

# PEMODELAN KONDISI GEOLOGI TEKNIK TEROWONGAN PENGELAK BENDUNGAN BENER DALAM UPAYA MITIGASI RESIKO BENCANA GEOLOGI

## ENGINEERING GEOLOGY MODEL OF BENER DAM DIVERSION TUNNELS IN GEOLOGICAL RISK DISASTER MITIGATION

Daru Jaka Sasangka<sup>1\*</sup>, Dian Insani<sup>2</sup>, I Gde Budi Indrawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politeknik PU, Kementerian PUPR; Jl Prof Soedarto, SH - Tembalang, Semarang; (024)7472848

<sup>2</sup>Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian PUPR, Jl Pattimura No.20 Kebayoran Baru

<sup>3</sup>Universitas Gadjah Mada; Jl. Grafika Bulaksumur No.2, Mlati, Sleman; (0274) 513668

Received: 2020, August 18<sup>th</sup>  
Accepted: 2020, October 2<sup>nd</sup>

### Keyword:

Rock mass quality;  
Tunnel;  
Stand Up Time;  
Fault.

### Correspondent Email:

[darujakasasangka@gmail.com](mailto:darujakasasangka@gmail.com)

### How to cite this article:

Sasangka, D. J., Insani, D.,  
Indrawan, I.G.B., (2020).  
Pemodelan Kondisi Geologi  
Teknik Terowongan Pengelak  
Bendungan Bener Dalam  
Upaya Mitigasi Resiko  
Bencana Geologi. *Jurnal  
Geofisika Eksplorasi*, 6(3),  
205-215.

**Abstrak.** Rencana Terowongan Pengelak Bendungan Bener terletak Kecamatan Bener Kabupaten Purworejo. Data pemetaan geologi Teknik permukaan, data pemboran dan data laboratorium digunakan sebagai data primer penelitian. Pemetaan Geologi teknik detail di permukaan dan analisa inti batuan bawah permukaan menunjukan setiap satuan batuan memiliki sifat indek dan sifat mekanik yang berbeda. Secara umum kondisi kualitas massa batuan di bawah permukaan area bendungan termasuk kedalam kualitas baik (80%) dalam sistem Rock Mass Rating (RMR)(Bieniawski, 1989). Kualitas massa batuan (RMR) dengan kondisi lain tidak banyak dijumpai diantaranya kualitas sedang (5%), buruk (5%) dan sangat buruk (10%), kondisi kualitas massa batuan sedang dan buruk dikontrol oleh struktur geologi terutama sesar yang sebagian memotong geometri terowongan. Kualitas massa batuan yang sangat buruk berada pada lensa vulkanik yang berupa material pasir lepas yang dijumpai pada kedalaman pemboran lebih dari 100m tidak memotong lintasan terowongan. Nilai *stand up time* batuan pada lintasan terowongan berbeda sehingga memerlukan mitigasi yang tepat (Nguyen & Nguyen, 2015). Nilai *stand up time* yang masuk dalam kategori membahayakan adalah pada zona patahan dengan kualitas massa batuan buruk, sedangkan lensa dengan kualitas massa batuan sangat buruk tidak mempengaruhi kestabilan ekskavasi terowongan karena posisinya yang jauh dari lokasi lintasan terowongan.

**Abstract.** The Bener Dam Diversion Tunnel Plan is located in Bener District, Purworejo Regency. Engineering geology mapping data, drilling data and laboratory data used as primary data. Surface and subsurface analysis show that each rock unit has different index and mechanical properties. Generally, the rock

Eksplorasi). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

*mass quality conditions in the dam belonged to good Rock (80%) in the Rock Mass Rating (RMR) system (Bieniawski, 1989). The other rock mass quality type also found among them fair rock (5%), poor rock (5%), and very poor rock (10%). Poor rock mass quality conditions were controlled by geological structures, especially faults that partially cut through the tunnel geometry. The very poor quality of rock mass was in the volcanic lens (loose sand material) did not cut through the tunnel path. The difference stand-up time of the rock on the tunnel requires proper mitigation (Nguyen & Nguyen, 2015). The stand-up time belonged to the dangerous condition was in the fault zone with poor rock mass quality, while the lens with very bad rock mass quality did not affect the stability of the excavation of the tunnel.*

## 1. PENDAHULUAN

Terowongan Pengelak Bendungan Bener terletak di Sungai Bogowonto, Desa Guntur, Kecamatan Bener Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah dengan jarak dari Kota Purworejo 12 Km ke arah Utara, atau 60km ke arah barat laut dari Kota Yogyakarta, dengan koordinat UTM X= 390850 – X=392850 ; Y = 9160950 – Y = 9158920.

Lokasi bendungan berada pada formasi Kebo Butak yang tersingkap di pegunungan Kulonprogo dan sekitarnya terdiri dari breksi andesit, tuff, tuff lapilli, aglomerat dan sisipan lava andesit Berdasarkan lembar peta geologi regional (Rahardjo & Sukandarrumidi, 1995). Bagian dari Formasi Kebobutak yang tersingkap di lokasi bendungan identik dengan Sub Formasi Kaligesing yang masuk dalam Formasi Andesit Tua (OAF) (Pratama dkk., 2017). Sub Formasi Kaligesing disusun oleh material-material hasil aktivitas vulkanisme gunung api purba yang ditunjukkan dengan adanya singkapan batuan breksi monomik, dengan fragmen andesit, sisipan batupasir dan lava andesit. Bagian dari Formasi Andesit Tua (OAF) yang tersingkap dilokasi penelitian adalah Sub Formasi Dukuh yang disusun oleh material-material hasil letusan gunung api dan batuan hasil rombakan yang mengalami transportasi dan terendapkan disuatu cekungan. Pengaruh aktifitas vulkanisme merupakan faktor dominan yang membentuk tatanan lithologi di lokasi penelitian. Pengaruh

struktur geologi regional yang paling dekat terlihat dari adanya sesar mayor yaitu sesar Rebung yang merupakan sesar mendatar mengiri yang berjarak  $\pm 6$  km disebelah barat lokasi penelitian yang berarah relatif utara (Asikin, Handoyo, & Busono, 1992)

Tujuan Penelitian pada lokasi terowongan bendungan dan lokasi bawah permukaan bendungan ini adalah mendapatkan penilaian awal terkait potensi bahaya pada saat konstruksi terowongan berdasarkan kondisi bawah permukaan dari data yang ada.

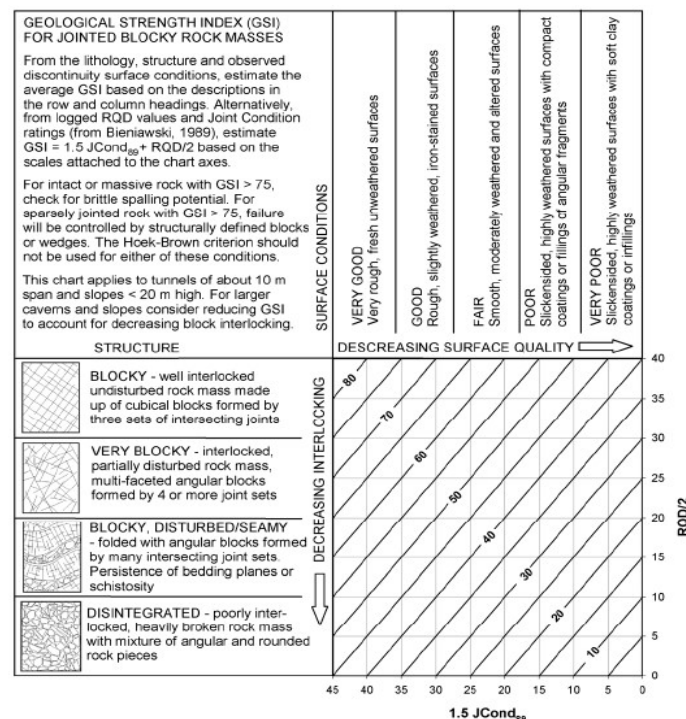
Penelitian – penelitian terdahulu yang pernah dilakukan di sekitar lokasi bendungan dengan kondisi geologi yang hampir sama menunjukan adanya beberapa permasalahan terkait dengan geologi teknik terutama kestabilan lereng, seperti di Desa Kalijambe Kecamatan Bener terdapat potensi longsoran yang diakibatkan oleh tingkat pelapukan yang tinggi (Indriani, Kusumayudha & Purwanto, 2017). Potensi longsoran di Kecamatan Bener juga di kontrol oleh sebagian besar wilayahnya yang termasuk dalam topografi yang miring hingga terjal (Nursa'ban, 2010). Sedangkan untuk area bendungan, Analisis potensi kesatbilan lereng secara detail pada lokasi rencana portal terowongan telah dilakukan dan menunjukan bahwa kondisi permukaan untuk galian lereng portal berada pada kondisi yang aman (Sasangka, Indrawan, & Taufik, 2019).

Penilaian awal untuk melihat potensi ketidakstabilan selama penggalian terowongan sangat penting untuk dilakukan. Tidak adanya penilaian (asesmen) awal kondisi bawah permukaan dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan saat penggalian karena lokasi – lokasi kritis tidak terdeteksi. Penilaian awal dapat dilakukan dengan melihat kondisi kualitas massa batuan bawah permukaan. Penelitian detail di lokasi terowongan pengelak mengenai kualitas massa batuan dan aspek – aspek geologi teknik bawah permukaan untuk mitigasi resiko bencana geologi belum pernah dilakukan sebelumnya. dengan melihat kondisi tersebut dan mempertimbangkan beberapa kondisi regional yang cukup kompleks dilihat dari stratigrafi dan pengaruh tektonik maka penelitian mitigasi resiko bencana geologi pada lokasi pembangunan terowongan ini sangat diperlukan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

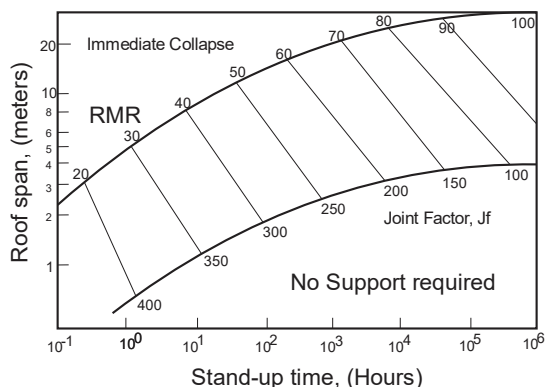
Rock Mass Rating (RMR) merupakan metode yang penilaian kualitas massa batuan yang sudah lebih dari 40 tahun dijadikan

referensi di seluruh dunia terutama dalam konstruksi terowongan, walaupun ada modifikasi seperti pada RMR14, namun baik RMR maupun RMR14 semuanya digunakan dan untuk kebutuhan praktek di lapangan (Celada dkk., 2014). Hingga kini perhitungan RMR dengan menggunakan dengan memasukan hasil pengukuran 5 parameter utama antara lain *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) material batuan utuh, *Rock Quality Designation* (RQD), Spasi bidang diskontinuitas, Kondisi bidang dan diskontinuitas, dan Kondisi air tanah yang mana masih sangat efektif digunakan untuk berbagai macam kebutuhan penelitian terkait konstruksi terowongan (Beemer & Worrells, 2017). Pada penelitian ini selain dengan RMR, penentuan kualitas massa batuan juga dilakukan dengan menggunakan metode *Geological Strength Index* (GSI) (Hoek, Carter & Diederichs, 2013) seperti yang terlihat pada **Gambar 1** dimana nilai GSI digunakan untuk memasukan parameter pada analisa numerik.



**Gambar 1.** Analisis kuantitatif GSI (Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, 2013).

Data RMR tersebut menjadi pertimbangan empiric untuk pemasangan sistem penyangga yang sebaiknya tidak melewati batas waktu *stand up time* dari massa batuan tanpa. Untuk memperkirakan *standup time* setelah penggalian tanpa temporary suport digunakan pendekatan nilai RMR dan Panjang dari *roof span* terowongan (Nguyen & Nguyen, 2015) dan hubungan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**. Dengan mengetahui perkiraan *standup time* dari massa batuan dalam terowongan, keputusan untuk segera menginstal sistem penyangga baik itu temporary suport maupun permanen dapat dilakukan.



**Gambar 2.** Hubungan antara standup time dengan roof span dan RMR (Bieniawski, 1993).

### 3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini adalah menentukan kualitas massa batuan yang meliputi RMR (Bieniawski, 1989) (**Tabel 1**) dan GSI (Hoek, Carter & Diederichs, 2013) digunakan untuk parameter masukan analisis numerik elemen hingga. Zonasi kualitas masa batuan menggunakan dua klasifikasi massa batuan yaitu berdasarkan nilai RMR dan GSI (Sivakugan, Kumar & Das, 2004) (**Tabel 2**).

Data primer perhitungan kualitas masa batuan permukaan dilakukan dengan pemetaan detail geologi teknik dan kualitas masa batuan bawah permukaan dilakukan dengan indentifikasi detail hasil pemboran inti. Semua data tersebut kemudian dikorelasikan sehingga menjadi zona kualitas massa batuan

bawah permukaan sepanjang lintasan terowongan pengelak.

Kondisi kualitas massa batuan bawah permukaan terowongan kemudian dibagi menjadi beberapa bagian/segmen yang kemudian setiap bagian akan dilakukan penilaian *standup time* nya secara empiris sebagai bagian dari upaya mitigasi resiko bencana geologi dalam ekskavasi terowongan. Pendekatan mitigasi resiko bencana geologi pada terowongan pengelak selain dilihat dari lintasan terowongan itu sendiri, juga dilakukan dengan melihat pengaruh zona lemah dibawah lokasi bendungan dengan membuat modeling pengaruh zona lemah korelasi bawah permukaan inti bendungan terhadap ekskavasi terowongan dengan parameter masukan kualitas massa batuan dan sifat teknik batuan hasil pengujian laboratorium. Modeling dengan menggunakan metode elemen hingga dibantu dengan *software phase 2*.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Kondisi Geologi

Kondisi Geologi pada Bendungan Bener didominasi oleh produk produk vulkanik, baik itu aktivitas vulkanisme yang melibatkan pembekuan magma, aliran lava, aliran lahar maupun rombakan dari produk vulkanisme itu sendiri seperti lanau tuffan (**Gambar 3**). Berdasarkan material penyusunnya maka lokasi bendungan disusun oleh dua satuan batuan yaitu Breksi Monomik Andesit dan Breksi Polimik (**Gambar 4**). Material yang bersifat andesitik menjadi penyusun utama semua satuan batuan yang ada di lokasi bendungan dan memiliki resistensi yang baik dibuktikan dengan sebagian besar singkapan batuan terutama di lokasi bendungan dan terowongan memiliki tingkat pelapukan yang rendah. Namun begitu dari pengamatan hasil pemboran terdapat zona lemah yang dikontrol oleh lithologi yang diindikasikan sebagai lensa vulkanik yang merupakan akuifer yang tersusun atas pasir lepas, nilai kualitas massa

batuannya sangat buruk. Namun material ini dijumpai jauh di bawah permukaan tanah atau  $\pm 100\text{m}$  di bawah permukaan tanah pembangunan bendungan utama (*main dam*)

dan berdasarkan korelasi bawah permukaan tidak memberikan efek pagi kestabilan terowongan.

**Tabel 1.** Rating Kualitas Masa Batuan RMR (Bieniawski, 1989).

1	Strength of Intact Rock of Intact rock	point load strenght Index	> 10 Mpa	4-10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	For this Range - Uniaxial Compressive is preferred		
		Uniaxial Comp. Strenght	> 250 Mpa	100 -250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 - 25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2		RQD		90 - 100%	75 - 90 %	50 - 75%	25 - 50%	<25%	
	Rating			20	17	13	8	3	
3		Spacing of Disc		> 2m	0.6 - 2 m	20 - 60 cm	6 - 20 cm	< 6 cm	
	Rating			20	15	10	8	5	
4	Condition of Discontinuities		Very rough surface	Slightly rough surface	Slightly rough surface	Slickensided surface		soft gauge >5mm thick	
		not continous		separation < 1mm	separation < 1mm	or Gauge < 5mm thick		or separation >5mm	
		no separation		Slightly weathered	Highly weathered walls	or separation 1-5mm		continous	
		unweathered wall rock		walls		continous			
	Rating		30	25	20	10		0	
5		Groundwater		completely dry	damp	wet	Dripping	Flowing	
				15	10	7	4	0	

**Tabel 2.** Batas nilai Kualitas Masa Batuan (Sivakugan, N. Kumar, S. Das, 2004).

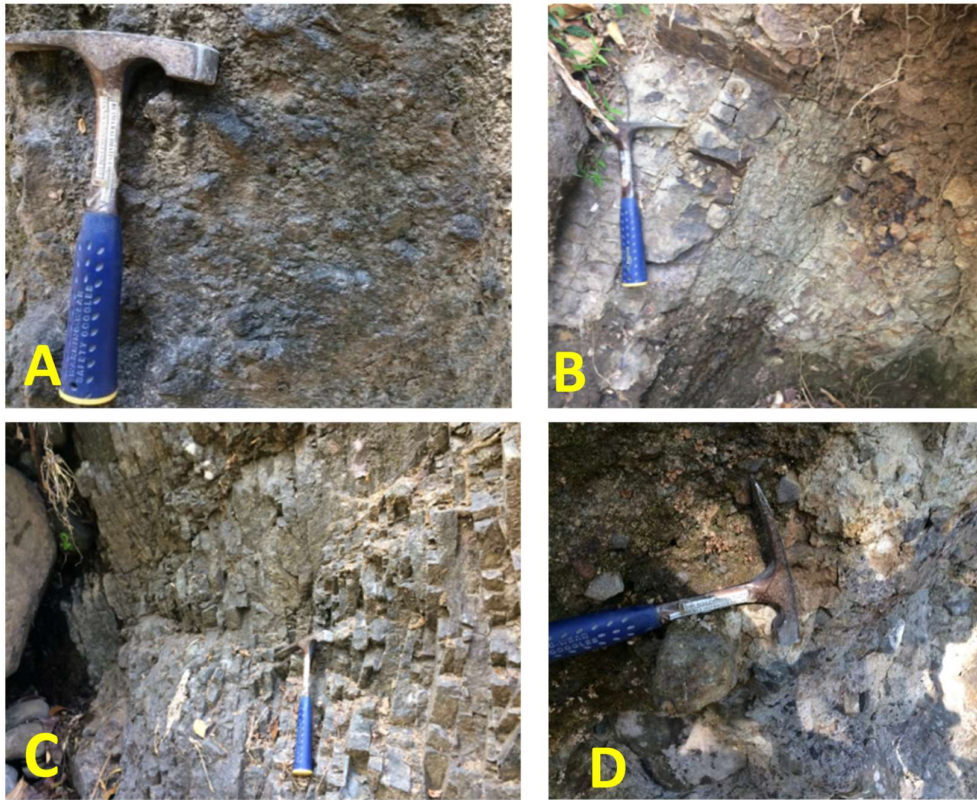
Kelas Batuan	I Very Good Rock	II Good Rock	III Fair Rock	IV Poor Rock	V Very Poor Rock
RMR	100 -81	61-80	41-60	21-40	< 21
GSI	76-95	56-75	41-55	21-40	<21

Aktifitas vulkanisme yang ada di lokasi bendungan diindikasikan lebih dari satu kali, dibuktikan adanya fragmen besar lanau tuffan yang merupakan produk vulkanisme yang lebih tua yang ada pada tubuh intrusi dangkal

breksi monomik andesit selain itu satuan breksi polimik yang merupakan rombakan produk vulkanisme. Struktur geologi dijumpai antara lain kekar dan sesar (**Gambar 4**). Beberapa sesar dijumpai dipermukaan terlihat

dari manifestasi geomorfologi maupun terlihat langsung bidang sesarnya. Sedangkan dibawah

permukaan sesar ditandai dengan adanya *slickenside* maupun zona hancuran.



**Gambar 3.** Singkapan Batuan Pada Lokasi Bendungan Bener A. Breksi Monomik Andesit, B. Lanau Tuffan, C. Sheeting Joint Andesit, D. Breksi Polimik.

#### 4.2. Kualitas Massa Batuan Terowongan Pengelak

Kualitas masa batuan bervariasi dijumpai di sekitar lintasan terowongan mulai dari kelas batuan very good rock hingga poor rock, kualitas masa batuan ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan ekskavasi, setiap kualitas masa batuan memiliki stand up time.

Faktor pengontrol kualitas masa batuan adalah resistensi batuan dan aktifitas tektonik. Pengaruh lithologi tentu ada namun tidak pada lokasi terowongan pengelak Bendungan Bener. Pada umumnya kualitas masa batuan pada lintasan terowongan pengelak termasuk kedalam kelas II (Good Rock) yang menunjukkan bahwa sebagian besar produk vulkanisme di lokasi ini menghasilkan batuan yang resisten. Dua satuan batuan yang ada di lokasi terowongan memiliki nilai daya dukung

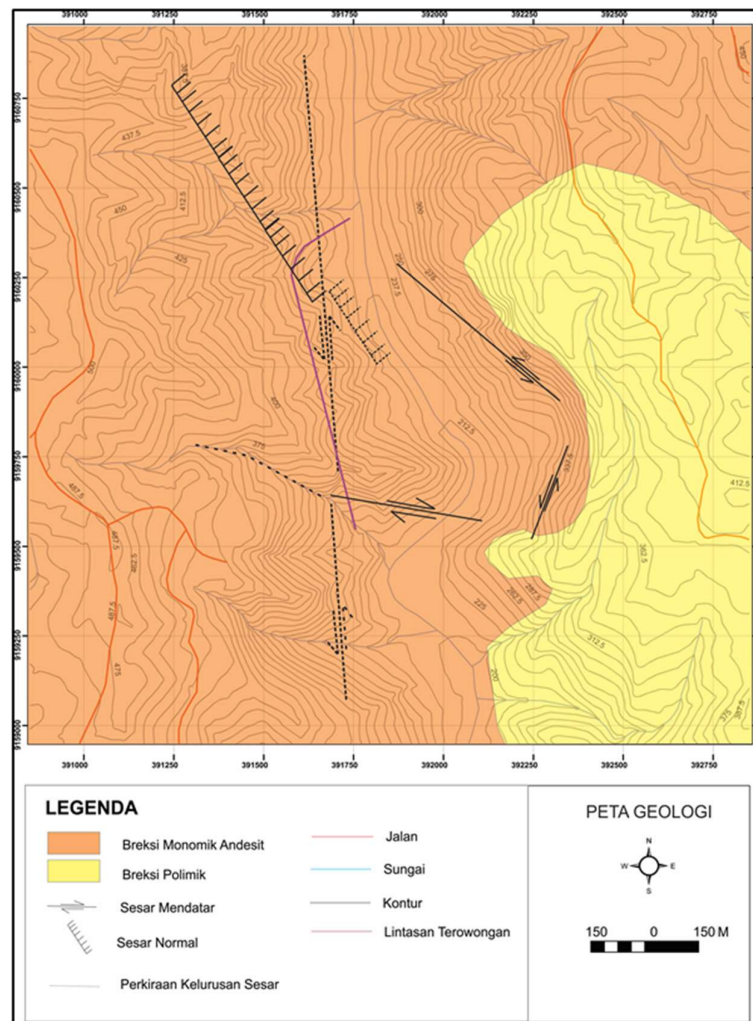
yang berbeda (Tabel 3). Selain menunjukkan resistensi nilai UCS juga sebagai parameter dalam membuat modeling bawah permukaan.

Breksi monomik andesit memiliki daya dukung yang lebih baik dibandingkan breksi polimik. Melihat kondisi kualitas masa batuan yang tidak jauh berbeda untuk dua satuan batuan, maka tingkat pelapukan yang hampir sama pada kontak dua satuan batuan sehingga disimpulkan bahwa lithologi bukan faktor utama pengontrol utama zonasi kualitas masa batuan. Faktor utama pengontrol zonasi kualitas masa batuan adalah aktifitas tektonik (struktur geologi sekunder berupa bidang diskontinuitas). Bidang diskontinuitas yang mengontrol kualitas masa batuan adalah kekar dan sesar namun terdapat beberapa bagian dari satuan batuan yang relatif massif,



termasuk kedalam kelas I (*Very Good Rock*)

walaupun luasannya tidak begitu signifikan.



**Gambar 4.** Peta Geologi Kompleks Bendungan Bener.

**Tabel 3.** Nilai rata rata Uniaxial Compression Strenght (UCS) masing masing satuan batuan.

Lithologi	Compression (Mpa)	Poisson Ratio	Young Modulus
Breksi Monomik Andesit	31.05	5458.8	0.35
Breksi Polimik	15.39	2663	0.35

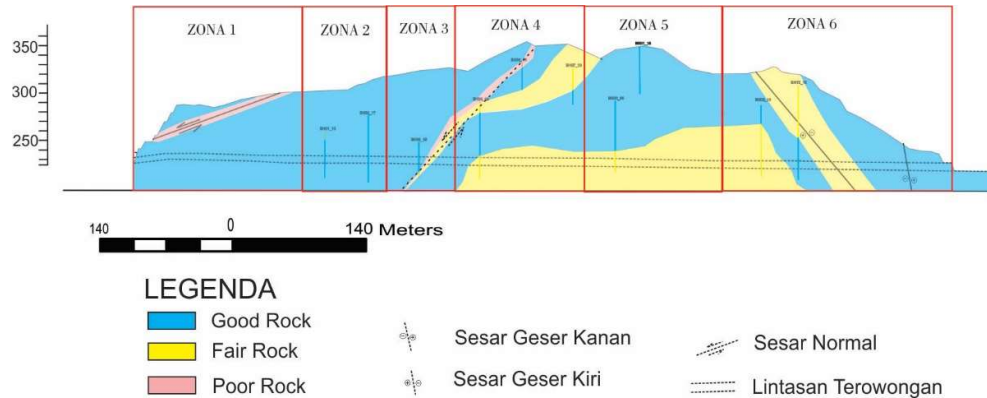
Sebagian besar lokasi penelitian baik yang dijumpai di stasiun pengamatan singkapan batuan maupun pada hasil pemboran inti terdapat jejak pengaruh aktifitas tektonik (kekar). Kekar memiliki pengaruh yang cukup kuat dalam penentuan kelas masa batuan, akan tetapi pengontrol yang lebih signifikan menghasilkan perbedaan kelas masa batuan adalah sesar terbukti dapat secara langsung

menurunkan kualitas masa batuan menjadi kelas batuan III (*fair rock*) maupun IV (*Poor rock*) (**Gambar 5**).

Dalam rangka mitigasi resiko keruntuhan sebagai bencana geologi maka lintasan terowongan dibagi menjadi beberapa segmen/zona terowongan untuk mengidentifikasi antara zona yang berbahaya dan yang relatif lebih aman. Pembagian ini

didasarkan atas pola susunan zona kualitas massa batuan bawah permukaan pada lintasan terowongan, struktur geologi dan

mempertimbangkan terakomodasinya semua bagian terowongan dari awal hingga akhir.



**Gambar 5.** Kondisi Kualitas Massa Batuan Bawah permukaan dan pembagian zona terowongan.

#### 4.3. Identifikasi Zona Kritis Lintasan

##### Terowongan

Dari korelasi data bor maka didapatkan kualitas massa batuan bawah permukaan yang ditembus oleh terowongan (**Gambar 5**). Nilai RMR pada lokasi ekskavasi lintasan terowongan dijadikan parameter untuk memperkirakan stand up time per zona terowongan (**Tabel 4**).

Data nilai RMR masing masing zona terowongan pada lokasi ekskavasi lintasan terowongan memperlihatkan lokasi kritis saat terjadi ekskavasi yang memerlukan perkuatan dengan segera (**Gambar 6**). Data empiris tersebut memperlihatkan bahwa zona 3 merupakan zona terkritis dan memerlukan perkuatan segera setelah ekskavasi. Zona ini diintrepetasikan merupakan zona patahan (**Gambar 4**).

#### 4.4. Diskusi

Penelitian berdasarkan data permukaan pada lokasi rencana portal terowongan yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa lokasi rencana portal terowongan baik pada *inlet* terowongan dan *outlet* terowongan memiliki kualitas massa batuan yang baik (*good rock*) sehingga ekskavasi dapat dilakukan membentuk sudut lereng portal hingga 70° (Sasangka, Indrawan & Taufik, 2019). Kondisi tersebut tidak mewakili kondisi bawah permukaan pada rencana terowongan yang ternyata lebih heterogen dan terdapat kualitas massa batuan sedang dan kualitas massa batuan buruk pada zona sesar yang memiliki *stand up time* pendek sehingga perlu segera di perkuat setelah ekskavasi terutama pada kualitas massa batuan buruk.

**Tabel 4.** Nilai RMR masing masing zona terowongan pada lokasi ekskavasi lintasan terowongan.

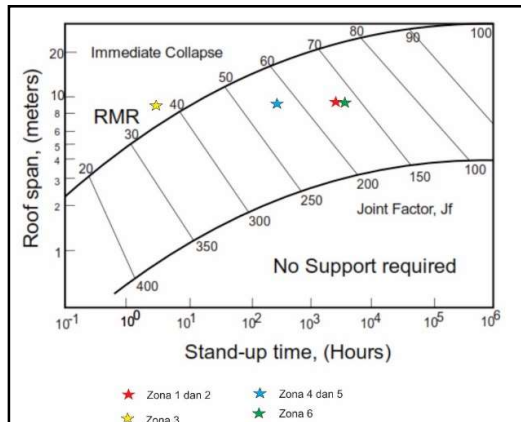
Rock Mass Classification	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
RMR	66.75	66.75	36.50	56.14	56.14	67.76

Jauh di bawah lokasi rencana lintasan terowongan ditemukan lensa pasir lepas yang merupakan akuifer tertekan dan menjadi air artesis ketika bor mencapai zona tersebut (Insani & Sasangka, 2018). Zona ini

merupakan zona dengan kualitas massa batuan yang sangat buruk. Kualitas massa batuan sangat buruk (kelas V) dan kualitas massa batuan buruk (kelas IV) yang ada di atasnya (**Gambar 7**) termasuk sebagai zona lemah yang

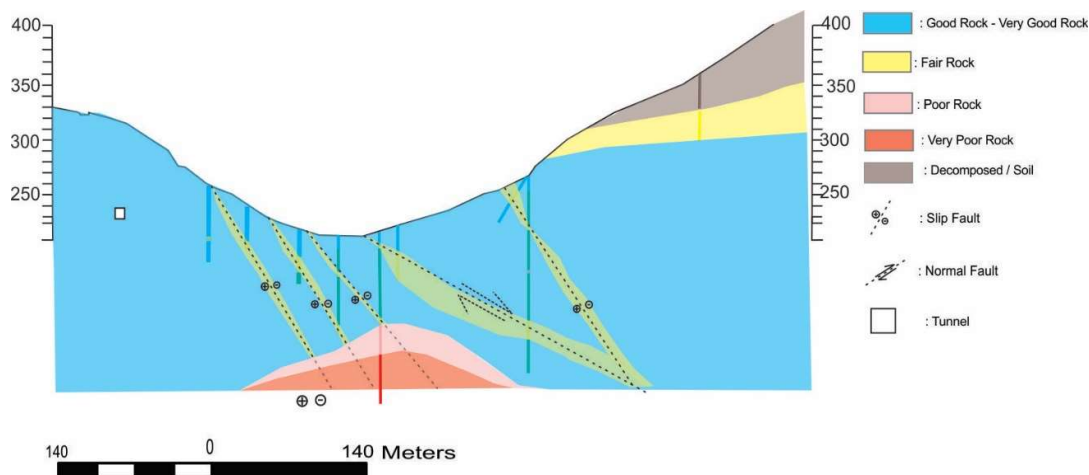


kurang baik untuk daya dukung konstruksi. Berdasarkan hasil bor, zona lemah tersebut cukup tebal dibawah permukaan mulai dari kedalaman  $\pm 100$  m (**Gambar 7**).

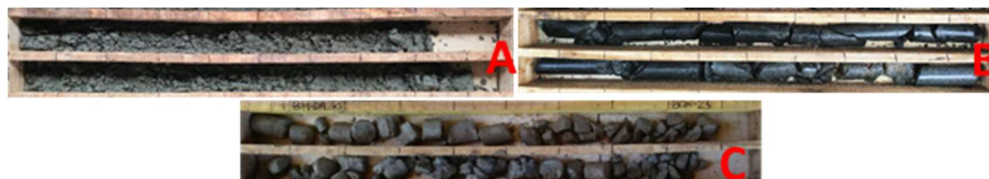


**Gambar 6.** Stand-Up Time Masing Masing Zona Ekskavasi.

Berbeda dengan zona lemah patahan pada lintasan terowongan (**Gambar 5**) Zona lemah di bawah bendungan tersebut lebih di kontrol



**Gambar 7.** Posisi Terowongan Terhadap Zona Lemah Dengan Kelas Masa Batuan V.



**Gambar 8.** A. Pasir Lepas Zona Kualitas Masa Batuan V (Sangat Buruk) B. Kualitas Masa Batuan Kelas IV Zona Sesar Dengan Slickenside C. Zona Hancuran Dengan RQD yang Sangat Rendah, Kualitas Masa Batuan Kelas IV.

Pendekatan untuk mengetahui dampak zona lemah yang ditemukan pada pemboran di

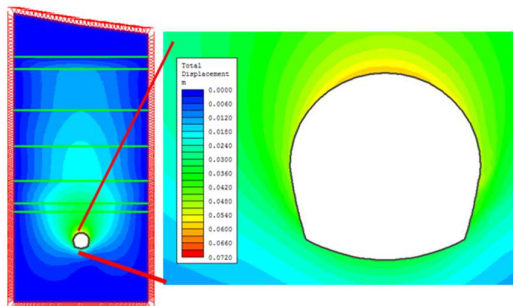
oleh jenis lithologi dibandingkan dengan struktur geologi. Zona lemah tersebut memiliki nilai RMR ataupun GSI sangat buruk (Kelas V) yang terdiri dari material pasir lepas (**Gambar 8**), zona ini merupakan akuifer yang saat pengeboran menghasilkan air artesis yang sampai saat ini air masih terus keluar dari sisa lubang bor. Perlu penyelidikan lebih detail untuk meneliti zona ini namun material lepas yang berada jauh dibawah dan diantara dua lapisan batuan keras dan kedap diintrepetasikan sebagai lensa vulkanik.

Hasil korelasi menunjukkan bahwa zona lemah dengan nilai kelas masa batuan sangat buruk (kelas V) tidak dijumpai di lintasan terowongan. Zona tersebut sangat tidak baik sebagai daya dukung konstruksi terutama terowongan dan memerlukan penanganan yang lebih saat konstruksi jika dijumpai di lintasan ekskavasi terowongan.

lokasi inti bendungan terhadap ekskavasi terowongan adalah dengan membuat modeling

dengan memasukkan pengaruh zona lemah pada salah satu model dari korelasi bor di sekitar lintasan terowongan. Dari model dengan zona lemah dan tanpa zona lemah kemudian dapat dibandingkan nilai *total displacement* di sekitar ekskavasi terowongan.

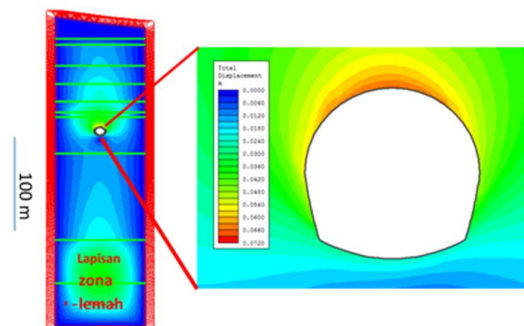
Dengan modeling awal tanpa memasukkan zona lemah dari hasil pemboran pada lokasi inti bendungan yang artinya modeling dari korelasi bor di sekitar lintasan terowongan, menunjukkan bahwa nilai *total displacement* pada lokasi ekskavasi pada terowongan sebesar 7.2cm (**Gambar 9**). Zona lemah dari hasil pemboran pada lokasi inti bendungan jika diasumsikan menerus kearah bawah terowongan maka berada pada  $\pm 170m$  dibawah lokasi ekskavasi terowongan. Model dengan memasukkan zona tersebut, menunjukkan tidak terjadi pengaruh yang signifikan dimana *total displacement* tidak berubah yaitu 7.2cm (**Gambar 10**), hanya *yielded element* yang sedikit naik dari 295 menjadi 353.



**Gambar 9.** Salah satu modeling terowongan dari hasil korelasi data bawah permukaan di sekitar lintasan terowongan

Zona lemah (kelas massa batuan IV dan V) yang ditemukan pada pemboran bawah permukaan tidak berdampak signifikan pada ekskavasi terowongan karena posisi zona lemah dengan komposisi material pasir lepas cukup jauh dibawah dari lokasi ekskavasi terowongan. Begitu juga ekskavasi terowongan tidak memberikan dampak bagi lokasi zona lemah dengan kualitas massa batuan V tersebut. Hal ini terlihat dari nilai *total displacement* pada ekskavasi terowongan yang tidak berubah saat lapisan zona lemah

dimasukan dalam model maupun tidak dimasukan dalam model.



**Gambar 10.** Salah satu modeling terowongan yang ditambahkan dengan memasukkan pengaruh zona lemah hasil korelasi data bawah permukaan bendungan inti

## 5. KESIMPULAN

Kualitas massa batuan adalah faktor terpenting dalam upaya mitigasi resiko geologi pada terowongan pengelak Bendungan Bener. Faktor utama pengontrol kualitas masa batuan di terowongan pengelak bendungan bener adalah faktor struktur geologi. Kualitas masa batuan di lokasi terowongan di dominasi dengan kualitas masa batuan kelas II (*Good Rock*) Sedangkan Kelas masa batuan III (*Fair Rock*) dan kelas masa batuan IV (*Poor Rock*) berada pada zona patahan. Zona patahan dengan kualitas massa batuan IV yang berada pada segmen/zona terowongan 3 membutuhkan perkuatan segera setelah ekskavasi. Kualitas masa batuan kelas V (*Very Poor Rock*) yang berupa pasir lepas yang dijumpai pada pemboran di bawah inti bendungan tidak memberi dampak signifikan pada lokasi ekskavasi terowongan karena letaknya yang jauh.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak yang telah mengizinkan terlaksananya penelitian ini, serta Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia PUPR sebagai pihak yang mendukung terlaksananya penelitian ini.

# DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H. (1992). *Peta Geologi Lembar Kebumen*.
- Beemer, H. D., & Worrells, D. S. (2017). Conducting Rock Mass Rating for tunnel construction on Mars. *Acta Astronautica*, 139(March), 176–180. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.07.003>
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications Wiley & Sons, New York, p. 251*.
- Celada, B., Tardáguila, I., Varona, P., Rodríguez, A., & Bieniawski, Z. T. (2014). Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-based RMR System. *Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 – Tunnels for a Better Life*, 3, 1–9.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M. S. (2013). Quantification of the Geological Strength Index Chart This paper was prepared for presentation at the 47 th US Rock Mechanics / Quantification of the Geological Strength Index chart. *47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium Held in San Francisco, CA, USA*, 9.
- Insani D. & Sasangka D. (2018). Evaluasi Zona Lemah Berdasarkan Analisis Tektonik Dan Geomekanik (Permukaan Dan Bawah Permukaan) Untuk Mengurangi Tingkat Resiko Kegagalan Konstruksi Pada Bendungan Bener. *INACOLD 2018*, 1–16.
- Nguyen, V. M., & Nguyen, Q. P. (2015). Analytical solution for estimating the stand-up time of the rock mass surrounding tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 47, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2014.12.003>
- Nursa'ban, M. (2010). IDENTIFIKASI KERENTANAN DAN SEBARAN LONGSOR LAHAN SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA DI KECAMATAN BENER KABUPATEN PURWOREJO. *Jurnal Geografi Gea*, 10. <https://doi.org/10.17509/gea.v10i2.1018>
- Pratama, I., Wahyu, Hanif, I. M., Hidayatullah, & Pramumijoyo, S. (2017). Studi Petrogenesa Batuan Beku Di Daerah Semono Dan Sekitarnya, Kecamatan Kaligesing Dan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah Dengan Metode Sayatan Tipis. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-10 Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia, September*.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, R. H. M. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*. Pustlitbang Geologi.
- Sasangka, D. J., Indrawan, I. G., Taufik, R. (2019). ENGINEERING GEOLOGY INVESTIGATION FOR SLOPE GEOMETRY DESIGN OF DIVERSION TUNNEL PORTAL. *SLOPE 2019*, 1–8.
- Sivakugan, N. Kumar, S. Das, B. M. (2004). Rock Mechanics. In *Encyclopedia of Geology*. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00224-0>
- Indriani, Y.N., Kusumayudha, S.B., Purwanto, H.S. (2017). Analisis Gerakan Massa Berdasarkan Sifat Fisik Tanah. *Mineral, Energi Dan Lingkungan*, 1(2), 39–49.