

EVALUASI SISTEM PENGAMANAN BERDASARKAN NILAI ROCK MASS RATING (RMR) PADA TEROWONG PENGAMBILAN BENDUNGAN DI LOMBOK BARAT, NUSA TENGGARA BARAT

Nabila Rizky Anggraeni¹, Wahyu Ramadhany Bryan Wicaksi², Yohanes Kristantyo Kusdwinata³,
Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi^{4*}

^{1,2,3,4} Teknik Geologi, Universitas AKPRIND Indonesia,

e-mail: ¹nabilarraa22@gmail.com, ²bryanramadhany02@gmail.com, ³dwinatak14@gmail.com,
⁴nurwidi@akprind.ac.id

ABSTRACT

The construction of the dam in West Lombok is one of the National Projects of the Ministry of Public Works and Public Housing (Kemen PUPR) located in West Nusa Tenggara. The tunnel excavation process for this dam entails blasting and digging, which could potentially disrupt the stability of the surrounding area and lead to rock mass movement, including rock falls. The aim of this study is to analyze the quality of the rock mass related to the design of the support system in the tunnel segments. The results of this study show that the tunnel segment STA 0+290.704 - 292.804 exhibits good rock mass quality (RMR 61-80), where, based on the support recommendations (Bieniawski, 1989), the use of rock bolts on the roof with a length of 3m, spacing of 2.5m, and combined with wire mesh, is advised. Additionally, shotcrete with a thickness of 50mm should be applied to the roof. For the segments STA 0+285.309 - 288.104, STA 0+288.104 - 290.704, STA 0+416.068 - 414.864, and STA 0+417.134 - 416.068, which exhibit fair rock mass quality (RMR 41-60), the recommended support system (Bieniawski, 1989) includes the use of rock bolts on both the walls and roof with a length of 4m, spacing of 1.5-2m, combined with wiremesh, and shotcrete application with thicknesses of 50-100mm on the roof and 100 mm on the walls. For the segment STA 0+420.144 - 417.134, which has poor rock mass quality (RMR 21-40), the support system recommendations (Bieniawski, 1989) suggest using rock bolts on both the walls and roof with a length of 4m, spacing of 1.5-2m, combined with wiremesh, and shotcrete with a thickness of 100-150mm on the roof and 100mm on the walls. Additionally, the installation of steel ribs/steel sets is recommended.

Keywords: DAM, Rock Mass Rating, support system, Tunnel

INTISARI

Pembangunan bendungan di Lombok Barat ini merupakan salah satu Proyek Nasional Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kemen PUPR) yang berada di Nusa Tenggara Barat. Proses pembuatan terowongan di Bendungan ini meliputi proses peledakan dan proses penggalian yang dapat mengakibatkan terganggunya kestabilan daerah tersebut sehingga dapat berdampak pada adanya gerakan massa batuan seperti runtuhnya batuan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kualitas massa batuan yang berhubungan dengan perancangan sistem penyanggaan pada segmen-segmen terowongan. Penelitian ini menghasilkan bahwa terowongan pada segmen STA 0+290,704 - 292,804 memiliki kualitas batuan baik (RMR 61-80), sehingga mengacu pada rekomendasi penyanggaan (Bieniawski, 1989) pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada atap dengan panjang 3m, spasi 2,5m, dan dikombinasikan dengan *wiremesh*, serta dilakukan pelapisan *shotcrete* dengan ketebalan 50mm pada atap. Pada segmen STA 0+285,309-288,104, STA 0+-288,104 - 290,704, STA 0+416,068-414,864, serta STA 0+417,134-416,068 memiliki kualitas batuan cukup baik (RMR 41-60), sehingga mengacu pada rekomendasi penyanggaan (Bieniawski, 1989) pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada dinding dan atap dengan panjang 4m, spasi 1,5 - 2m, dan dikombinasikan dengan *wiremesh*, serta pelapisan *shotcrete* dilakukan dengan ketebalan 50-100mm pada atap dan 100mm pada dinding. Pada segmen STA 0+420,144 - 417,134 memiliki kualitas batuan buruk (RMR 21-40), sehingga mengacu pada rekomendasi penyanggaan (Bieniawski, 1989) pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada dinding dan atap dengan panjang 4 m, spasi 1,5-2m, dikombinasikan dengan *wiremesh*, pelapisan *shotcrete* dilakukan dengan ketebalan 100-150 mm pada atap dan 100 mm pada dinding, selain itu direkomendasikan pemasangan *steel rib/steel set*.

Kata kunci: Bendungan, Rock Mass Rating, Sistem penyanggaan, Terowongan

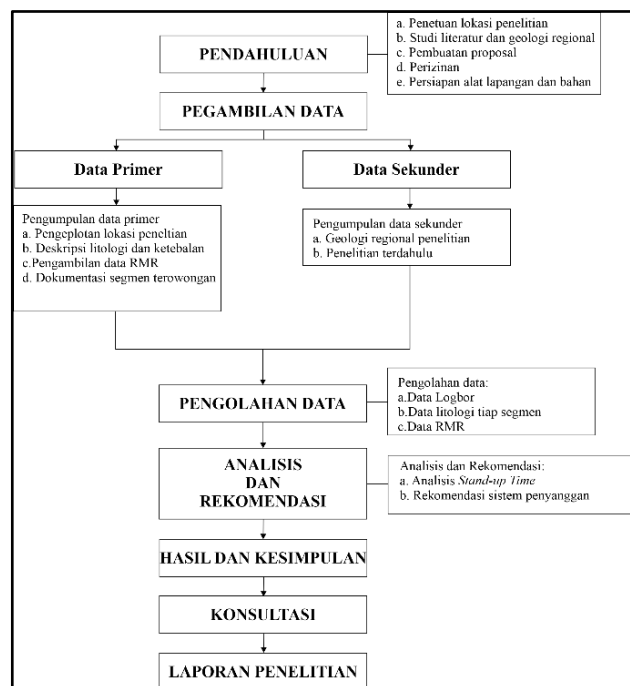
1. PENDAHULUAN

Bendungan di Lombok Barat ini merupakan salah satu Proyek Nasional Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kemen PUPR) yang dilaksanakan oleh Direktorat Jendral Sumber Daya Air melalui Balai Wilayah Sungai (BWS) Nusa Tenggara 1. Bendungan berada di Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat yang memiliki manfaat untuk mendukung pemenuhan kebutuhan air baku dan mendukung pengembangan jaringan irigasi bagi pertanian di Pulau Lombok bagian barat. Pada pelaksanaan pembangunan Bendungan ini diperlukan

pembangunan terowongan pengambilan. Terowongan pengambilan merupakan bangunan konstruksi yang dibuat dengan tujuan mengalirkan air dari waduk bendungan ke jaringan irigasi dan jaringan air baku (Rasdi, 2023). Proses pembuatan terowongan di Bendungan ini meliputi proses peledakan dan proses penggalian yang dapat mengakibatkan terganggunya kestabilan daerah tersebut sehingga dapat berdampak pada adanya gerakan massa batuan seperti runtuh bantuan. Kejadian ini dapat dipengaruhi oleh kondisi geologi, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik batuan, struktur geologi berupa kekar, sesar, dan lipatan serta kondisi air tanah yang terdapat di daerah pembangunan terowongan. Analisis kestabilan terowongan batuan menggunakan sistem Rock Mass Rating (RMR) sebagai klasifikasi dasar untuk mengetahui jenis batuan yang berada dilokasi bukaan, serta pengklasifikasian massa batuan untuk menentukan kelas massa batuan agar dapat memberikan rekomendasi penyanggaan yang sesuai dengan parameter-parameter pemilihan tipe penyangga batuan dan mendapatkan faktor keamanan yang sesuai standar yang direncanakan (Jayyid dkk, 2023). Sebelum penelitian ini telah dilakukan investigasi awal perencanaan bendungan dengan tujuan menganalisis kualitas massa batuan berdasarkan data geologi permukaan dan data bor, tetapi belum dilakukan pengkajian untuk mengetahui kualitas masa batuan secara lebih detail pada jalur pembangunan terowongan. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara lebih detail pada jalur pembangunan terowongan dengan melihat kondisi batuan setelah dilakukannya ekskavasi pada segmen-segmen terowongan.

2. METODE PENELITIAN

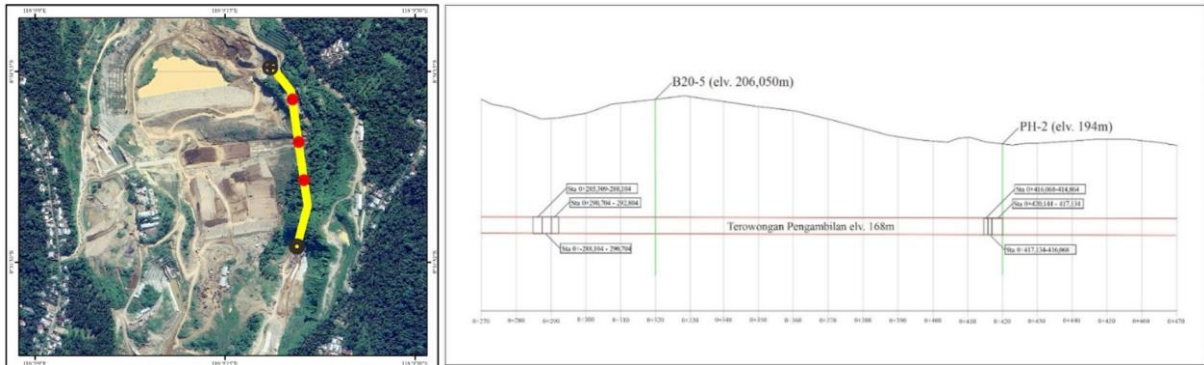
Lokasi penelitian berada pada Bendungan Maninting di Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan tahap studi literatur, pengambilan data, pengolahan data dan analisis yang tersaji pada bagan alir penelitian (Gambar 1). Sumber pustaka yang dipergunakan untuk data sekunder diperoleh dari laporan penelitian perusahaan yang terdahulu dan data dari instansi yang terkait dengan pembangunan bendungan seperti litologi dari data logbor, dan hasil uji laboratorium. Data Primer yang diambil langsung di lapangan meliputi Spasi rekahan, Kondisi rekahan, Orientasi bidang diskontinu, Kondisi air tanah pada terowongan, Pengukuran span dan Data Litologi. Aspek penilaian yang dipergunakan dalam penelitian ini mengacu pada klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan perhitungan *stand-up time* serta rekomendasi system penyanggan (Bienawski,1989).



Gambar 1. Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada lokasi penelitian dilakukan pengambilan data 6 segmen pada Terowongan Pengambilan yang terdiri atas 3 segmen pada *inlet* terowongan pengambilan dan 3 segmen pada *outlet* terowongan pengambilan. Segmen-segmen tersebut meliputi STA 0+285,309 – 288,104, STA 0+288, 104 – 290,704, STA 0+290,704 – 292,804, STA 0+416,068 – 414,864, STA 0+417,134 – 416,068, STA 0+417,134 – 416,068, serta STA 0+417,134 – 416,068. Pengeplotan lokasi segmen-segmen tersebut dapat dilihat lebih detail dalam *long section* Terowongan Pengambilan (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi pembangunan terowongan pengambilan dan titik segmen pengambilan data.

a. Data Logbor

Data pemboran yang telah ada dipergunakan untuk mengetahui litologi yang terdapat pada daerah terowongan pengambilan adalah B20-4, B20-5, dan Ph-2 (Gambar 3). Dari data pemboran yang telah dilakukan dapat diketahui nilai RQD dan telah dilakukan pengujian kuat tekan batuan pada daerah sekitar terowongan pengambilan. Data litologi dan RQD serta pengujian kuat tekan tersebut kemudian digunakan dalam pembobotan RMR pada penelitian ini.

Pada Log bor B20-4 diketahui bahwa pemboran dilakukan sedalam 30 m pada elevasi 198,135 m. Posisi terowongan pengambilan terdapat pada elevasi 168m, sehingga data pemboran yang digunakan pada kedalaman 20-30m dengan lithologi breksi vulkanik. Kemudian untuk mengetahui nilai RQD pada terowongan dilakukan dengan perjumlahan pada setiap segmen kemudian dihitung rata-rata nilai RQD. Berikut perhitungan RQD lubang bor B20-4:

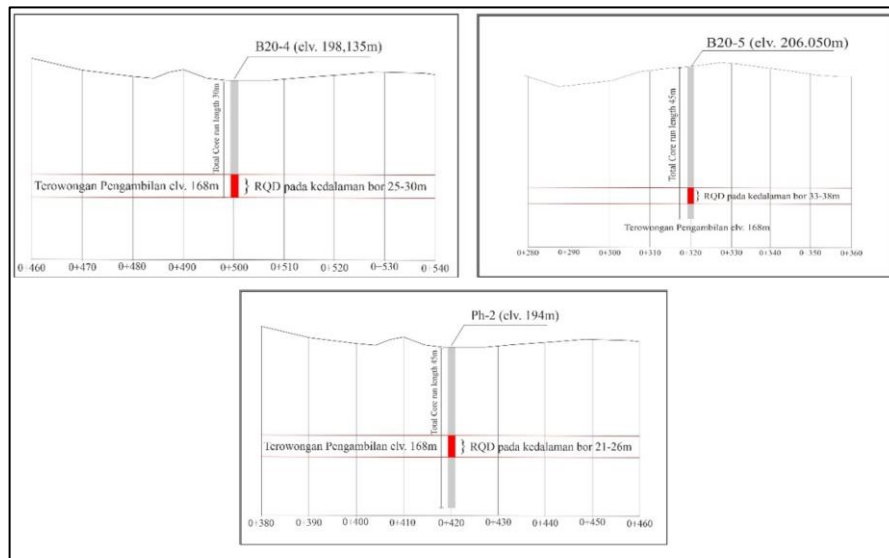
$$RQD_{25-30} = \frac{RQD_{25-26m} + RQD_{26-27m} + RQD_{27-28m} + RQD_{28-29m} + RQD_{29-30m}}{\text{total panjang lubang bor}}$$

$$RQD_{25-30} = \frac{47\% + 10\% + 71\% + 59\% + 23\%}{5}$$

$$RQD_{25-30} = \frac{248\%}{5}$$

$$RQD_{25-30} = 49,6\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diketahui bahwa pada lubang bor B20-4 dengan kedalaman 25-30m didapat nilai RQD nya 49,6%.



Gambar 3. Skematik penentuan data RQD Terowongan pengambilan pada log bor B20-4, log bor B20-5 dan log bor Ph-2.

Pada log bor B20-5 diketahui pemboran dilakukan sedalam 45 m pada elevasi 206,05 m. Lokasi terowongan pengambilan terletak pada elevasi 168m, sehingga data pemboran digunakan pada kedalaman 33-38 m dengan lithologi breksi vulkanik lapuk sedang. Berdasarkan perhitungan rata-rata RQD Terowongan pengambilan pada

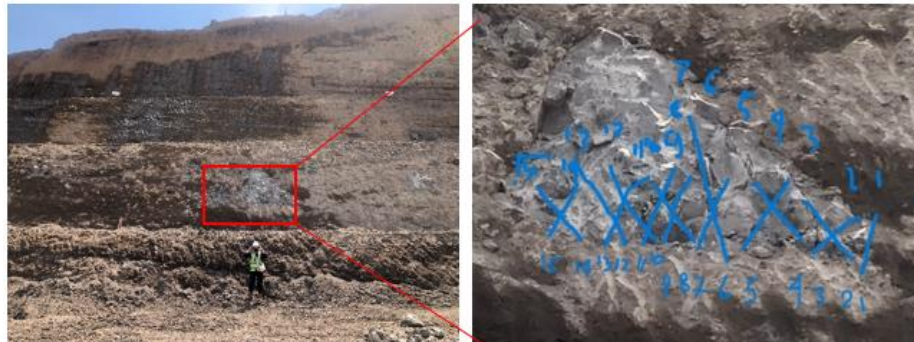
lubang bor B20-5 dengan kedalaman 33-38m didapat nilai RQD nya 53,8%.

Pada log bor Ph-2 diketahui pemboran dilakukan sedalam 45m pada elevasi 194m. Lokasi terowongan pengambilan terletak pada elevasi 168m, sehingga data pemboran digunakan pada kedalaman 21-26m yang terdapat breksi vulkanik lapuk sedang. Berdasarkan perhitungan rata-rata RQD Terowongan pengambilan pada lubang bor Ph-2 dengan kedalaman 21-26m didapat nilai RQD nya 24,4%.

b. Pengamatan Data Kekar

Berdasarkan pengamatan di lapangan secara langsung menunjukkan tidak ditemukan bidang pergeseran sesar atau struktur lipatan, namun ditemukan kekar pada beberapa singkapan. Merujuk pada Geologi Regional Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat (Mangga dkk, 1994) pada bagian selatan Pulau Lombok yang berada di luar daerah penelitian terdapat sesar-sesar normal dan sesar geser dengan dengan pola umum berarah Barat Laut – Tenggara dan Barat – Timur yang diduga terjadi pada kala Pleistosen. Gejala tektonik yang muncul pada bagian selatan Pulau Lombok diperkirakan tidak mempengaruhi atau tidak muncul pada daerah penelitian yang berada di sebelah barat. Berdasarkan pengamatan bentang alam dan morfologi, daerah penelitian dikontrol oleh aktivitas vulkanisme yaitu pengendapan material vulkanik berumur kuarter dari gunung api purba yang berada di sekitar daerah penelitian.

Hasil pengamatan pada singkapan kekar terdiri dari 2 set berpasangan yang menunjukkan orientasi relatif berarah Utara – Selatan, dengan arah umum dari pengukuran bidang kekar yang menunjukkan arah umum N 25° E dan N 205 ° E.



Gambar 4. Kenampakan struktur kekar berpasangan pada litologi breksi vulkanik yang terdapat pada dinding bagian utara terowongan inlet.

c. Pengamatan Data RMR

Pengamatan litologi dan tingkat kelapukan batuan serta diskontinuitas yang dilakukan di lapangan secara langsung dipergunakan untuk melakukan pembobotan nilai RMR sehingga didapatkan kualitas massa batuan.

Pada STA 285,309 – 288,104 dijumpai litologi breksi laharik memiliki warna coklat struktur massif ukuran butir blok sampai lapilli, menyudut, sortasi buruk, kemas terbuka. Fragmen andesit, matriks lapilli dan semen silika, memiliki kelapukan sedang sampai ringan (CM). Pada segmen ini dijumpai diskontinuitas dengan spasi 0,2-0,6 m dengan panjang 1-3 m memiliki tingkat kekasaran kasar, tidak terdapat jarak antara permukaannya, tidak terdapat material pengisi serta sedikit lapuk. Kondisi air tanah pada segmen ini lembab, serta tidak dijumpai kedudukan batuan, terdapat diskontinuitas yang bidangnya tegak lurus terhadap sumbu terowongan dan *dip* tidak searah pengerjaan (Gambar 5). Berdasarkan pembobotan RMR, STA 285,309-288,104 mendapatkan total nilai 57 dengan kelas batuan cukup baik (Tabel 1).

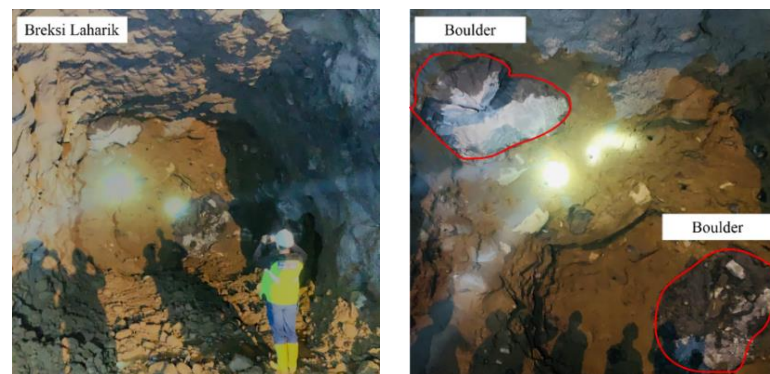


Gambar 5. Kenampakan STA 285,309 – 288,104 dengan *Face tunnel* yang tersusun litologi breksi laharik (kiri) dan pada wall segmen terdapat bidang diskontinuitas (kanan)

Tabel 1. Pembobotan RMR pada STA 0+285,309-288,104

No	Parameter	Keterangan	Bobot
1	Kekuatan Batuan	5,7Mpa	2
2	RQD	53,8	13
3	Jarak Antar Diskontinuitas	0,2-0,6m	10
4	Kondisi Diskontinuitas	Panjang diskontinuitas	1-3m
		Jarak antar permukaan diskontinuitas	tidak dijumpai
		Kekasaran diskontinuitas	Kasar
		Material Pengisi	tidak dijumpai
		Kelapukan	Sedikit Lapuk
5	Air Tanah	Lembab	10
6	Orientasi Diskontinuitas	sedang	-5
Total			57
Kelas Batuan			Batuan cukup baik (III)

Pada STA 288,104 – 290,704 dijumpai litologi breksi laharik memiliki warna coklat struktur massif ukuran butir blok sampai lapilli, menyudut, sortasi buruk, kemas terbuka. Fragmen andesit, matriks lapilli dan semen silika, memiliki kelapukan sedang sampai ringan (CM). Pada segmen ini dijumpai diskontinuitas dengan spasi 0,2-0,6m dengan Panjang 1-3m memiliki tingkat kekasaran kasar, tidak terdapat jarak antara permukaannya, tidak terdapat material pengisi serta sedikit lapuk (Gambar 6). Kondisi air tanah pada segmen ini lembab. Serta tidak dijumpai kedudukan batuan, terdapat diskontinuitas yang bidangnya tegak lurus terhadap sumbu terowongan dan *dip* tidak searah pengerjaan. Berdasarkan pembobotan RMR, STA 288,104 – 290,704 mendapatkan total nilai 57 dengan kelas batuan cukup baik (Tabel 2).

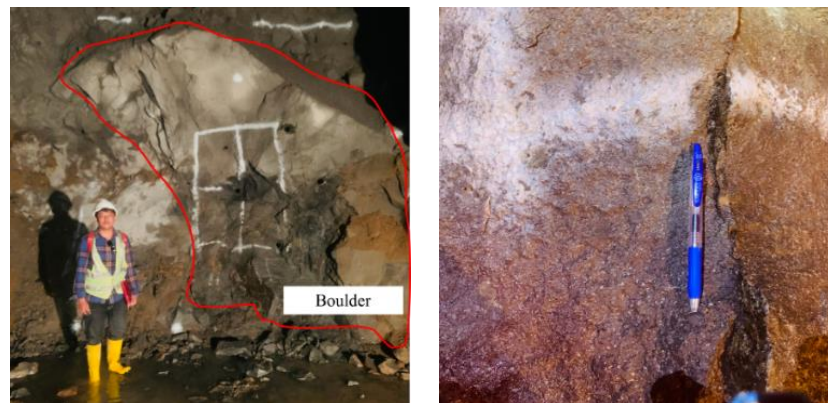


Gambar 6. Kenampakan STA 288, 104 – 290,704 dengan Face tunnel yang tersusun litologi breksi laharik (kiri) dan wall segmen terdapat litologi breksi laharik terdapat *boulder*

Tabel 2. Pembobotan RMR pada STA 288,104 – 290,704

No	Parameter	Keterangan	Bobot
1	Kekuatan Batuan	5,7Mpa	2
2	RQD	53,8	13
3	Jarak Antar Diskontinuitas	0,2-0,6m	10
4	Kondisi Diskontinuitas	Panjang diskontinuitas	1-3m
		Jarak antar permukaan diskontinuitas	tidak dijumpai
		Kekasaran diskontinuitas	Kasar
		Material Pengisi	tidak dijumpai
		Kelapukan	Sedikit Lapuk
5	Air Tanah	Lembab	10
6	Orientasi Diskontinuitas	sedang	-5
Total			57
Kelas Batuan			Batuan cukup baik (III)

Pada STA 290,704 – 292,804 dijumpai breksi laharik berwarna coklat struktur *massif* ukuran butir blok sampai lapilli, menyudut, sortasi buruk, kemas terbuka (Gambar 7). Fragmen andesit berukuran >2m, matriks lapilli, dan semen silika, memiliki kelapukan sedang sampai ringan (CM). Pada segmen ini dijumpai diskontinuitas dengan spasi 0,2-0,6 m dengan Panjang 1-3m memiliki tingkat kekasaran kasar, tidak terdapat jarak antara permukaannya, tidak terdapat material pengisi serta sedikit lapuk. Kondisi air tanah pada segmen ini lembab. Serta tidak dijumpai kedudukan batuan, terdapat diskontinuitas yang bidangnya sejajar terhadap sumbu terowongan. Berdasarkan pembobotan RMR, STA 290,704 – 292,804 mendapatkan total nilai 61 dengan kelas batuan baik (Tabel 3).

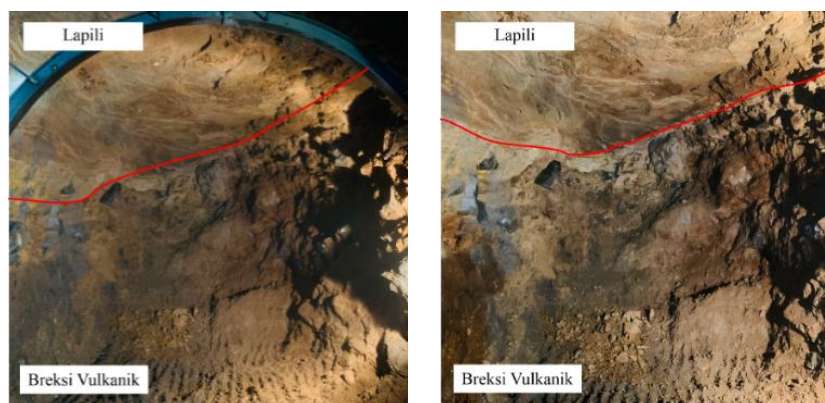


Gambar 7. Kenampakan STA 290,704 – 292,804 dengan Face tunnel yang tersusun litologi breksi laharik (kiri) dan Wall segmen terdapat bidang diskontinuitas pada litologi breksi laharik (kanan)

Tabel 3. Pembobotan RMR pada STA 290,704 – 292,804

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1	Kekuatan Batuan	148,6Mpa	12	
2	RQD	53,8	13	
3	Jarak Antar Diskontinuitas	0,2-0,6m	10	
4	Kondisi Diskontinuitas	Panjang diskontinuitas	1-3m	5
		Jarak antar permukaan diskontinuitas	tidak dijumpai	6
		Kekasaran diskontinuitas	sangat kasar	6
		Material Pengisi	tidak dijumpai	6
		Kelapukan	Sedikit Lapuk	5
5	Air Tanah	Lembab	10	
6	Orientasi Diskontinuitas	sangat tidak menguntungkan	-12	
Total			61	
Kelas Batuan			Batuan Baik (II)	

Pada STA 416,068 – 414,864 dijumpai litologi lapili berwarna coklat muda, struktur perlapisan, ukuran butir *ash*-lapili, menyudut, sortasi sedang, kemas tertutup, tidak memiliki fragmen, matriks *ash*-lapili dan semen silika. Memiliki tingkat kelapukan lapuk – sedang. Kemudian terdapat litologi batuan breksi vulkanik berwarna coklat struktur massif ukuran butir blok sampai lapilli, menyudut, sortasi buruk, kemas terbuka (Gambar 8). Fragmen andesit, matriks lapilli dan semen silika, memiliki kelapukan sedang sampai ringan (CM). Pada segmen ini dijumpai diskontinuitas dengan spasi 0,2-0,6m dengan Panjang 3-10m memiliki tingkat kekasaran sedikit kasar, tidak terdapat jarak antara permukaannya, tidak terdapat material pengisi serta sedikit lapuk. Kondisi air tanah pada segmen ini lembab. Dijumpai kedudukan batuan yang tegak lurus sumbu terowongan dengan *dip* searah pengerjaan. Berdasarkan pembobotan RMR, STA 416,068-414,864 mendapatkan total nilai 42 dengan kelas batuan cukup baik (Tabel 4).

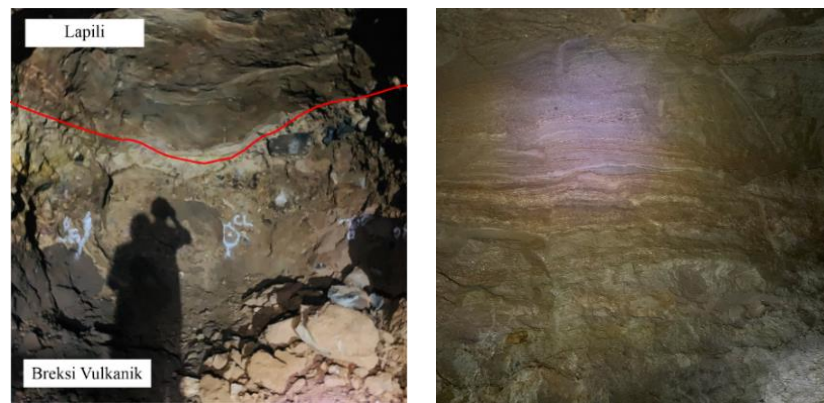


Gambar 8. Kenampakan STA 0+416,068 – 414,864 dengan Face tunnel yang tersusun litologi lapilli kontak dengan breksi vulkanik (kiri) dan wall segmen terdapat kontak litologi lapilli dengan breksi vulkanik (kanan)

Tabel 4. Pembobotan RMR pada STA 416,068 – 414,864

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1	Kekuatan Batuan	5,7Mpa	2	
2	RQD	24,4	3	
3	Jarak Antar Diskontinuitas	0,2-0,6m	10	
4	Kondisi Diskontinuitas	Panjang diskontinuitas	3-10m	2
		Jarak antar permukaan diskontinuitas	tidak dijumpai	6
		Kekasaran diskontinuitas	sedikit kasar	3
		Material Pengisi	tidak dijumpai	6
		Kelapukan	Sedikit Lapuk	5
5	Air Tanah	Lembab	10	
6	Orientasi Diskontinuitas	sedang	-5	
Total			42	
Kelas Batuan			Batuan cukup baik (III)	

Pada STA 417,134 – 416,068 dijumpai litologi lapili dengan ciri warna coklat muda, struktur perlapisan, ukuran butir *ash*-lapili, menyudut, sortasi sedang, kemas tertutup, tidak memiliki fragmen, matriks *ash*-lapili dan semen silika. Memiliki tingkat kelapukan lapuk – sedang. Kemudian terdapat litologi batuan breksi vulkanik berwarna coklat struktur massif ukuran butir blok sampai lapilli, menyudut, sortasi buruk, kemas terbuka (Gambar 9). Fragmen andesit, matriks lapilli dan semen silika, memiliki kelapukan sedang sampai ringan (CM). Pada segmen ini dijumpai diskontinuitas dengan spasi 0,2-0,6 m dengan Panjang 3-10 m memiliki tingkat kekasaran sedikit kasar, tidak terdapat jarak antara permukaannya, tidak terdapat material pengisi serta sedikit lapuk. Kondisi air tanah pada segmen ini lembab. Dijumpai kedudukan batuan yang tegak lurus sumbu terowongan dengan *dip* searah pengerjaan. Berdasarkan pembobotan RMR, STA 417,134 – 416,068 mendapatkan total nilai 42 dengan kelas batuan cukup baik (Tabel 5).



Gambar 9. Kenampakan STA 417,134 – 416,068 dengan Face tunnel yang tersusun litologi lapilli kontak dengan breksi vulkanik (kiri) dan Wall segmen terdapat kontak litologi lapilli dengan breksi vulkanik (kanan)

Tabel 5. Pembobotan RMR pada STA 417,134-416,068

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1	Kekuatan Batuan	5,7Mpa	2	
2	RQD	24,4	3	
3	Jarak Antar Diskontinuitas	0,2-0,6m	10	
4	Kondisi Diskontinuitas	Panjang diskontinuitas	3-10m	2
		Jarak antar permukaan diskontinuitas	tidak dijumpai	6
		Kekasaran diskontinuitas	sedikit kasar	3
		Material Pengisi	tidak dijumpai	6
		Kelapukan	Sedikit Lapuk	5
5	Air Tanah	Lembab	10	
6	Orientasi Diskontinuitas	sedang	-5	
Total			42	
Kelas Batuan			Batuan cukup baik (III)	

Pada STA 420,144 – 417,134 dijumpai litologi lapili dengan ciri warna coklat muda, struktur perlapisan, ukuran butir *ash*-lapili, menyudut, sortasi sedang, kemas tertutup, tidak memiliki fragmen, matriks *ash*-lapili dan semen silika. Memiliki tingkat kelapukan lapuk – sedang. Kemudian Dijumpai litologi batuan breksi vulkanik berwarna coklat struktur massif ukuran butir blok sampai lapilli, menyudut, sortasi buruk, kemas terbuka (Gambar 10). Fragmen andesit, matriks lapilli dan semen silika, memiliki kelapukan sedang sampai ringan (CM). Pada segmen

ini dijumpai diskontinuitas dengan spasi 0,2-0,6m dengan Panjang 3-10m memiliki tingkat kekasaran sedikit kasar, tidak terdapat jarak antara permukaannya, tidak terdapat material pengisi serta sedikit lapuk. Kondisi air tanah pada segmen ini lembab. Dijumpai kedudukan batuan yang tegak lurus sumbu terowongan dengan *dip* searah pengerjaan. Berdasarkan pembobotan RMR, STA 420,144 - 417,134 mendapatkan total nilai 40 dengan kelas batuan buruk (Tabel 6).



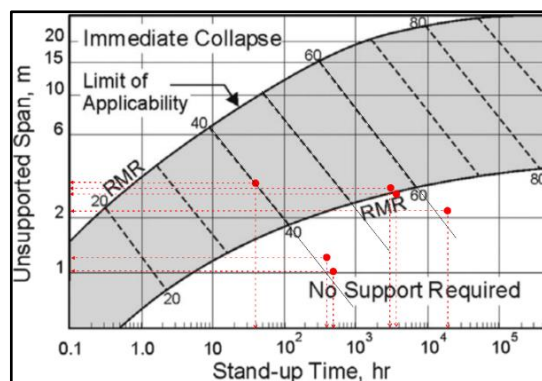
Gambar 10. Kenampakan STA 0+420,144 – 417,134 dengan face tunnel yang tersusun litologi lapilli kontak dengan breksi vulkanik (kiri) dan Wall segmen terdapat kontak litologi lapilli dengan breksi vulkanik (kanan)

Tabel 6. Pembobotan RMR pada STA 420,144 - 417,134

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1	Kekuatan Batuan	5,7Mpa	2	
2	RQD	24,4	3	
3	Jarak Antar Diskontinuitas	0,06-0,2	8	
4	Kondisi Diskontinuitas	Panjang diskontinuitas	3-10m	2
		Jarak antar permukaan diskontinuitas	tidak dijumpai	6
		Kekasaran diskontinuitas	sedikit kasar	3
		Material Pengisi	tidak dijumpai	6
		Kelapukan	Sedikit Lapuk	5
5	Air Tanah	Lembab	10	
6	Orientasi Diskontinuitas	sedang	-5	
Total			40	
Kelas Batuan			Batuan buruk (II)	

d. Stand-up Time

Penentuan *stand-up time* dilakukan berdasarkan pengeplotan massa batuan (RMR) dan panjang lubang bukaan pada grafik *stand-up time* (Gambar 11). Berdasarkan pengolahan data dapat diketahui bahwa pada STA 0+285,309 -288,104 dengan nilai RMR 57 dan bukaan sepanjang 2,795 m memiliki *stand-up time* 3000jam. Pada STA 0+288,104 - 290,704 dengan nilai RMR 57 dan bukaan sepanjang 2,6 m memiliki *stand-up time* 4000 jam. Pada STA 0+290,704 - 292,804 dengan nilai RMR 61 dan bukaan sepanjang 2,1 m memiliki *stand-up time* 20.000 jam. Pada STA 0+416,068 - 414,864 dengan nilai RMR 42 dan bukaan sepanjang 1,2 m memiliki *stand-up time* 400 jam. Pada STA 0+417,134 -416,068 dengan nilai RMR 42 dan bukaan sepanjang 1,06 m memiliki *stand-up time* 500 jam. Pada STA 0+420,144 - 417,134 dengan nilai RMR 40 dan bukaan sepanjang 3,01 m memiliki *stand-up time* 40 jam.



Gambar 11. Pengeplotan pada grafik *stand-up time*

Tabel 7. Perhitungan *stand-up time*

No	STA	Nilai RMR	Span	STAndup time (jam)
1	STA 0+285,309-288,104	57	2,795	3000
2	STA 0+-288,104 - 290,704	57	2,6	4000
3	STA 0+290,704 - 292,804	61	2,1	20.000
4	STA 0+416,068-414,864	42	1,2	400
5	STA 0+417,134-416,068	42	1,06	500
6	STA 0+420,144 - 417,134	40	3,01	40

e. Sistem Penyanggaan

Sistem penyanggan terowongan ditentukan dengan menggunakan metode empiris dengan klasifikasi massa batuan RMR oleh Bieniawski (1989). Sistem penyanggaan dengan klasifikasi RMR ditentukan berdasarkan kualitas massa batuan RMR pada setiap segmen. Berdasarkan analisis kualitas massa batuan RMR segmen yang dijumpai pada penelitian ini dikelompokkan kedalam tiga kelas massa batuan yaitu: kualitas batuan baik (II), kualitas batuan cukup baik (III) dan kualitas batuan buruk (IV).

Pada segmen STA 0+290,704 - 292,804 memiliki kualitas batuan baik (RMR 61-80). Mengacu pada rekomendasi penyanggaan oleh Bieniawski (1989), pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada atap dengan panjang 3m, spasi 2,5m, serta dikombinasikan dengan *wiremesh*. Selain itu dilakukan pelapisan *shotcrete* dengan ketebalan 50mm pada atap. Pada segmen STA 0+285,309 - 288,104, STA 0+288,104 - 290,704, STA 0+416,068 - 414,864, serta STA 0+417,134 - 416,068 memiliki kualitas batuan cukup baik (RMR 41-60). Mengacu pada rekomendasi penyanggaan oleh Bieniawski (1989), pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada dinding dan atap dengan panjang 4m, spasi 1,5 - 2m, serta dikombinasikan dengan *wiremesh*. Pelapisan *shotcrete* dilakukan dengan ketebalan 50-100mm pada atap dan 100mm pada dinding. Pada segmen STA 0+420,144 - 417,134 memiliki kualitas batuan buruk (RMR 21-40). Mengacu pada rekomendasi penyanggaan oleh Bieniawski (1989), pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada dinding dan atap dengan panjang 4m, spasi 1,5 - 2m, serta dikombinasikan dengan *wiremesh*. Pelapisan *shotcrete* dilakukan dengan ketebalan 100-150mm pada atap dan 100mm pada dinding. Disarankan untuk melakukan pemasangan *steel rib/steel sel*.

Tabel 7. Kelas massa batuan tiap STA

No	STA	Nilai RMR	Kelas Batuan
1	STA 0+285,309-288,104	57	Batuan cukup baik (III)
2	STA 0+-288,104 - 290,704	57	Batuan cukup baik (III)
3	STA 0+290,704 - 292,804	61	Batuan Baik (II)
4	STA 0+416,068-414,864	42	Batuan cukup baik (III)
5	STA 0+417,134-416,068	42	Batuan cukup baik (III)
6	STA 0+420,144 - 417,134	40	Batuan buruk (II)

Tabel 8. Rekomendasi penyangga pada masing-masing STA

Kelas RMR	Metode Penggalian	Baut Batuan (Diameter 20mm, <i>fully grouted</i>)	Beton Tembak	Steel Sel
I	<i>Ful face</i> dengan kemajuan 3m	Secara umum tidak membutuhkan penyangga		
II	<i>Ful Face</i> , dengan kemajuan 1,5 - 3 m. Pemasangan penyangga penuh 20 m dari <i>face</i>	Baut batuan pada atap panjang 3m, spasi 2,5 m, dengan penambahan <i>wire mash</i>	50 mm pada atap	Tidak dibutuhkan
III	<i>Top heading and bench</i> 1,5 - 3 m kemajuan pada <i>top heading</i> , penyangga setelah peledakan. Penyangga penuh 10 m dari <i>face</i>	Baut batuan panjang 4m, spasi 1,5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan <i>wire mash</i>	50 -100 mm pada atap. 100 mm pada dinding	Tidak dibutuhkan
IV	<i>Top heading and bench</i> 1 - 1,5 m kemajuan pada <i>top heading</i> , penyangga sesegera mungkin saat penggalian. Penyangga penuh 10 m dari <i>face</i>	Baut batuan panjang 4m, spasi 1,5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan <i>wire mash</i>	100-150 mm pada atap. 100 mm pada dinding	Ringan s/d medium dengan spasi 1,5 m
V	<i>Multiple drift</i> kemajuan 0,5 - 1,5 m pada <i>top heading</i> . Pemasangan penyangga sesegera mungkin pada saat penggalian	Baut batuan panjang 5-6m spasi 1-1,5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan <i>wire mash</i>	150-200 mm pada atap. 150 mm pada dinding. 50 mm pada <i>face</i>	Medium s/d berat dengan spasi 0,75 m. Forepoling jika dianggap perlu

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada terowongan pengambilan bendungan Meninting dijumpai lithologi satuan batuan breksi piroklastik dan breksi laharik. Pada daerah penelitian tidak ditemukan struktur seperti sesar atau lipatan, namun ditemukan kekar berupa kekar gerus dengan orientasi arah umum Utara – Selatan.

Rekomendasi penyanggaan dilakukan pada tiap segmen dari 6 segmen pengambilan data yang memiliki masing-masing rekomendasi. Pada segmen STA 0+290,704 - 292,804 memiliki kualitas batuan Baik, sehingga pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada atap dengan panjang 3m, spasi 2,5m, dan dikombinasikan dengan *wiremesh*, serta dilakukan pelapisan *shotcrete* dengan ketebalan 50mm pada atap (Bieniawski, 1989). Pada segmen STA 0+285,309-288,104, STA 0+288,104 - 290,704, STA 0+416,068-414,864, serta STA 0+417,134-416,068 memiliki kualitas batuan Cukup Baik, sehingga pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada dinding dan atap dengan panjang 4m, spasi 1,5 - 2m, dan dikombinasikan dengan *wiremesh*, dan pelapisan *shotcrete* dilakukan dengan ketebalan 50-100mm pada atap dan 100mm pada dinding (Bieniawski, 1989). Pada segmen STA 0+420,144 - 417,134 memiliki kualitas batuan Buruk, sehingga pada segmen ini disarankan menggunakan *rockbolt* pada dinding dan atap dengan panjang 4m, spasi 1,5 - 2m, dan dikombinasikan dengan *wiremesh*, serta pelapisan *shotcrete* dilakukan dengan ketebalan 100-150mm pada atap dan 100mm pada dinding. Dan disarankan juga pada segmen ini dilakukan pemasangan *steel rib/steel sel*.

Hasil investigasi awal mengenai kualitas massa batuan pada terowongan pengambilan masih relevan dengan data yang didapatkan pada penelitian ini yang mana pada investigasi awal zona 1 memiliki batuan dengan kualitas cukup baik dan zona 2 memiliki batuan dengan kualitas buruk. Pada penelitian ini terdapat data tambahan setelah dilakukan ekskavasi yang mana terdapat *boulder* dengan ukuran lebih dari 1meter yang mempengaruhi kualitas massa batuan menjadi batuan dengan kualitas baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penyusun. Terima kasih kami ucapkan kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan kepada penyusun sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley and Sons.
- CRIEPI Central Research Institute of Electric Power Industry. (1992). *CRIEPI Rock Mass Classification, Standar For Feological Investigation of Dam Foundations For Dam Design*. Central Research Institute of Electric Power Industry Japan.
- Deere, D. U dan Deere, D. W. (1988). *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice Rock Classification Systems for Engineering Purposes*. American Society for Testing and Material: Philadelphia.
- Jayyid, M. (2023). Perencanaan Sistem Penyangga pada Terowongan Pengelak (Studi kasus pembangunan Bendungan Beringin Sila Utan Kab. Sumbawa). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(2), 121-128.
- Kurniawan, P dan Basuki, H. (2021). *Applied Geotechnics For Engineers*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Mangga, S.A., Atmawinata, S., Hermanto, B., dan Amin, T.C. (2010). *Geologi Regional Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat*. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- PT Indra Karya. (2018). *Laporan Akhir Sertifikasi Desain Bendungan Meninting Di Kabupaten Lombok Barat*. Lombok, Nusa Tenggara Barat: Indra Karya. (Tidak Diterbitkan).
- Rasdi, A. (2023). *Evaluasi Kondisi Geologi Teknik Dan Analisis Kestabilan Terowongan Pengambilan Bendungan Meninting Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Tesis. Program Studi Magister Teknik Geologi UGM. Yogyakarta. (Tidak Diterbitkan).