

# Analisis Metode Ekskavasi Terowongan Pengelak Bendungan Bener Berdasarkan Data Geologi Teknik

Daru Jaka Sasangka

Program Studi Teknologi Bangunan Air Politeknik PU, Kementerian PUPR; Jl Prof Soedarto, SH -  
Tembalang, Semarang; Indonesia

\* Korespondensi: e-mail: [darujakasasangka@gmail.com](mailto:darujakasasangka@gmail.com)

## ABSTRAK

Rencana Pembangunan Bendungan Bener terletak Kecamatan Bener Kabupaten Purworejo mempunyai Terowongan Pengelak. Penentuan metode ekskavasi yang tepat sangat penting dan dibutuhkan untuk menjaga efektifitas dan efisiensi dalam proses pelaksanaan konstruksi terowongan pengelak. Penentuan metode ekskavasi juga penting untuk perhitungan biaya pelaksanaan pekerjaan. Tujuan Penelitian ini adalah mendukung perencanaan penentuan metode ekskavasi bukaan Terowongan Pengelak Bendungan Bener yang tepat dan apa saja yang perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi geologi teknik batuan disekitar terowongan baik permukaan dan bawah permukaan sehingga dapat dilakukan analisis untuk menentukan metode ekskavasi tersebut. Penentuan metode ekskavasi dilakukan dengan metode empirik berdasarkan parameter masukan kondisi batuan baik itu kualitas massa batuan, densitas bidang diskontinuitas dalam batuan dan nilai kuat tekan batuan. Kondisi lintasan terowongan didominasi oleh breksi andesit dengan kualitas baik (*good rock*). Analisis empirik metode ekskavasi menunjukkan bahwa bukaan lintasan Terowongan Pengelak Bendungan Bener membutuhkan tipe ekskavasi peledakan (*blasting*) dan *very hard ripping*, namun sebagian besar memerlukan tipe ekskavasi peledakan (*blasting*).

Kata kunci: ekskavasi, batuan, kualitas massa batuan.

## ABSTRACT

*The Bener Dam Plan, located in Bener District, Purworejo Regency, Indonesia, has a diversion tunnel. Determination of the appropriate excavation method is very important and necessary to maintain effectiveness and efficiency in the process of implementing the circumvention tunnel construction. The determination of the excavation method is also important for the implementation costs calculation. This research aims to support the planning of determining the appropriate excavation method of the Bener Dam Diversion Tunnel as well as what activities are needed to see the geological conditions of rock in the tunnel both above and below the surface for analysis to determine the excavation. The excavation method was determined by empirical method based on the input parameters of rock conditions, i.e. rock quality, density of discontinuity plane in the rock, and rocks compressive strength. The condition of the tunnel alignment is dominated by good quality andesite breccias (*good rock*). The empirical analysis of the excavation method shows that the Bener Dam Diversion Tunnel mostly requires a very hard type of blasting (*blasting*). Another type, i.e. the ripping excavation, is also required.*

*Keywords: Excavation, Rock, Rock Mass Quality .*

## 1. PENDAHULUAN

Bendungan Bener merupakan bendungan yang dirancang memiliki terowongan sebagai pengelak air sepanjang  $\pm 860$  m. Terletak di Sungai Bogowonto, Desa Guntur, Kecamatan Bener Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah bendungan ini berada pada koordinat UTM X= 390850 – X=392850 ; Y = 9160950 – Y = 9158920.

Berdasarkan lembar peta geologi regional lembar Yogyakarta (Rahardjo, Wartono, Sukandarrumidi, Rosidi, 1995) batuan penyusun lokasi bendungan adalah produk vulkanisme seperti breksi andesit, *tuff*, *tuff* lapilli, aglomerat dan sisipan lava andesit yang merupakan bagian dari formasi Kebo Butak yang tersingkap di pegunungan Kulonprogo dan sekitarnya. Komposisi batuan penyusun lokasi penelitian yang berupa material vulkanik juga merupakan bagian Formasi Formasi Andesit Tua (OAF) dan Sub Formasi Kaligesing dimana 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 (Pratama et al., 2017). Peta Geologi Regional lembar kebumen menunjukkan bahwa terdapat jejak pengaruh struktur regional di lokasi bendungan yaitu sesar mayor, Sesar Rebung yang merupakan sesar mendatar mengiri yang berjarak  $\pm 6$  km disebelah barat lokasi penelitian yang berarah relatif utara (Asikin, S, Handoyo, A, Busono, 1992).

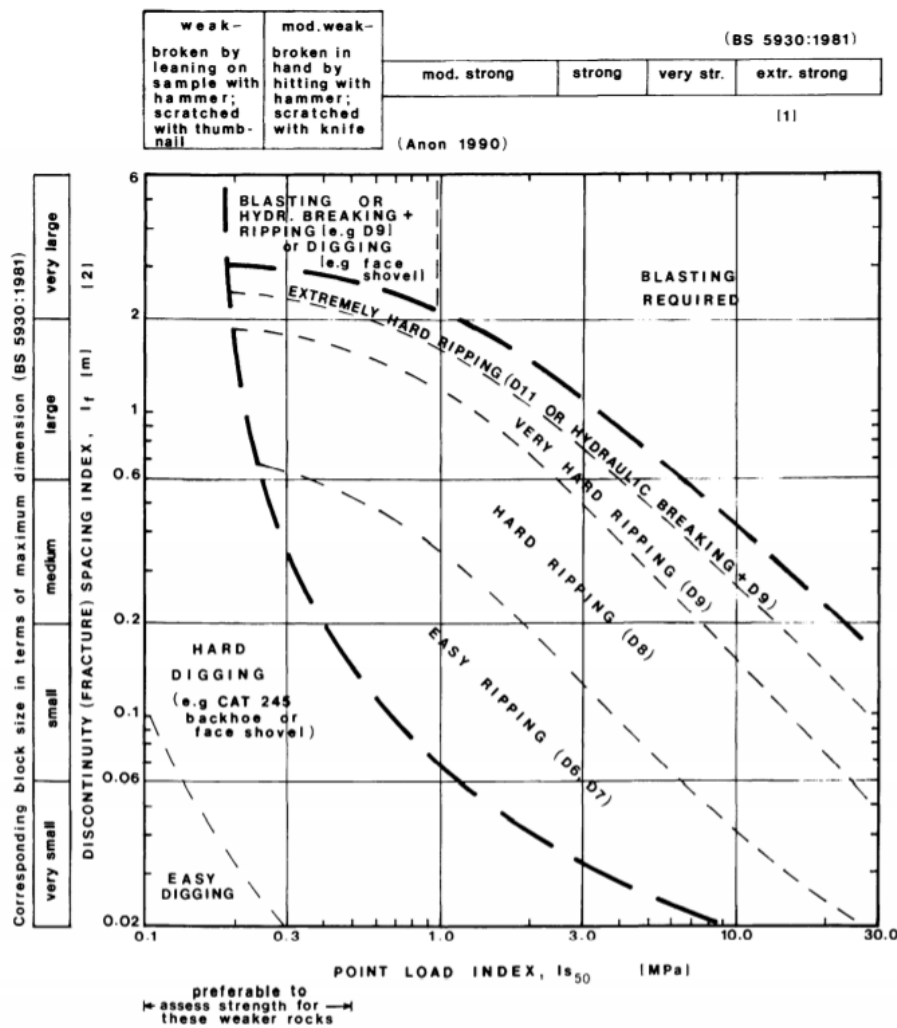
Tujuan Penelitian ini adalah mendukung perencanaan matang untuk menentukan metode ekskavasi bukaan Terowongan Pengelak Bendungan Bener yang tepat dan apa saja yang perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi geologi teknik batuan disekitar terowongan baik permukaan dan bawah permukaan sehingga dapat dilakukan analisis untuk menentukan metode ekskavasi bukaan tersebut. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan terhadap *stakeholder* mengenai pemilihan metode ekskavasi bukaan terowongan dan memberikan referensi pada permasalahan yang sama di lokasi lain sehingga dapat memberikan tambahan di bidang keilmuan khususnya bidang geologi dan teknik sipil.

Beberapa penelitian di lokasi Bendungan Bener atau di sekitarnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya namun tidak ada yang membahas mengenai penentuan metode ekskavasi yang paling tepat untuk bukaan terowongan pengelak. Terdapat Potensi longsor di Desa Kalijambe Kecamatan yang diakibatkan oleh tingkat pelapukan yang tinggi (Yanuar Nursani Indriani. Sari Bahagiarti Kusumayudha. Heru Sigit Purwanto., 2017), selain itu potensi longsor di Kecamatan Bener juga di kontrol oleh sebagian besar wilayahnya yang termasuk dalam topografi yang miring hingga terjal (Nursa'ban, 2009). Indikasi bahwa batuan penyusun lokasi rencana terowongan adalah batuan dengan daya dukung baik dapat dilihat dari analisis potensi kestabilan lereng pada rencana portal terowongan menunjukkan bahwa kondisi permukaan untuk galian lereng portal berada pada kondisi yang aman (Sasangka, Daru Jaka, Indrawan, IGde, Taufik, 2019). Beberapa penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa masalah geoteknik dan geologi teknik menjadi isu utama dalam pembangunan infrastruktur di kecamatan bener tempat dimana bendungan akan dibangun.

Penentuan metode ekskavasi terowongan pengelak dirasa penting untuk dilakukan. Penentuan metode ekskavasi yang tepat akan membantu dalam menjaga stabilitas selama pembangunan terowongan. Penentuan metode ekskavasi yang tepat sangat dibutuhkan untuk menjaga efektifitas dan efisiensi dalam proses pelaksanaan konstruksi, selain juga dibutuhkan untuk perhitungan biaya pelaksanaan pekerjaan. Penelitian detail di lokasi terowongan pengelak mengenai metode ekskavasi terowongan yang tepat belum pernah dilakukan sebelumnya, dengan melihat kondisi tersebut dan mempertimbangkan beberapa kondisi regional yang cukup kompleks maka penelitian metode ekskavasi terowongan ini sangat diperlukan.

## 2. METODE PENELITIAN

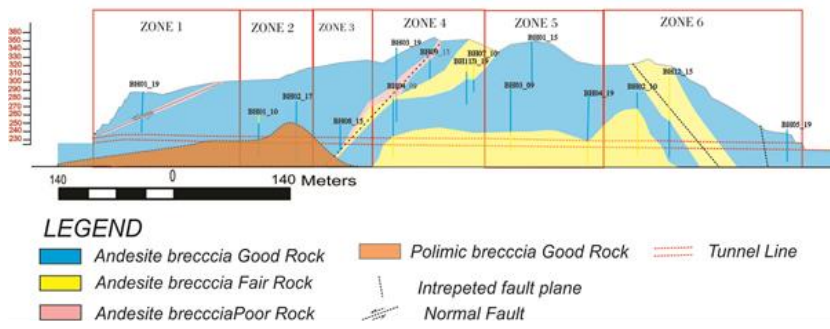
Penentuan metode ekskavasi pada lokasi rencana terowongan pengelak bendungan bener berdasarkan analisis empirik berdasarkan nilai kuat tekan batuan dengan *point load* dan kerapatan bidang diskontinuitas pada batuan (jv) (Gambar 1) (Pettifer & Fookes, 1994).



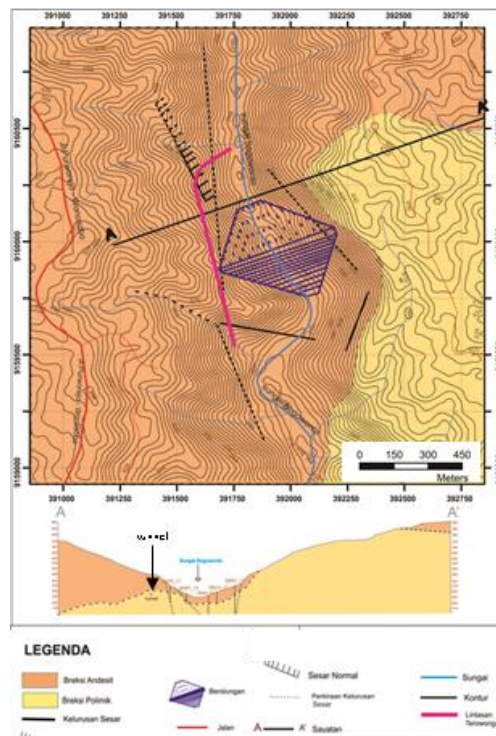
Gambar 1. Grafik penentuan metode ekskavasi berdasarkan densitas bidang diskontinyuitas dan nilai kuat tekan batuan

Dengan melihat parameter penentuan metode ekskavasi secara empirik maka harus diketahui komposisi batuan lintasan terowongan dan kualitas massa batuan. Komposisi batuan dan kualitas massa batuan bawah permukaan didapatkan dari korelasi hasil pemboran inti. Dari hasil korelasi geologi teknik bawah permukaan menunjukkan bahwa lokasi terowongan terdiri dari batu breksi vulkanik andesit dengan kualitas baik (60%), breksi vulkanik andesit dengan kualitas sedang (30%), breksi vulkanik andesit dengan kualitas massa batuan buruk (2%) dan breksi polimik dengan kualitas massa batuan baik (8%)(Sasangka et al., 2019) (Gambar 2).

Untuk dapat menentukan densitas bidang diskontinyuitas batuan pada lokasi rencana terowongan sebagai input parameter analisis empirik penentuan metode ekskavasi maka dilakukan pengukuran densitas bidang diskontinyuitas batuan pada singkapan batuan di permukaan di atas lokasi terowongan sebagai analogi kondisi bawah permukaan. Data permukaan yang dipilih untuk menentukan metode ekskavasi yang tepat adalah yang memiliki kesamaan jenis batuan dan kualitas massa batuan dengan lokasi rencana lintasan terowongan (Gambar 2). Untuk mendukung kondisi tersebut kemudian dilakukan juga pemetaan geologi dan pemetaan geologi teknik permukaan pada lokasi bendungan. Kondisi geologi di atas lintasan terowongan merupakan breksi vulkanik andesit dengan beberapa patahan yang memotongnya, maka pengukuran densitas bidang diskontinyuitas juga dilakukan pada batuan tersebut (Gambar 3).



Gambar 2. Kondisi Geologi Teknik Bawah Permukaan Lokasi Lintasan Terowongan Pengelak Bendungan Bener (Sasangka et al., 2019)



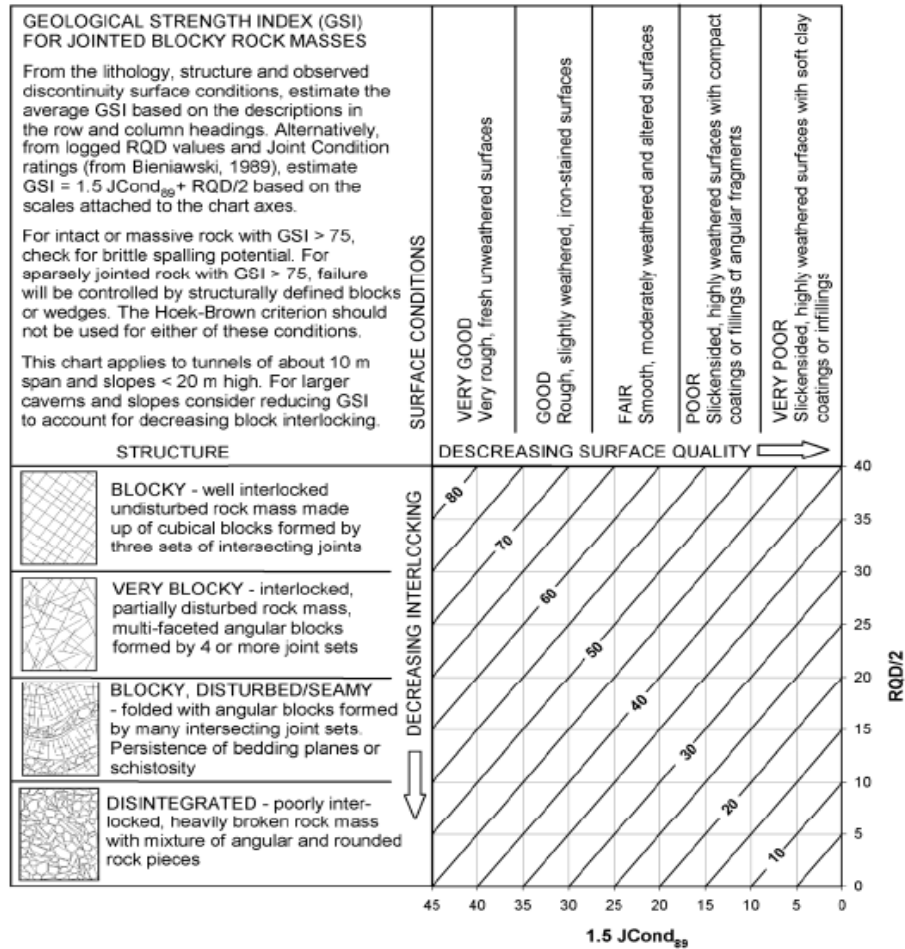
Gambar 3. Peta Geologi lokasi Bendungan Bener dengan posisi lintasan terowongan pengelak (Sasangka et al., 2019)

Kualitas massa batuan dipermukaan di sekitar atas lintasan terowongan menjadi parameter utama yang harus ditentukan selain jenis batuan itu sendiri agar nilai  $j_v$  dan kuat tekan batuan yang dipilih untuk analisis sesuai dengan kondisi lintasan terowongan di bawah permukaan (Gambar 2). Penentuan kualitas massa batuan dilakukan dengan menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1989), kualitas massa batuan tersebut dikontrol oleh lima parameter utama yaitu *Uniaxial Compressive Strength (UCS)* material batuan utuh, nilai dari *Rock Quality Designation (RQD)*, Spasi bidang diskontinuitas, Kondisi bidang diskontinuitas, Kondisi air tanah (Tabel 1).

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

1	<i>Strength of Intact Rock of Intact rock</i>	<i>point load strength Index</i>	> 10 Mpa	4-10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	<i>For this Range - Uniaxial Compressive is preferred</i>		
		<i>Uniaxial Comp. Strength</i>	> 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	<i>Spacing of Disc</i>			> 2m	0.6 - 2 m	20 - 60 cm	6 - 20 cm	< 6 cm	
	Rating			20	15	10	8	5	
4	<i>Condition of Discontinuities</i>	<i>Very rough surface</i>	<i>Slightly rough surface</i>	<i>Slightly rough surface</i>	<i>Slickensided surface</i>	<i>soft gauge &gt;5mm thick</i>			
		<i>not continous</i>	<i>separation &lt; 1mm</i>	<i>separatio n &lt; 1mm</i>	<i>or Gauge &lt; 5mm thick</i>	<i>or separation &gt;5mm</i>			
		<i>no separation</i>	<i>Slightly weathered</i>	<i>Highly weathered walls</i>	<i>or separation 1-5mm</i>	<i>continous</i>			
		<i>unweathe red wall rock</i>	<i>walls</i>		<i>continous</i>				
	Rating		30	25	20	10			0
5	<i>Groundwater</i>			<i>completely dry</i>	<i>damp</i>	<i>wet</i>	<i>Drippin g</i>	<i>Flowi ng</i>	
				15	10	7	4	0	

Selain dengan menggunakan RMR untuk penentuan kualitas massa batuan, juga digunakan klasifikasi massa batuan yang lain yaitu *Geological Strength Index (GSI)* klasifikasi ini didasarkan pada hubungan antara bidang diskontinyuitas pada batuan dan kondisi permukaan dari bidang diskontinyuitas tersebut (Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, 2013) (Gambar 4).



Gambar 4. Analisis kuantitatif GSI (Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, 2013)

Nilai RMR dan nilai GSI dapat diklasifikasikan pada lima kelompok yaitu kualitas massa batuan sangat baik, baik, sedang, buruk dan sangat buruk (Tabel 2) (Sivakugan, N. Kumar, S. Das, 2004).

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

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

Setelah penentuan jenis batuan dan pengukuran kualitas massa batuan yang kemudian harus dilakukan adalah penentuan densitas bidang diskontinuitas batuan. Kemampuan batuan terhadap metode ekskavasi dipengaruhi oleh jenis material terutama properti geotekniknya sehingga berpengaruh juga pada metode kerja maupun peralatannya. Bidang diskontinuitas dan batuan utuh merupakan contoh dari properti geoteknik tersebut. Hal lain seperti rekahan, isi rekahan dan kekuatan dari dinding bidang diskontinuitas merupakan faktor penting lainnya dan tiga metode utama dalam ekskavasi antara lain *blasting*, *ripping* dan *digging* (Gurocak et al., 2008).

Metode ekskavasi yang direkomendasikan bersama dengan peralatan yang digunakan. Rekomendasi metode penggalian didasarkan dari nilai indeks spasi bidang diskontinuitas ( $I_f$ ) dan indeks *point load* ( $I_{S(50)}$ ) (Palmström, 1982). Nilai  $J_v$  didapatkan dari penjumlahan frekuensi rekahan atau kekar yang memiliki pola sama arahnya yang disebut sebagai *joint set* (Palmström, 2001). Rumusan perhitungan yang dapat digunakan adalah persamaan 1, 2 dan 3 sebagai berikut:

$$I_f = \frac{3}{J_v} \quad (1)$$

$$J_v = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} \quad (2)$$

$$J_v = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} + \dots + \frac{Nr}{5} \quad (3)$$

Dimana :

- $I_f$  = indeks spasi diskontinuitas ;  
 $J_v$  = jumlah dari *volumetric joint*  
 $S_1, S_2, S_3$  = spasi diskontinuitas dari *joint set*  
 $Nr$  = *Random Joint*

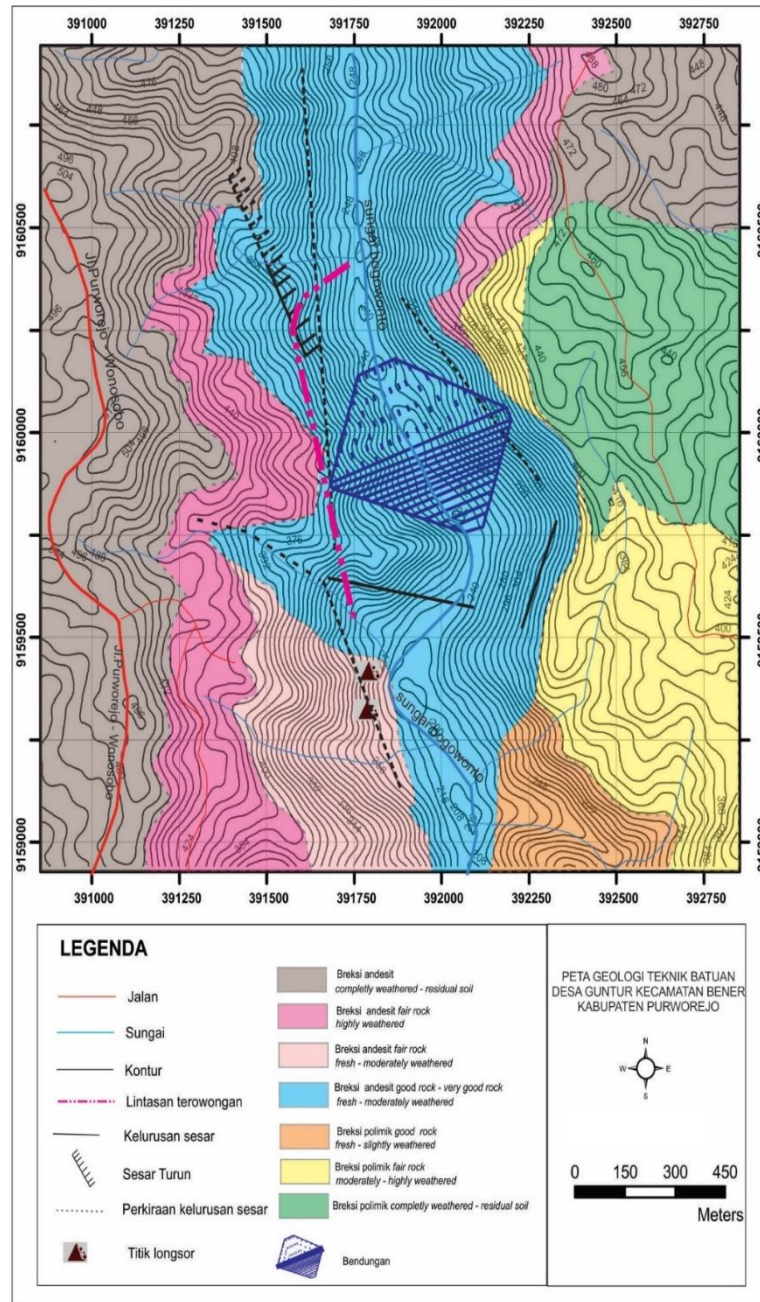
Setiap pengukuran densitas bidang diskontinuitas pada batuan untuk mendapatkan nilai  $J_v$  dilakukan dengan metode diatas kemudian diikuti dengan pengambilan sampel pada lokasi yang sama untuk dilakukan uji kuat tekan dengan menggunakan alat *point load* dengan sebelumnya dilakukan preparasi sampel terlebih dahulu (ASTM, 1985).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Kondisi Geologi Teknik Permukaan Lintasan Terowongan

Data bawah permukaan menunjukkan Bahwa Terowongan Pengelak Bendungan Bener berada pada satuan batuan breksi vulkanik andesit dengan kualitas baik secara umum (Gambar 1). Hal tersebut diperkuat dengan peta geologi yang menunjukkan bahwa dilihat dari permukaan lokasi terowongan pengelak bendungan bener berada pada satuan batuan breksi vulkanik (gambar 2). Untuk mendukung bahwa analogi yang dibuat tepat menggambarkan antara kondisi permukaan dan bawah permukaan perlu dilakukan pemetaan geologi teknik sehingga diketahui kualitas massa batuan di atas lintasan terowongan dimana data densitas dari bidang diskontinuitas ( $j_v$ ) dan sampel kuat tekan diambil. Peta geologi teknik ini menunjukkan kualitas massa batuan di atas lintasan terowongan. Tidak semua kondisi kualitas massa batuan dapat dipetakan sehingga peta geologi teknik menunjukkan dominasi kualitas massa batuan yang ada di lokasi penelitian.

Pemetaan geologi teknik di lokasi bendungan bener menunjukkan bahwa di atas lokasi lintasan terowongan didominasi breksi vulkanik andesit kualitas masa batuan baik hingga sangat baik (Gambar 5). Kualitas massa batuan buruk dan sedang dijumpai di permukaan namun karena hanya setempat setempat sehingga tidak dapat dipetakan. Kondisi permukaan ini sejalan dengan kondisi bawah permukaan lintasan terowongan, sehingga sangat mendukung akurasi dari kualitas data yang diambil terhadap kondisi sesungguhnya di bawah permukaan.



Gambar 5. Peta geologi teknik batuan daerah penelitian

**Analisis Metode Ekskavasi**

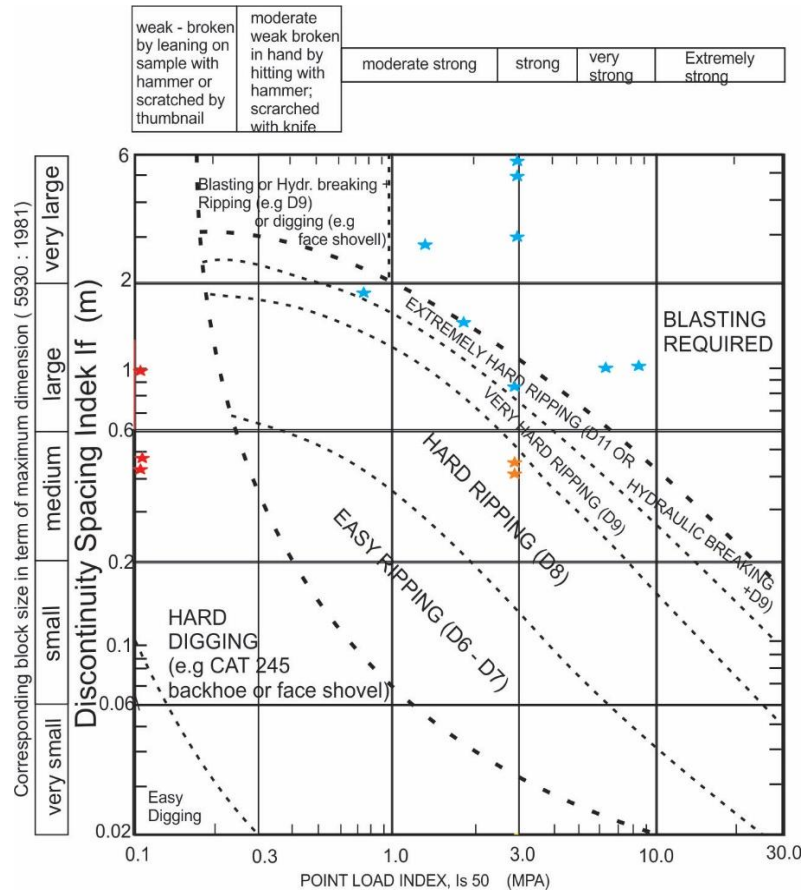
Pendekatan dilakukan secara empirik untuk mendapatkan metode ekskavasi yang paling sesuai dengan kondisi batuan yang akan ditembus oleh lintasan terowongan, maka dilakukan dengan grafik (Pettifer & Fookes, 1994). Pendekatan empirik dengan memasukan nilai dua parameter utama yaitu nilai *point load* ( $Is_{50}$ ) dan nilai Indeks spasi bidang diskontinuitas ( $I_f$ ). Nilai  $I_f$  didapatkan dari perhitungan  $3/J_v$ ,  $J_v$  (*Joint Volumetric*) atau nilai densitas dari bidang diskontinuitas yang sudah diukur di lapangan. Pengukuran  $J_v$  untuk permukaan maka dilakukan pada singkapan batuan.  $J_v$  merupakan nilai dari penjumlahan dari frekuensi masing – masing *joint set* per  $m^3$ . Frekuensi dari *joint set* menunjukkan jumlah dari rekahan (kekar) per satuan panjang. Kekar kekar yang tak beraturan dan tak berpola (*random joint set*) dihitung dan ditentukan frekuensinya per  $m^3$  seperti *joint set* dan dimasukan dalam perhitungan  $J_v$  (Palmström, 2001).

Lokasi terowongan pengelak belum ter gali maka pengukuran  $J_v$  yang tidak dilakukan dalam lintasan terowongan langsung harus tetap dapat mewakili atau mendekati keadaan pada lokasi rencana penggalian terowongan. Survei pengukuran  $J_v$  untuk mendapatkan parameter analisis metode ekskavasi pada grafik Pettifer dan Fookers (1994) dilakukan di singkapan batuan di sekitar lokasi ekskavasi terowongan. Pengukuran densitas kekar untuk keperluan penentuan metode ekskavasi diambil dari pengukuran frekuensi kekar yang dilakukan di atas lintasan terowongan saja karena dianggap lebih mewakili kondisi  $J_v$  yang ada di lokasi lintasan terowongan sesungguhnya yang ada di bawah permukaan. Setiap stasiun pengamatan diidentifikasi jenis batumannya, nilai kualitas massa batumannya, dan tingkat pelapukannya, kemudian di ukur nilai  $J_v$  untuk menghitung  $I_f$  dan diambil sampel untuk diuji dilaboratorium sehingga nilai  $I_s50$  (MPa) didapat (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai  $I_f$  dan point load untuk diplot dalam grafik Pettifer dan Fookers (1994)

STA	LITHOLOGI	TINGKAT PELAPUKAN	RMR	GSI	$J_v$	$I_f$	NILAI POINT LOAD ( $I_s 50$ ) (Mpa)
	Breksi						
Stb14	Polimik	pelapukan rendah	74	77,5	4	0,75	1,97
Stb37	breksi andesit	pelapukan rendah	65	72,5	2,25	1,333	2,91
Stb38	breksi andesit	pelapukan rendah	70	80	2,75	1,091	8,26
Stb39	breksi andesit	pelapukan tinggi	53	52,5	6,25	0,48	0,06
Stb40	breksi andesit	pelapukan rendah	77	82,5	1	3	2,91
Stb41	breksi andesit	pelapukan rendah	65	60	3,5	0,857	2,91
Stb43	breksi andesit	pelapukan tinggi	60	65	3	1	0,06
Stb44	breksi andesit	pelapukan rendah	63	67,5	6,126	0,49	2,91
Stb45	breksi andesit	pelapukan rendah	70	75	0,6	5	2,91
Stb46	breksi andesit	pelapukan rendah	70	75	6,667	0,45	2,91
Stb47	breksi andesit	pelapukan rendah	79	82,5	4,364	0,688	2,91
Stb48	breksi andesit	pelapukan rendah	43	37,5	6,496	0,462	0,07
Stb49	breksi andesit	pelapukan rendah	65	72,5	3	1	6,77
Stb50	breksi andesit	pelapukan rendah	87	92,5	0,2	15	2,91
Stb101	breksi andesit	pelapukan rendah	74	82,5	2	1,5	1,89

Nilai  $I_f$  dan nilai *point load* permukaan di atas lintasan terowongan kemudian diplot dalam grafik untuk melihat metode ekskavasi yang sesuai dengan lokasi rencana terowongan (Gambar 6)



Gambar 6. Hasil plotting nilai if dan nilai *point load* pada grafik Pettifer dan Fookers (1994) data singkapan di atas lintasan terowongan.

Hasil plotting dari data di atas lintasan terowongan menunjukkan bahwa sebagian besar menunjukkan bahwa metode ekskavasi yang paling sesuai adalah *blasting* (peledakan) ditandai dengan bintang warna biru (Gambar 6). Hasil yang menunjukkan metode ekskavasi *hard digging* ditandai dengan bintang warna merah, berasal dari data sampel permukaan yang memiliki tingkat pelapukan tinggi (*highly weathered*) maka metode ekskavasi dengan *hard digging* kurang sesuai untuk diterapkan karena diperkirakan sebagian besar rencana lintasan terowongan berada pada batuan dengan tingkat pelapukan *fresh – slightly weathered*.

Data yang di plot pada grafik yang berasal dari singkapan sekitar lintasan terowongan terdiri dari batuan dengan kualitas massa batuan baik. Kondisi lintasan terowongan selain terdiri dari batuan dengan kualitas massa batuan baik, juga terdiri dari kualitas massa batuan sedang (*fair rock*) (Gambar 1). Kondisi *fair rock* tidak banyak data  $J_v$  dan  $I_f$  dari singkapan batuan disekitar lokasi terowongan, maka ditambahkan beberapa data pengukuran  $J_v$  dan  $I_f$  pada kondisi batuan *fair rock* di lokasi lain di daerah penelitian (Tabel 4).

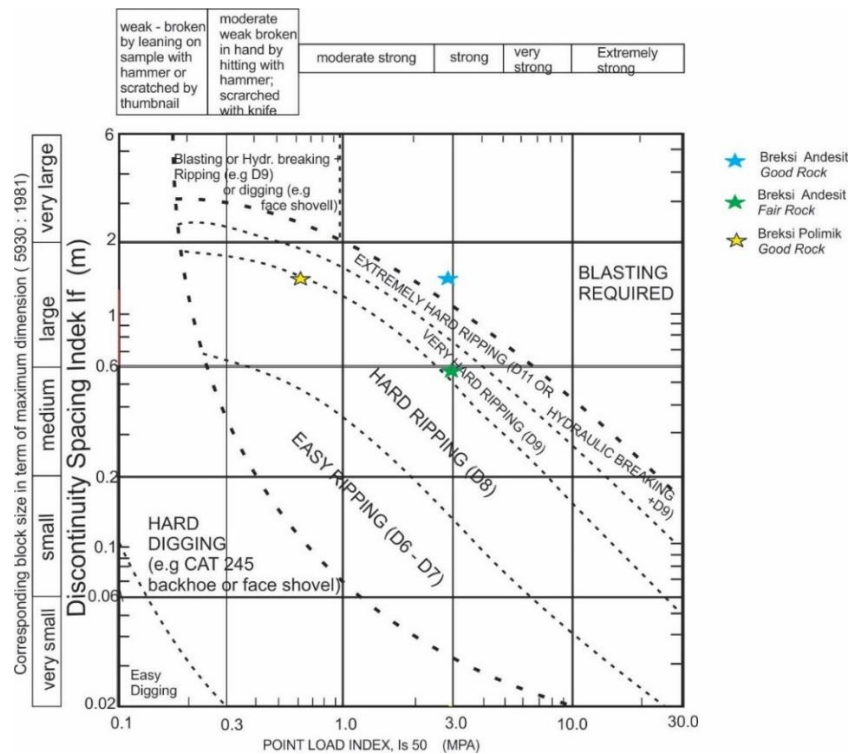
Lokasi lintasan terowongan yang terdiri dari tiga jenis batuan antara lain breksi vulkanik andesit *good rock*, breksi vulkanik andesit *fair rock* dan breksi polimik *good rock* (Gambar 1). Setiap satuan tersebut harus memiliki parameter  $I_f$  dan nilai *point load* untuk dapat diplot dalam grafik sehingga didapatkan metode ekskavasi terowongan yang didasarkan pada kondisi litologi dan kelas massa batuan, sebagai evaluasi terhadap analisis sebelumnya yang didasarkan pada data  $I_f$  dan *point load* di atas permukaan lintasan terowongan (Tabel 5), maka nilai  $I_f$  dan nilai *point load* masing masing jenis batuan tersebut di rata rata kemudian di plot kembali pada grafik grafik Pettifer dan Fookers (1994)(Gambar 7).

Tabel 4. Nilai parameter If untuk kondisi kelas massa batuan *fair rock*

STA	Lithologi	RMR	GSI	Kelas				Jv	If
				Massa Batuan	1/S1	1/S2	1/S3		
Stb06	breksi andesit	58	56,5	Fair Rock	0,12			8,333333	0,36
Stb10	breksi andesit	54	50	Fair Rock	5			5	0,6
Stb29	Andesit	53	45	Fair Rock	14,925			14,92537	0,2
Stb30	breksi andesit	42	35	Fair Rock	3,0303			3,030303	0,99
Stb39	breksi andesit	53	52,5	Fair Rock	6,25			6,25	0,48
Stb48	breksi andesit	43	37,5	Fair Rock	1,25	3,8462	1,4	6,496154	0,46
Stb76	breksi andesit	47	45	Fair Rock	2,5	0,5		3	1
Stb77	breksi andesit	47	45	Fair Rock	2,5	0,5		3	1
Stb98	breksi andesit	50	42,5	Fair Rock	10	2,5		12,5	0,24
RATA RATA									0,59

Tabel 5. Nilai parameter If dan Is50 untuk setiap tipe batuan yang akan ditembus penggalian terowongan

Lithology	Rock Mass Class	IF	Is50 (MPa)
Andesite Breccia	Good Rock	1,43	2,91
Andesite Breccia	Fair Rock	0,59	2,91
Polimict Breccia	Good Rock	1,43	0,65



Gambar 7. Metode ekskavasi yang disarankan berdasarkan kondisi batuan di lintasan terowongan.

Berdasarkan analisis tersebut maka metode yang sesuai untuk batuan breksi andesit *good rock* adalah dengan *blasting*, sedangkan untuk breksi andesit *fair rock* dan breksi polimik *good rock* adalah dengan metode *very hard ripping*. Untuk efisiensi dalam penggalian terowongan secara keseluruhan maka metode *blasting* lebih disarankan.

#### 4. KESIMPULAN

Pemetaan geologi teknik detail lokasi bendungan menunjukkan bahwa kondisi geologi teknik bawah permukaan pada lintasan terowongan secara umum dibagi menjadi 3 yaitu breksi andesit breksi andesit *good rock*, breksi andesit *fair rock*, dan breksi polimik *good rock*, ketiganya memiliki tingkat pelapukan *fresh rock*. Kondisi geologi teknik bawah permukaan lintasan terowongan didominasi oleh breksi andesit *good rock*.

Analisis metode ekskavasi secara empirik pada lintasan terowongan menunjukkan bahwa bukaan lintasan terowongan membutuhkan tipe ekskavasi peledakan (*blasting*) dan *very hard ripping*, namun sebagian besar memerlukan tipe ekskavasi peledakan (*blasting*).

#### REFERENSI

- Asikin, S, Handoyo, A, Busono, H. (1992). *Peta Geologi Lembar Kebumen*.
- ASTM. (1985). Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock 1. *Rock Mechanics*, 22(2), 1–9. <https://doi.org/10.1520/D5731-08.2>
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications Wiley & Sons, New York, p. 251*.  
[http://www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech/references/Rockfall\\_References/05\\_Bieniawski\\_Eng\\_Rx\\_Mass\\_Classification.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech/references/Rockfall_References/05_Bieniawski_Eng_Rx_Mass_Classification.pdf)
- Gurocak, Z., Alemdag, S., & Zaman, M. M. (2008). Rock slope stability and excavability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey. *Engineering Geology*, 96(1–2), 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.08.005>
- 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.
- Palmström, A. (2001). Measurement and characterizations of rock mass jointing. *In-Situ Characterization of Rocks - Chapter 2*, 1–40.
- Palmstrøm, A. (1982). New Delhi 1982 the Volumetric Joint Count - a Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Mass Jointing Le Compte Volumetrique De Fissures - Simple Mesure Utile Du Degre De La. *Iv Congress International Association of Engineering Geology*, 2(3), 221–228.
- Pettifer, G. S., & Fookes, P. G. (1994). A revision of the graphical method for assessing the excavability of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27(2), 145–164. <https://doi.org/10.1144/gsl.qjegh.1994.027.p2.05>
- 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 Kebumian Ke-10 Peran Penelitian Ilmu Kebumian Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia, September*.
- Rahardjo, Wartono, Sukandarrumidi, Rosidi, H. M. . (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*. Pustlitbang Geologi.
- Sasangka, D. J., Indrawan, I. G. B., Taufik, R., & Insani, D. (2019). *Modelling of Engineering Geology Condition of Bener Dam Diversion Tunnel Based on Surface and Subsurface Data Ministry of Public Works and Housing of the Republic of Indonesia* , 2 Gadjah Mada University. JCY, 1–6.
- 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>.