batuan. Sedangkan baut batuan (*rockbolts*), *wiremesh* dan *shotcrete* dipasang pada atap dan dinding terowongan. Pada kondisi kualitas massa batuan yang rendah atau batuan lunak, perlu ditambahkan pemasangan *forepoling* pada bagian atap (*crown*) sebagai perkuatan pada saat penggalian.

Tabel 6. Hasil Analisis Sistem Penyangga Terowongan

Titik Bor	Segmen	RMR	NATM
BP-03	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Shotcrete: 100-150 mm di atap, 100 mm di dinding.</li> <li>- Rockbolt; sistematis bolt panjang 4 – 5 m, diameter 25 mm full grouting, spasi 0,5 – 0,75 m di atap dan dinding dengan wiremesh.</li> <li>- Steel sets; rangka ringan sampai sedang spasi 0,5-0,75 m, ditempat yang diperlukan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rangka baja H100 (panjang=17m, tebal = 8mm, tinggi = 100mm, spasi = 0,5 – 1,5m / disesuaikan dengan kondisi batuan);</li> <li>- Rockbolt (diameter = 25mm, panjang = 6 m, spasi longitudinal = 1,2m, spasi lateral = disesuaikan dengan jarak rangka baja) pada atap dan dinding; Wiremesh (diameter 5mm);</li> <li>- Shotcrete pada atap, dinding, dan lantai kerja (tebal=100 mm)</li> </ul> <p>Metode tambahan yang diperlukan antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perkuatan awal (forepoling diameter 32mm, panjang 6m, spasi 300mm, dengan pengisi atau injeksi semen).</li> <li>- Perkuatan muka bidang galian dengan shotcrete dan rockbolt.</li> <li>- Pengendalian aliran air dengan pemboran drainase.</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Shotcrete: 50-100 mm di atap, 100 mm di dinding.</li> <li>- Rockbolt; sistematis bolt panjang 3-4 m, diameter 25 mm full grouting, spasi 0,75-1,0 m di atap dan dinding dengan wiremesh.</li> <li>- Steel sets; rangka ringan - sedang, spasi 0,75 - 1,5 m, ditempat yang diperlukan.</li> </ul>	
BP-01	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Shotcrete: 100-150 mm di atap, 150 mm di dinding.</li> <li>- Rockbolt; sistematis bolt panjang 4 – 5 m, diameter 25 mm full grouting, spasi 0,5 – 1,0 m di atap dan dinding dengan wiremesh.</li> <li>- Steel sets; rangka ringan sampai sedang, spasi 0,5-0,75 m, ditempat yang diperlukan.</li> </ul>	
	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Shotcrete: 150-200 mm di atap, 200 mm di dinding dan 100 mm di muka.</li> <li>- Rockbolt; sistematis bolt panjang 5 – 6 m, diameter 25 mm full grouting, spasi 0,5 – 0,75 m di atap dan dinding dengan wiremesh, bolt invert.</li> <li>- Steel sets; rangka sedang sampai berat spasi 0,5-0,75 m, dengan steel lagging dan forepoling jika diperlukan, invert tertutup.</li> </ul>	

Pemantauan zona-zona pada sistem penyangga terowongan perlu memperhatikan kondisi batuan dan beban diatas elevasi terowongan. Terutama pada area yang direncanakan akan dibangun fasilitas umum, yang perlu dilakukan analisis potensi *hazard* di permukaan agar tidak berdampak pada stabilitas terowongan.

### SIMPULAN

Hasil analisis dan pembahasan menunjukkan bahwa sifat keteknikan tanah dan batuan, termasuk berat jenis, sudut geser, dan kohesi, serta parameter lainnya, menandakan bahwa batuan di daerah penelitian dapat dikategorikan sebagai weak rock menurut klasifikasi Hoek and Brown (1997). Kualitas massa batuan sepanjang trase terowongan, dievaluasi menggunakan GSI dan RMR, berkisar dari buruk hingga baik dan sangat buruk hingga sedang, masing-masing. Metode penggalian terowongan yang direkomendasikan mencakup digging dan ripping, serta segmentasi top heading dan bench dengan perkuatan tambahan seperti perkuatan awal dan pengendalian aliran air. Sistem penyangga terowongan, yang dibagi menjadi empat segmen, disarankan menggunakan steel ribs, rock bolts, shotcrete, wiremesh, dan forepoling, dengan variasi ukuran tergantung pada kondisi batuan di setiap segmen.

### DAFTAR PUSTAKA

- Apriyono, A., and Sumiyanto. (2010). Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (A Review of Tunnel Supporting Systems Using Finite Element Method): *Dinamika Rekayasa*, v. 6, p. 33–38.
- Badan Standardisasi Indonesia. (2017). SNI 8460-2017, Persyaratan Perencanaan Geoteknik.

Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 134 - 136.

- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. Canada, John Wiley & Sons, 251 p.
- Deere, D.U., and Deere, D.W. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years*. US Army Corps of Engineers Report GL-89-1: Department of The Army - US Army Corps of Engineers, p. 100.
- Hardjomuljadi, Sarwono. (2010). *Terowongan Dengan NATM (New Austrian Tunneling Method)*. PT. MEDISA. Jakarta.
- Hoek, E., and Brown, E.T. (1998). *Practical Estimates of Rock Mass Strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v. 34, p. 1165–1186, doi:10.23919/ae.2019.8866996.
- Hoek, E., Carter, T.G., and Diederichs, M.S. (2013). *Quantification of the geological strength index chart*, in 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2013, v. 3, p. 672– 679.
- Hoek, E., Marinos, P., and Marinos, V. (2007). *Geological Strength Index (GSI). A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses, in Underground Works under Special Conditions - Proceedings of the Workshop (W1) on Underground Works under Special Conditions*, London, Taylor & Francis, doi:10.1201/noe041545\_0287.ch2.
- Indra Karya (Persero), PT. (2019). *Preparation of Jragung Multipurpose Dam Project : Engineering Design Report (EDR) : Jakarta*, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- ISRM. (2015). *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring* (R. Ulusay, Ed.): Cham, Switzerland, Springer, 292 p., doi:10.1016/0148-9062(81)90524-6.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Pedoman Metode Perencanaan Penggalian dan Sistem Perkuatan Terowongan Jalan Pada Media Campuran Tanah- Batuan: Indonesia*, p. 53.
- Muzakky, M.A., Indrawan, I.G.B. (2020). *Karakteristik Geologi Teknik Bendungan Jragung, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah* : Universitas Gajah Mada.
- Pusgen (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 16 p.
- Sukardi dan Budhitrisna, T. (1992). *Peta Geologi Bersistem Indonesia, Lembar Salatiga, Jawa*,

*skala 1:100.000*: Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Tsiambaos, G., and Saroglou, H. (2010). *Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index* *Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index ( GSI )*: Bull Eng Geol Environ, v.69, p.13-27, doi:10.1007/s10064-009- 0235-9.