

SKRIPSI

**ANALISIS KUALITAS MASSA BATUAN MENGGUNAKAN METODE
ROCK MASS RATING (RMR) PADA *DIVERSION TUNNEL* BENDUNGAN
PAMUKKULU DESA KALE KO'MARA KECAMATAN
POLOMBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

NURFADILLAH ACHMAD

D06117513



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KUALITAS MASSA BATUAN MENGGUNAKAN METODE
ROCK MASS RATING (RMR) PADA *DIVERSION TUNNEL* B
ENDUNGAN PAMUKKULU DESA KALE KO'MARA
KECAMATAN POLOMBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

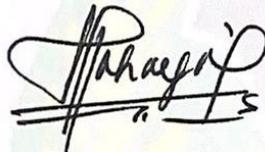
**NURFADILLAH ACHMAD
D061171513**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

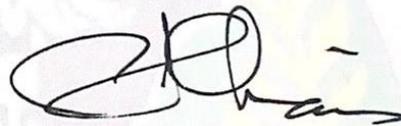
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T
NIP. 195812101986012001



Ilham Alimuddin S.T., M.GIS. PhD
NIP. 196908251999031001

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nurfadillah Achmad

NIM : D061171513

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : SI

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

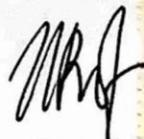
Analisis Kualitas Massa Batuan Menggunakan Metode *Rock Mass Rating* (Rmr) Pada *Diversion Tunnel* Bendungan Pamukkulu Desa Kale Ko'mara Kecamatan Polombangkeng Utara Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Laporan Pemetaan yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan Laporan Pemetaan ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar. 20 Maret 2022

Yang Menyat



Nurfadillah Achmad

SARI

Daerah penelitian termasuk dalam wilayah DAS Pappa, yaitu terletak di Desa Kale' Komara, Kecamatan Polongbangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Dalam proses pembangunan tubuh bendungan terdapat rekayasa keteknikan yang dikenal sebagai saluran pengelak yang berfungsi untuk mengalihkan aliran air selama pelaksanaan konstruksi bendungan berlangsung. Terowongan pengelak dibangun memotong sebuah bukit sehingga pengkajian karakteristik geologi teknik dan kualitas massa batuan perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik geologi teknik, menentukan kualitas massa batuan dan sistem penyangga terowongan menggunakan analisis *Rock Mass Rating* (RMR).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pemetaan muka terowongan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai pembobotan kelas batuan pada terowongan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) *System* oleh Bieniawski (1989) dengan parameter kuat tekan batuan, *Rock Quality Design* (RQD), spasi bidang diskontinu, kondisi bidang diskontinu, air tanah dan orientasi bidang diskontinu terhadap arah terowongan.

Berdasarkan hasil analisis dari lima titik stasiun pengamatan *face tunnel* didapatkan kualitas massa batuan yaitu Kelas (II) *Good Rock* / kualitas bagus terdapat pada stasiun *Tunnel From Inlet 20 + 10* dan direkomendasikan penggunaan penyangga terowongan dengan pengaplikasian *Shotcrete* dengan tebal 50 mm di atap dan pada titik-titik yang dibutuhkan dan pengaplikasian *Grouted Rock Bolt* dengan panjang 3 m dan spasi 2,5 m pada atap terowongan. Kelas (III) *Fair Rock* / kualitas sedang terdapat pada 3 titik stasiun yaitu *Tunnel From Inlet 11 +14,5*, *Tunnel From Inlet 15 +19,09*, *Tunnel From Outlet 24 +18,2* dan direkomendasikan penggunaan penyangga terowongan dengan pengaplikasian *Shotcrete* dengan tebal 50 - 100 mm di atap dan 30 mm di dinding dan pengaplikasian *Grouted Rock Bolt* dengan panjang 4 m dan spasi 1,5 – 2 m pada atap terowongan. Kelas (IV) *Poor Rock* / kualitas buruk terdapat pada *Tunnel From Outlet 28 +0,5* dan direkomendasikan penggunaan penyangga terowongan dengan pengaplikasian *Shotcrete* dengan tebal 100 - 150 mm di atap dan 100 mm di dinding dan pengaplikasian *Grouted Rock Bolt* dengan panjang 4 - 5 m dan spasi 1 – 1,5 m pada atap terowongan, serta pemasangan *steel sets* berupa rangka ringan sampai sedang dengan spasi 1,5 m di tempat yang diperlukan.

Kata kunci : DAM Pamukkulu, terowongan pengelak, kualitas batuan, RMR, penyangga terowongan

ABSTRACT

The research area is included in the Pappa watershed, which is located in Kale' Komara Village, North Polongbangkeng District, Takalar Regency, South Sulawesi Province. In the process of building the dam body, there is an engineering technique known as a evasion channel which serves to divert the flow of water during the construction of the dam. The escape tunnel was built to cut through a hill so that an assessment of the engineering geological characteristics and rock mass quality was necessary. This study aims to determine the characteristics of engineering geology, determine the quality of rock mass and tunnel support system using Rock Mass Rating (RMR) analysis.

The method used in this study is the tunnel face mapping method which aims to obtain rock class weighting values in the tunnel based on the Rock Mass Rating (RMR) System classification by Bieniawski (1989) with rock compressive strength parameters, Rock Quality Design (RQD), plane spacing, discontinuity, condition of the discontinuous plane, groundwater and orientation of the discontinuous plane to the direction of the tunnel.

Based on the results of the analysis of the five points of the face tunnel observation station, the rock mass quality, namely Class (II) Good Rock / good quality is found at the Tunnel From Inlet 20 + 10 station and it is recommended to use tunnel supports with the application of Shotcrete with a thickness of 50 mm on the roof and at the point -point required and application of Grouted Rock Bolt with a length of 3 m and a spacing of 2.5 m on the roof of the tunnel. Class (III) Fair Rock / moderate quality is found at 3 station points, namely Tunnel From Inlet 11 +14.5, Tunnel From Inlet 15 +19.09, Tunnel From Outlet 24 +18.2 and it is recommended to use tunnel supports with Shotcrete application with 50 - 100 mm thick on the roof and 30 mm on the walls and the application of Grouted Rock Bolt with a length of 4 m and a spacing of 1.5 – 2 m on the roof of the tunnel. Class (IV) Poor Rock / poor quality is found on Tunnel From Outlet 28 +0.5 and it is recommended the use of tunnel supports with the application of Shotcrete with a thickness of 100 - 150 mm on the roof and 100 mm on the walls and the application of Grouted Rock Bolt with a length of 4 - 5 m and spaced 1 – 1.5 m on the roof of the tunnel, as well as installation of steel sets in the form of light to medium frames with 1.5 m spacing where needed.

Keywords: *Pamukkulu DAM, evasion tunnel, rock quality, RMR, tunnel support*

KATA PENGANTAR

Puji syukur semoga selalu terpanjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penyusunan proposal skripsi dengan judul **Analisis Kualitas Massa Batuan Menggunakan Metode *Rock Mass Rating* (RMR) Pada *Diversion Tunnel* Bendungan Pamukkulu Desa Kale Ko'mara Kecamatan Polombangkeng Utara Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan** bisa berjalan dengan lancar tanpa ada halangan suatu apapun.

Penyusunan Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada, sehingga sepatutnya pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T sebagai Dosen Pembimbing 1 Pemetaan Geologi dan Skripsi sekaligus Dosen Penasehat Akademik yang telah membimbing penulis dalam penyusunan laporan pemetaan ini.
2. Bapak Ilham Alimuddin, S.T, M.GIS. PhD sebagai Dosen Pembimbing 2 Pemetaan Geologi dan Skripsi yang telah membimbing penulis dalam penyusunan laporan pemetaan ini.
3. Bapak Ir. Jamal Rauf Husain, M.T sebagai Dosen Penguji Pemetaan Geologi dan Skripsi
4. Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T sebagai Dosen Penguji Pemetaan Geologi dan Skripsi
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Asri Jaya H.S, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin
7. Staf Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
8. Kedua orang tua tercinta, atas dukungannya baik moril maupun materil serta doa restu yang senantiasa terucapkan tiada henti.
9. Bapak Muhamad Ichwanto selaku Geologist Proyek Bendungan Pamukkulu PT. WIKA-DMT, KSO, yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan pembelajaran hal – hal baru dibidang geologi Teknik.
10. Bapak Wiliam Triputra selaku konsultan Geologist Proyek Bendungan Pamukkulu, yang selalu memberikan banyak ilmu dan menjadi ruang diskusi.
11. Muhammad Ilyas Rustam yang telah banyak membantu penulis selama di lokasi penelitian dan selama proses penyusunan laporan sampai selesai.
12. Teman-teman mahasiswa Geologi angkatan 2017 (R17PTORZ) atas bantuan dan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum mendekati kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan.

Akhir kata semoga Skripsi ini dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan.

Gowa, 20 Maret 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
1. BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Letak, Luas, dan Kesampaian Daerah.....	3
1.7. Kondisi Daerah Penelitian.....	4
1.8. Alat dan Bahan.....	5
1.9. Peneliti terdahulu.....	5
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian.....	7
2.1.1 Geomorfologi Regional.....	7
2.1.2 Stratigrafi Regional.....	8
2.1.3 Struktur Geologi Regional.....	10
2.2. Terowongan.....	12

2.2.1 Terowongan Pengelak (<i>Diversion Tunnel</i>)	12
2.2.2 Metode Ekskavasi Terowongan	13
2.2.2.1 <i>Drill and Blast</i>	13
2.2.3 Bentuk Ekskavasi Terowongan.....	15
2.3. Konsep Massa Batuan, Struktur Batuan dan Bidang Diskontinu	18
2.3.1 Massa Batuan	18
2.3.2 Struktur Batuan	18
2.3.3 Bidang Diskontinu	19
2.4. Klasifikasi Massa Batuan dengan <i>Rock Mass Rating</i>	22
2.4.1 Kuat Tekan Batuan Utuh (<i>Strength of Intact Rock Material</i>).....	24
2.4.2 <i>Rock Quality Designation (RQD)</i>	24
2.4.3 Spasi Ketidakmenerusan (<i>Spacing of Discontinuities</i>)	26
2.4.4 Kondisi Bidang Disontinuitas	27
2.4.5 Kondisi Air Tanah.....	29
2.4.6 Orientasi Bidang Diskontinu terhadap Arah Terowongan.....	30
2.5. <i>Span</i> Terowongan	32
2.6. <i>Stand-up Time</i>	32
2.7. Sistem Penyanggaan berdasarkan Klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i>	33
2.7.1 Jenis Penyangga	34
2.7.2 Dasar Penentuan Sistem Penyanggaan.....	38
3. BAB III METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN.....	39
3.1. Metode Penelitian	39
3.2. Tahapan Penelitian.....	39
3.2.1 Tahapan Persiapan	39
3.2.2 Tahapan Penelitian Lapangan	41
3.2.3 Tahapan Pengolahan Data dan Analisis Laboratorium.....	43
3.2.4 Tahapan Interpretasi Data	43
3.2.5 Tahap Penyusunan Laporan	43

4. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN	45
4.1. Geomorfologi Daerah Penelitian	45
4.2. Pemetaan Geologi	46
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
5.1. <i>Tunnel From Inlet 11 +14,5</i>	49
5.1.1 Identifikasi Kelas Batuan pada Tunnel <i>from inlet</i> 11 +14,5	49
5.1.2 <i>Span</i> dan <i>Stand -up Time</i> pada Tunnel <i>from inlet</i> 11 +14,5.....	52
5.1.3 Penentuan Jenis Penyangga pada Tunnel <i>from inlet</i> 11 +14,5.....	53
5.2. <i>Tunnel From Inlet 15+19.09</i>	55
5.2.1 Identifikasi Kelas Batuan pada Tunnel <i>from inlet</i> 15+19.09	55
5.2.2 <i>Span</i> dan <i>Stand -up Time</i> pada Tunnel <i>from inlet</i> 15+19.09.....	58
5.2.3 Penentuan Jenis Penyangga pada Tunnel <i>from inlet</i> 15+19.09.....	59
5.3. <i>Tunnel From Inlet 20 +10</i>	61
5.3.1 Identifikasi Kelas Batuan pada Tunnel <i>from inlet</i> 20 +10	61
5.3.2 <i>Span</i> dan <i>Stand -up Time</i> pada Tunnel <i>from inlet</i> 20 +10.....	64
5.3.3 Penentuan Jenis Penyangga pada Tunnel <i>from inlet</i> 20 +10.....	65
5.4. <i>Tunnel From Outlet 24 + 18,2</i>	67
5.4.1 Identifikasi Kelas Batuan pada Tunnel <i>from outlet</i> 24 + 18,2	67
5.4.2 <i>Span</i> dan <i>Stand -up Time</i> pada Tunnel <i>from outlet</i> 24 + 18,2.....	70
5.4.3 Penentuan Jenis Penyangga pada Tunnel <i>from outlet</i> 24 + 18,2.....	71
5.5. <i>Tunnel From Outlet 28 + 0,5</i>	73
5.5.1 Identifikasi Kelas Batuan pada Tunnel <i>from outlet</i> 28 + 0,5	73
5.5.2 <i>Span</i> dan <i>Stand -up Time</i> pada Tunnel <i>from outlet</i> 28 + 0,5.....	76
5.5.3 Penentuan Jenis Penyangga pada Tunnel <i>from outlet</i> 28 + 0,5.....	77
6. PENUTUP	80
6.1 Kesimpulan	80
2.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	87

LAMPIRAN

Deskripsi Petrografi

Peta Geologi Teknik dan Sebaran Litologi Area *Main Dam* dan *Tunnel*

Peta Stasiun Pengambilan Data

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Area Pembangunan Bendungan.....	4
Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Bendungan Pamukkulu	11
Gambar 2.2 Korelasi Satuan Peta Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai	11
Gambar 2.3 <i>Blasting Pattern on Medium or Hard Rock</i> (Denver)	14
Gambar 2.4 <i>Circular Section</i>	16
Gambar 2.5 <i>D – Section</i>	17
Gambar 2.6 <i>Horse Shoe Section</i>	17
Gambar 2.7 <i>Egg Section</i>	18
Gambar 2.8 Kenampakan blok batuan yang memiliki tiga <i>joint set</i>	21
Gambar 2.9 Prosedur Pengukuran dan Perhitungan RQD metode <i>Core</i> (Deere, 1988).....	25
Gambar 2.10 Spasi Ketidakmenerusan	26
Gambar 2.11 Grafik Hubungan Antara <i>Span</i> , <i>Stand-up Time</i> , dan RMR (Bieniawski, 1989).....	33
Gambar 2.12 Pemasangan <i>Rockbolt</i> Tegak Lurus Arah Perlapisan Batuan	35
Gambar 2.13 <i>Grouted Rockbolt</i>	36
Gambar 2.14 <i>Wiremesh</i> yang terpasang dengan <i>Rockbolt</i>	37
Gambar 2.15 <i>Steelrib</i>	37
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	44
Gambar 4.1 Kenampakan satuan bentangalam perbukitan denudasional dengan arah foto N 210° E.....	46
Gambar 4.2 Singkapan Basalt pada lokasi proyek pembangunan bendungan Pamukkulu.....	47

Gambar 4.3	Singkapan Breksi pada lokasi proyek pembangunan bendungan Pamukkulu	47
Gambar 5.1	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Tunnel From Inlet 11 +14,5</i>	49
Gambar 5.2	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Tunnel From Inlet 15 +19,09</i>	55
Gambar 5.3	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Tunnel From Inlet 20 + 10</i>	61
Gambar 5.4	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Tunnel From Outlet 24 +18,2</i>	67
Gambar 5.5	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Tunnel From Outlet 28 +0,5</i>	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Parameter Uji Kuat Tekan	24
Tabel 2.2	Kualitas Batuan Berdasarkan RQD (Deere, 1963	26
Tabel 2.3	Jarak antar diskontinu (Bieniawski, 1989)	27
Tabel 2.4	Penggolongan dan Pembobotan Kekasaran (Bieniawski, 1976)....	27
Tabel 2.5	Pemerian pemisahan Kekar (ISRM, 1978).....	28
Tabel 2.6	Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978)	28
Tabel 2.7	Pemerian Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM, 1978).....	29
Tabel 2.8	Material pengisi Diskontinuitas.....	29
Tabel 2.9	Pembobotan Nilai kondisi air tanah.....	30
Tabel 2.10	Pengaruh kekar terhadap sumbu terowongan.....	31
Tabel 2.11	Pengaruh orientasi kekar (Bieniawski, 1989).....	31
Tabel 2.12	Nilai RMR dari semua perhitungan semua parameter.....	31
Tabel 2.13	Hubungan kelas batuan dan panjang <i>span</i> dalam Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)	32
Tabel 2.14	Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989).....	38
Tabel 5.1	Data pengamatan dan pengukuran langsung pada <i>Tunnel From Inlet 11 +14,5</i>	51
Tabel 5.2	Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada <i>tunnel from inlet 11 +14,5</i>	52
Tabel 5.3	Rekomendasi lebar <i>span</i> dan <i>stand-up time</i> berdasarkan kelas batuan oleh Bieniawski 1989.....	53
Tabel 5.4	Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR TNL 11 +14,5 (Bieniawski, 1989).....	54

Tabel 5.5	Data pengamatan dan pengukuran langsung pada <i>Tunnel From Inlet 15 +19,09</i>	57
Tabel 5.6	Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada <i>tunnel from inlet 15 +19,09</i>	58
Tabel 5.7	Rekomendasi lebar <i>span</i> dan <i>stand-up time</i> berdasarkan kelas batuan oleh Bieniawski 1989.....	59
Tabel 5.8	Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR TNL 15 +19,09 (Bieniawski, 1989).....	60
Tabel 5.9	Data pengamatan dan pengukuran langsung pada <i>Tunnel From Inlet 20 + 10</i>	63
Tabel 5.10	Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada <i>tunnel from inlet 20 + 10</i>	64
Tabel 5.11	Rekomendasi lebar <i>span</i> dan <i>stand-up time</i> berdasarkan kelas batuan oleh Bieniawski 1989.....	65
Tabel 5.12	Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR TNL 20 + 10 (Bieniawski, 1989).....	66
Tabel 5.13	Data pengamatan dan pengukuran langsung pada <i>Tunnel From Outlet 24 +18,2</i>	69
Tabel 5.14	Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada <i>tunnel from outlet 24 +18,2</i>	70
Tabel 5.15	Rekomendasi lebar <i>span</i> dan <i>stand-up time</i> berdasarkan kelas batuan oleh Bieniawski 1989.....	71
Tabel 5.16	Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR TNL 24 +18,2 (Bieniawski, 1989).....	72
Tabel 5.17	Data pengamatan dan pengukuran langsung pada <i>Tunnel From Outlet 28 + 0,5</i>	75

Tabel 5.18	Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada <i>tunnel from outlet</i> 28 + 0,5.....	76
Tabel 5.19	Rekomendasi lebar <i>span</i> dan <i>stand-up time</i> berdasarkan kelas batuan oleh Bieniawski 1989.....	77
Tabel 5.20	Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR TNL 28 + 0,5 (Bieniawski, 1989).....	78
Tabel 5.21	Hasil Pengolahan Data.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam proses pembangunan tubuh bendungan terdapat rekayasa keteknikan yang dikenal sebagai saluran pengelak. Sistem pengelak berfungsi untuk mengalihkan aliran air selama pelaksanaan konstruksi bendungan berlangsung. Sistem pengelak terdiri dari dua bangunan utama, yaitu saluran atau terowongan pengelak (*diversion tunnel*) dan bendungan pengelak (*cofferdam*). Saluran pengelak berfungsi sebagai penyalur debit banjir dalam periode pelaksanaan konstruksi tubuh bendungan, sedangkan *cofferdam* berfungsi sebagai penghalang sementara yang kedap air sehingga daerah pada pekerjaan konstruksi bendungan menjadi kering.. Sistem pengelak ini digunakan untuk mengalihkan aliran sungai utama selama pekerjaan konstruksi bendungan dilaksanakan. Aliran sungai dialihkan menuju conduit dengan pembuatan bendungan pengelak (*cofferdam*) sehingga pekerjaan konstruksi bendungan utama dan bangunan pelimpah dapat dilaksanakan.

Saluran pengelak pada penelitian termasuk ke dalam tipe terowongan pengelak. Terowongan pengelak dibangun memotong sebuah bukit sehingga pengkajian karakteristik geologi teknik dan kualitas massa batuan perlu dilakukan.

Keadaan geologi dalam sebuah terowongan memiliki ketidakstabilan yang dapat menimbulkan bidang atau zona lemah dan tidak didukung oleh jenis batuan yang memiliki banyak struktur joint, ditambah lagi munculnya rembesan air yang masuk pada terowongan sehingga faktor keamanan menjadi yang sangat perlu

diperhatikan. Dalam perancangan sebuah galian bawah tanah diharapkan mampu memberikan penilaian massa batuan secara cermat agar dapat mengidentifikasi parameter terpenting yang mempengaruhi perilaku dari setiap massa batuan (Hoek and Brown, 1980).

Dari uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang kualitas massa batuan pada terowongan pengelak sebagai acuan dalam menentukan sistem perkuatan massa batuan pada terowongan pengelak bendungan Pamukkulu. Penelitian ini menggunakan metode pemetaan geologi teknik atau pemetaan muka terowongan dengan klasifikasi *Rock Mass Rating* untuk mengetahui kelas batuan dan menentukan sistem penyangga yang dibutuhkan yang kemudian digunakan sebagai data untuk menghasilkan kesimpulan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Bagaimana kualitas batuan yang dijumpai pada Terowongan Pengelak Bendungan Pamukkulu berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) yang digunakan.
2. Bagaimana sistem penyangga terowongan yang direkomendasikan berdasarkan kualitas batuan dari sistem klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR).

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini bisa lebih fokus, maka penulis membatasi penelitian terhadap beberapa variable, yakni data deskripsi karakteristik geologi di muka terowongan, klasifikasi *Rock Mass Rating* dan penentuan sistem penyangga terowongan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kualitas batuan pada lokasi penelitian berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* (RMR).
2. Untuk merekomendasikan sistem penyangga terowongan berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* (RMR).

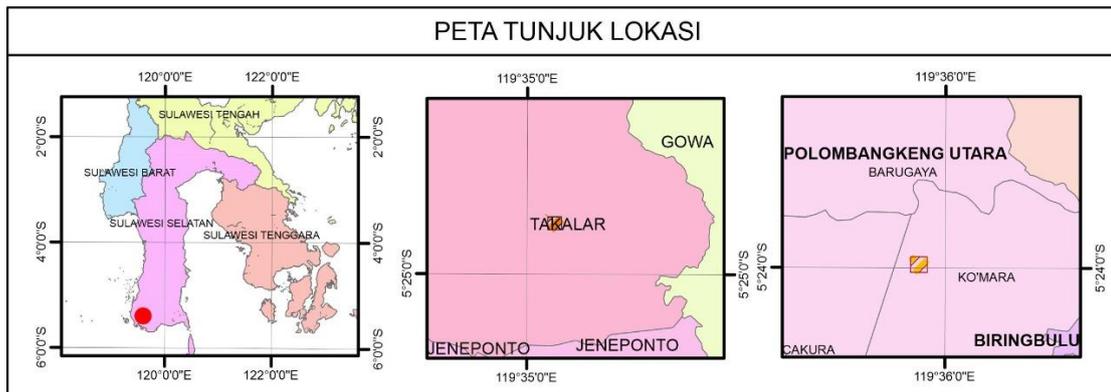
1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan gambaran terhadap *owner* yaitu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan penyedia jasa yaitu kontraktor pelaksana mengenai kualitas massa batuan dan kestabilan terowongan terkait dengan sistem penyangga pada bukaan terowongan dengan mempertimbangkan kondisi geologi Teknik.

1.6 Letak, Waktu dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Kawasan DAS Pappa, yaitu terletak di Desa Kale' Komara, Kecamatan Bungaya dan Kecamatan Polongbangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis Proyek Pembangunan Bendungan Pamukkulu terletak pada $5^{\circ} 24' 03''$ LS dan $119^{\circ} 35' 33''$ BT.

Jarak daerah penelitian dari kota Makassar Sekitar 50 km ke arah selatan. Daerah penelitian dapat dijangkau dengan menggunakan kendaraan roda dua dan roda empat dengan waktu tempuh sekitar 60 menit dari Kampus Teknik Universitas Hasanuddin.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Area Pembangunan Bendungan

1.7 Kondisi Daerah Penelitian

Daerah penelitian yang berada disusun oleh topografi perbukitan dengan susunan litologi batuan vulkanik dan lelehan basalt yang memiliki kondisi batuan yang lapuk – segar. Daerah penelitian dilalui oleh DAS Sungai Pappa, yang berarah relatif Timur – Barat dan bermuara di Topejawa, Kecamatan Mangarabombang, Kabupaten takalar. Penentuan Lokasi bendungan didasarkan pada tipe Bendungan Pamukkulu yaitu Tipe Urugan Batu Membran Beton, yang memerlukan batuan sebagai material konstruksi dominan dan utama. Pembangunan Bendungan Pamukkulu bertujuan untuk mengairi daerah irigasi (Pamukkulu, Dingau, dan Jennemarung kiri) seluas 6.150 Ha, Pengendalian Banjir DAS Pappa, pariwisata dan perikanan. Area genangan yang pada daerah penelitian menggenangi beberapa daerah di Takalar dan Gowa, sehingga dilakukan perelokasian terhadap ± 251 KK di Takalar dan ± 8 KK di Gowa.

1.8 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut :

- a. Format *mapping* geotek
- b. Peta Topografi
- c. Laptop
- d. *Head Lamp*
- e. Kompas Geologi
- f. Palu Geologi
- g. Global Positioning System (GPS)
- h. Pita Meter
- i. Buku catatan lapangan
- j. Kamera foto
- k. Alat tulis menulis
- l. Clipboard
- m. Ransel lapangan
- n. Busur dan penggaris
- o. Roll meter
- p. Perlengkapan pribadi

1.9 Peneliti Terdahulu

Beberapa ahli geologi yang pernah mengadakan penelitian di daerah ini yang sifatnya regional diantaranya adalah sebagai berikut : .

- a) Rab Sukamto (1982), penelitian pulau Sulawesi dan pulau-pulau yang ada disekitarnya dan membagi kedalam tiga mandala geologi.
- b) Rab Sukamto (1982), penelitian perkembangan tektonik sulawesi dan sekitarnya yang merupakan sintesis yang berdasarkan tektonik lempeng.
- c) Darwis. ES, dkk, (1991) : *“Laporan Penyelidikan Geologi Terpadu Pengembangan Wilayah Daerah Kab. Takalar Provinsi Sulsel”*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai geomorfologi, stratigrafi, dan struktur regional. Pembahasan tersebut berdasarkan Rab Sukanto dan Supritana S. (1982) yang melakukan pemetaan geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai dengan skala 1: 250.000.

2.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Pada sebelah barat lembar ini merupakan daratan rendah yang sebagian besar terdiri dari daerah rawa dan daerah pasang-surut. Beberapa sungai besar membentuk daerah banjir di dataran ini. Bagian timurnya terdapat buki bukit terisolir yang tersusun oleh batuan klastika gunungapi berumur Miosen dan Pliosen. Pesisir baratdaya ditempati oleh morfologi berbukit memanjang rendah dengan arah umum kirar-kira baratlaut-tenggara. Pantainya berliku - liku membentuk beberapa teluk, yang mudah dibedakan dari pantai di daerah lain pada lembar ini. Daerah ini disusun oleh batuan karbonat dari Formasi Tonasa.

Bentuk morfologi yang paling menonjol pada lembar peta adalah kerucut gunung api Lompobatang (2.786 m). Kerucut gunung api Lompobatang tersusun oleh batuan vulkanik berumur plistosen. Dua buah kerucut tererosi yang lebih sempit sebarannya terdapat disebelah barat dan utara gunung Lompobatang. Sebelah barat terdapat Gunung Baturape (1.124m) dan sebelah utara terdapat gunung Cindako (1.500 m). Di sebelah utara Gunung Baturape merupakan daerah

berbukit, kasar di bagian timur dan halus di bagian barat. Di bagian timur dengan ketinggian kurang dari 50 m dan hampir merupakan dataran. Bentuk ini disusun oleh batuan klastika Gunung Api berumur Miosen (Tpbv).

2.1.2 Stratigrafi Regional

Berdasarkan peta geologi regional, daerah bendungan Pamukkulu dan sekitarnya tersusun oleh 5 satuan, dari satuan tertua hingga satuan batuan termuda.

Temt **Formasi Tonasa** : Formasi Tonasa tersusun oleh batugamping, sebagian berlapis dan sebagian pejal, dengan sisipan napal yang tersebar luas di pesisir Selatan dan Barat Daya daerah rencana Bendungan Pamukkulu. Pelapisan baik setebal 10 - 30 cm, terlipat lemah dengan kemiringan lapisan rata-rata 25°. Formasi Tonasa terbentuk pada kala Eosen Akhir - Miosen Tengah di lingkungan laut dangkal dengan ketebalan sekitar 1.750 m.

Tmc **Formasi Camba** : Formasi Camba tersusun oleh batuan sedimen terutama terdiri dari; batu pasir tufaan berlapis dengan tufa, batupasir, batulanau, batulempung, dan interkalasi batuan vulkanik (breksi vulkanik) dan dengan napal, batu gamping, dan batu bara, yang menyebar luas di dataran daerah Utara dan Selatan wilayah proyek. Batuan dasar tersebut dibentuk pada kala Miosen Tengah sampai Pliosen. Bersifat masif dan dengan permeabilitas yang rendah, dan mempunyai ketebalan 4.250 m. Batuan ini menutup Formasi Tonasa secara selaras.

Tpbv **Batuan Gunungapi Baturape - Cindako** : Satuan batuan ini tersusun oleh batuan vulkanik bersifat basal, tersebar didaerah hulu bendung Parnukkulu. Secara stratigrafi batuan ini berumur Pliosen menindih secara selaras

Formasi Camba. Sebagian besar satuan batuan ini terdiri dari batuan piroklastik yang terendapkan di lingkungan air laut, yaitu breksi vulkanik, tufa lapili, dan diskontinuitas lava basal, kadang-kadang berselingan dengan lapisan tipis batupasir, dengan ketebalan formasi mencapai 1.250 m. Batuan Gunungapi Baturape-Cindako umumnya bersifat keras dan masif pada kondisi lapuk ringan atau segar. Sebagian besar kekar-kekarnya tertutup dan permeabilitasnya rendah. Penyebaran Batuan Gunungapi Baturape-Cindako umumnya membentuk perbukitan tinggi yang terjal, dan lava basal yang terlampar secara meluas. Kekar tiang dan kekar lembar berkembang pada saat pembekuan lava dan permeabilitasnya menjadi tinggi. Dalam hubungan ini, bagian dari permukaan pengendapan yang tersisa sebagai dataran tinggi, yang dikelilingi oleh tebing tinggi.

Batuan Retas Basal : Beberapa retas basaltik teramati mengintrusi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako di daerah tengah Sungai Pamukulu disekitar lokasi proyek bendungan yang diusulkan dan lokasi Quarry. Lebar retas maksimum mencapai 3 m dan mereka mengarah barat laut-tenggara. Basal tersebut bersifat keras, kekar berkembang tetapi mempunyai permeabilitas rendah karena kondisi kekar yang tertutup rapat. Retas basaltik, terdapat di dataran daerah hilir Sungai Pamukulu adalah merupakan retas skala besar mengintrusi Formasi Camba. Bersifat keras dan berkekar, lebarnya mencapai 10 hingga 30 m dan panjangnya lebih dari 1 km dengan arah timur-barat atau barat laut barat - tenggara timur.

Qac Endapan Alluvial Pantai Dan Rawa : Alluvial Pantai dan Rawa merupakan satuan endapan Kuartar dengan material berukuran lempung, lumpur,

pasir, kerikil, dan batugamping koral, terbentuk di lingkungan sungai, rawa dan pantai yang terhampar meluas sepanjang dataran pantai dari Kota Makassar di utara hingga ke Kota Takalar di selatan.

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Akhir dari pada kegiatan gunungapi Eosen Awal diikuti oleh tektonik yang menyebabkan terjadinya pemulaan terban Walanae. yang kemudian menjadi cekungan di mana Formasi Walanae terbentuk. Peristiwa ini kemungkinan besar berlangsung sejak awal Miosen Tengah dan menurun perlahan selama sedimentasi sampai kala Pliosen.

Menurunnya cekungan Walanae dibarengi oleh kegiatan gunungapi yang terjadi secara luas di sebelah baratnya dan mungkin secara lokal di sebelah timurnya. Peristiwa ini terjadi selama Miosen Tengah sampai Pliosen. Semula gunungapinya terjadi di bawah muka laut, dan kemungkinan sebagian muncul di permukaan pada kala Pliosen. Kegiatan gunungapi selama Miosen menghasilkan Formasi Camba, dan selama Pliosen menghasilkan Batuan Gunungapi Baturape-Cindako. Kelompok retas basal berbentuk radier memusat ke G. Cindako dan G. Baturape, terjadinya mungkin berhubungan dengan gerakan mengkubah pada kala Pliosen.

2.2 Terowongan

Terowongan merupakan konstruksi bawah tanah yang tidak mengganggu konstruksi yang ada di permukaan tanah. Konstruksi bawah tanah dapat dikatakan sebagai terowongan apabila memiliki panjang dua kali lipat atau lebih dari diameter terowongan atau lebih besar dari jumlah antara diameter terowongan dan tinggi terowongan (Varshney, 2001).

2.2.1 Terowongan Pengelak (*Diversion Tunnel*)

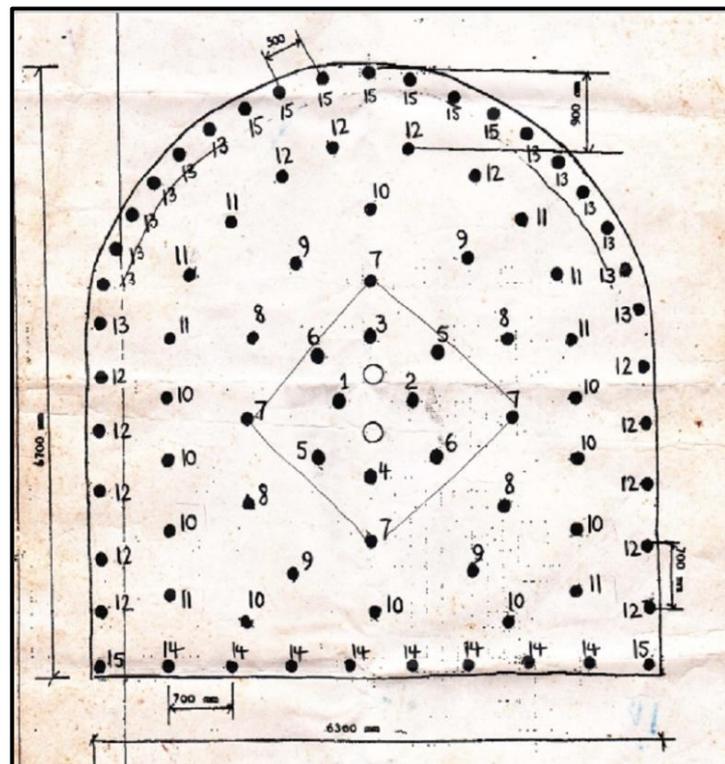
Terowongan pengelak adalah suatu konstruksi yang dibangun untuk mengelakan aliran air sungai agar memudahkan dalam proses pengerjaan bangunan utama yang dalam hal ini tubuh bendungan. Sistem pembuatan terowongan sebagai pengelak dalam pembuatan bendungan memiliki beberapa resiko, salah satunya adalah masalah kestabilan terowongan. Terowongan yang tidak stabil biasanya disebabkan oleh adanya gangguan-gangguan atau proses geologi, seperti pelapukan batuan, patahan pada batuan, retakan batuan, perlipatan batuan maupun tekanan dan aliran air tanah yang berlebihan serta tegangan yang berada disekitar terowongan. Dalam rangka itulah, maka diperlukan menganalisis kestabilan batuan sepanjang terowongan dengan memperhatikan jenis batuan, kondisi batuan, dan struktur geologi sehingga bisa ditentukan metode penggalian dan sistem penyanggaan terowongan pengelak untuk menjadikan terowongan pengelak menjadi stabil dan aman bagi para pekerja dan peralatan.

2.2.2 Metode Ekskavasi Terowongan

Dalam ekskavasi terowongan terdapat dua metode ekskavasi, yakni *Drill and Blast Method* atau metode ekskavasi konvensional dan *Tunnel Boring Machine*. Metode *Drill and Blast* menggunakan peledak untuk melakukan ekskavasi terowongan, sedangkan metode TBM menggunakan mesin bor yang sangat besar. Umumnya dalam ekskavasi terowongan menggunakan metode *Drill and Blast* dikarenakan lebih murah dibanding metode TBM. Namun apabila lokasi terowongan yang akan di bangun berada di bawah pemukiman ataupun jalan dengan kedalaman yang dangkal, metode *Drill and Blast* tidak dapat digunakan karena efek dari ledakan dikhawatirkan dapat merusak konstruksi yang ada di permukaan tanah (Bieniawski, 1989).

2.2.2.1 *Drill and Blast*

Metode *Drill and Blast* ini merupakan metode ekskavasi terowongan dengan cara meledakkan muka terowongan. Pada pelaksanaannya metode ini memiliki siklus yang berkelanjutan, yakni *Drilling, Charging, Blasting, Mucking, scaling, Supporting* dan *Surveying*. Siklus kegiatan diawali dengan *Drilling* atau pengeboran muka terowongan untuk membuat lubang sebagai wadah dimasukkannya bahan peledak. Penentuan titik-titik pengeboran didasarkan pada kekerasan batuan (Varshney, 2001).



Gambar 2.3 *Blasting Pattern on Medium or Hard Rock (Denver)*

Setelah kegiatan *Drilling* selesai, selanjutnya akan dilakukan *Charging* atau pengisian lubang dengan bahan peledak. Apabila bahan semua lubang telah terisi oleh bahan peledak, dan detonator telah terhubung, *Blaster* akan memberikan aba – aba bahwa akan dilaksanakan *Blasting* atau peledakan. Kegiatan selanjutnya setelah peledakan adalah *Mucking* atau pengangkutan material setelah peledakan dilaksanakan. Sebelum *Mucking* dilaksanakan, harus dilakukan pengecekan kadar CO₂ dan gas beracun yang dihasilkan dari bahan peledak setelah peledakan.

Apabila setelah pengecekan dilakukan dan kadar gas di dalam tidak memungkinkan untuk dilakukan *Mucking*, maka akan diberikan waktu hingga kondisi gas di dalam tidak melebihi batas aman. Setelah *Mucking* selesai dilaksanakan selanjutnya dilakukan *scaling*. Setelah peledakan, tidak

seluruh batuan jatuh tetapi ada pula batuan yang masih tergantung di atap terowongan, dinding terowongan dan di muka terowongan. Batuan yang menggantung tersebut belum terjatuh atau terlepas, namun setelah beberapa waktu dan getaran yang diakibatkan oleh kegiatan ekskavasi selanjutnya, batuan tersebut akan jatuh dan membahayakan pekerja serta mengganggu proses ekskavasi selanjutnya. Setelah itu, akan dilakukan *Survey* dan *Mapping*.

Kegiatan *Survey* dilakukan untuk mengetahui panjang terowongan terkini setelah dilakukan peledakan. Selain itu, pembuatan pola terowongan dilakukan pada saat *Survey*, umumnya menggunakan alat *Total Station* agar mendapatkan arah terowongan yang akurat dan sesuai dengan rancangan. Bersamaan dengan kegiatan *Survey* dilakukan pula pemetaan muka terowongan oleh ahli geologi. Hal ini dilakukan guna mengetahui kondisi fisik dari batuan untuk merekomendasikan jenis penyangga yang tepat. Kegiatan selanjutnya adalah pemasangan penyangga sesuai dengan rekomendasi ahli geologi. Setelah seluruh siklus ekskavasi mulai dari *Drilling* hingga *Supporting* terlaksana, selanjutnya kegiatan akan kembali ke *Drilling* dan seterusnya hingga panjang terowongan sesuai dengan rancangan (Bieniawski, 1989).

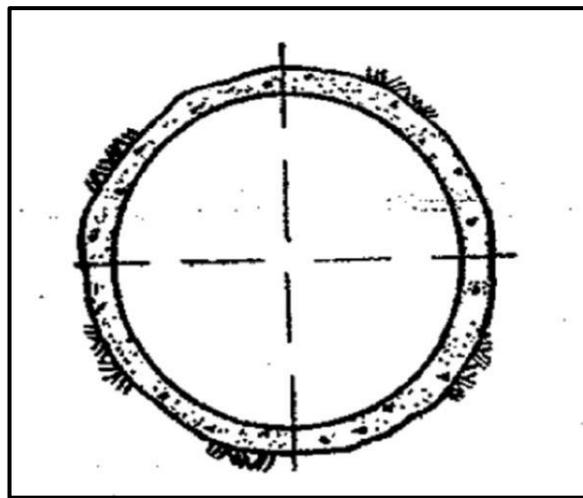
2.2.3 Bentuk Ekskavasi Terowongan

Pemilihan bentuk ekskavasi terowongan dapat ditentukan sesuai dengan peruntukan atau kegunaan terowongan dan mengurangi pengaruh pembebanan dari permukaan tanah. Terowongan dengan bentuk persegi atau persegi Panjang merupakan bentuk terowongan tradisional, sedangkan terowongan dengan bentuk melingkar merupakan bentuk terowongan modern. Penentuan bentuk terowongan

didasarkan pada aspek geologi dan hidrolik (Varshney, 2001). Berikut merupakan bentuk ekskavasi terowongan yang umum digunakan

a. Bentuk Lingkaran

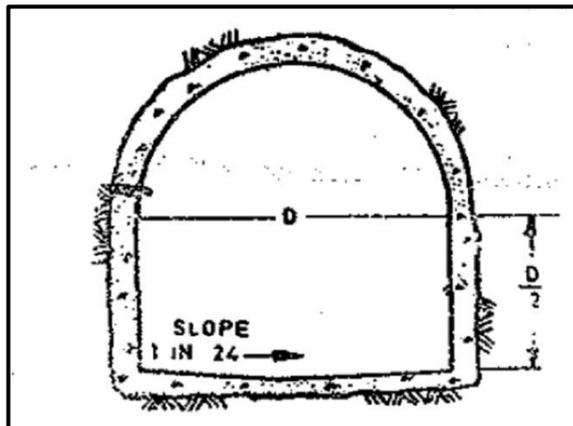
Penggunaan terowongan dengan bentuk lingkaran adalah untuk wilayah dengan batuan yang lemah atau daerah dengan kontrol struktur geologi yang tinggi (Varshney, 2001)



Gambar 2.4 *Circular Section* (Varshney, 2001)

b. Bentuk 'D'

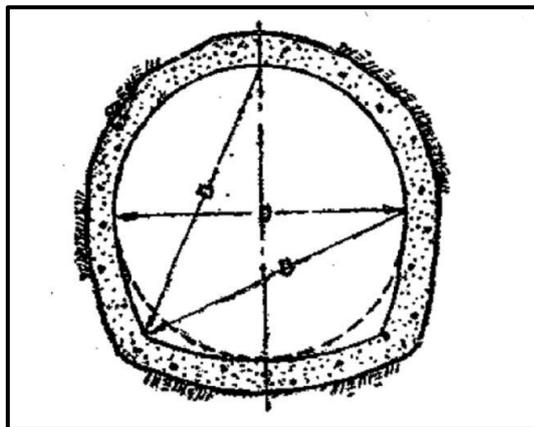
Terowongan berbentuk 'D' digunakan pada wilayah yang tersusun oleh batuan yang memiliki kekerasan tinggi, antara lain batuan beku, batuan metamorf atau batuan sedimen dengan kualitas yang baik (Varshney, 2001)



Gambar 2.5 *D – Section* (Varshney, 2001)

c. Bentuk Tapal Kuda

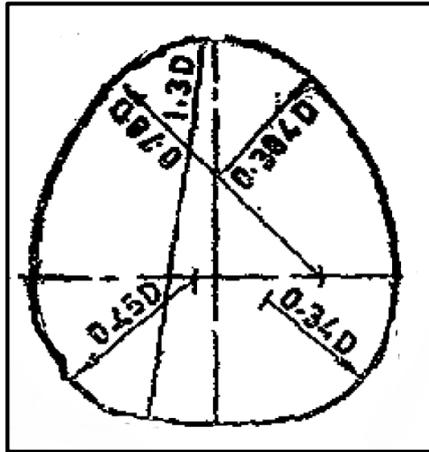
Terowongan dengan bentuk tapal kuda merupakan gabungan antara terowongan dengan bentuk 'D' dan lingkaran. Terowongan dengan bentuk ini lebih stabil terhadap tekanan dari sisi luar terowongan (Varshney, 2001).



Gambar 2.6 *Horse Shoe Section* (Varshney, 2001)

d. Bentuk Telur

Apabila batuan pada suatu lokasi sangat lemah, berlapis, terdapat jatuhnya batuan akibat sudut geser dalam batuan, maka terowongan dengan bentuk telur dapat digunakan (Varshney, 2001).



Gambar 2.7 Egg Section (Varshney, 2001)

2.3 Konsep Massa Batuan, Struktur Batuan dan Bidang Diskontinu

2.3.1 Massa Batuan

Massa batuan merupakan volume batuan yang terdiri dari material batuan berupa mineral, tekstur dan komposisi dan juga terdiri dari bidang-bidang diskontinu, membentuk suatu material dan saling berhubungan dengan semua elemen sebagai suatu kesatuan. Kekuatan massa batuan sangat dipengaruhi oleh frekuensi bidang-bidang diskontinu yang terbentuk, oleh sebab itu massa batuan akan mempunyai kekuatan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan batuan utuh. Menurut Hoek & Bray (1981), massa batuan adalah batuan insitu yang dijadikan diskontinu oleh sistem struktur seperti *joint*, sesar dan bidang perlapisan.

2.3.2 Struktur Batuan

Struktur batuan adalah gambaran tentang kenampakan atau keadaan batuan, termasuk di dalamnya bentuk atau kedudukannya. Berdasarkan keterjadiannya, struktur batuan dapat dikelompokkan menjadi :

- a) Struktur primer, yaitu struktur yang terjadi pada saat proses pembentukan batuan. Misalnya : bidang perlapisan silang (*cross bedding*) pada batuan sedimen atau kekar akibat pendinginan (*cooling joint*) pada batuan beku.
- b) Struktur skunder, yaitu struktur yang terjadi kemudian setelah batuan terbentuk akibat adanya proses deformasi atau tektonik. Misalnya lipatan (*fold*), patahan (*fault*) dan kekar (*joint*). Bidang diskontinu dapat ditemukan pada struktur primer maupun struktur skunder.

2.3.3 Bidang Diskontinu

Secara umum, bidang diskontinu merupakan bidang yang memisahkan massa batuan menjadi bagian yang terpisah. Menurut Priest (1993), pengertian bidang Diskontinu adalah setiap bidang lemah yang terjadi pada bagian yang memiliki kuat tarik paling lemah dalam batuan. Menurut Gabrielsen (1990), keterjadian bidang Diskontinu tidak terlepas dari masalah perubahan *stress* (tegangan), temperatur, *strain* (regangan), mineralisasi dan rekristalisasi yang terjadi pada massa batuan dalam waktu yang panjang.

Beberapa jenis bidang diskontinu yang digolongkan berdasarkan ukuran dan komposisinya adalah sebagai berikut :

1. *Fault* (patahan)

Fault adalah bidang diskontinu yang secara jelas memperlihatkan tanda-tanda bidang tersebut mengalami pergerakan. Tanda-tanda tersebut diantaranya adalah adanya zona hancuran maupun *slickensided* atau jejak yang terdapat di sepanjang bidang *fault*. *Fault* dikenal sebagai *weakness zone* karena akan memberikan pengaruh pada kestabilan massa batuan dalam wilayah yang luas.

2. *Joint* (kekar)

Bidang Diskontinu yang telah pecah namun tidak mengalami pergerakan atau walaupun bergerak, pergerakan tersebut sangat sedikit sehingga bisa diabaikan. *Joint* merupakan jenis bidang Diskontinu yang paling sering hadir dalam batuan.

3. *Bedding* (bidang pelapisan)

Bedding terdapat pada permukaan batuan yang mengalami perubahan ukuran dan orientasi butir dari batuan tersebut serta perubahan mineralogi yang terjadi selama proses pembentukan batuan sedimen.

4. *Fracture* dan *crack*

Fracture diartikan sebagai bidang Diskontinu yang pecah tidak paralel dengan struktur lain yang tampak pada batuan. Beberapa *rock mechanic engineer* menggunakan istilah *fracture* dan *crack* untuk menjelaskan pecahan atau *crack* yang terjadi pada saat pengujian batuan, peledakan dan untuk menjelaskan mekanisme pecahnya batuan *brittle*.

5. *Fissure*

Ada banyak ahli yang menjelaskan pengertian *fissure*, salah satunya adalah menurut Fookes dan Denness (1969) yang mendefinisikan *fissure* sebagai bidang diskontinu yang membagi suatu material utuh tanpa memisahkannya menjadi bagian terpisah.

Adanya bidang diskontinu pada batuan akan mempengaruhi banyak hal yang berhubungan dengan aktifitas penambangan. Diantaranya adalah pengaruh terhadap kekuatan dari batuan. Semakin banyak bidang diskontinu yang

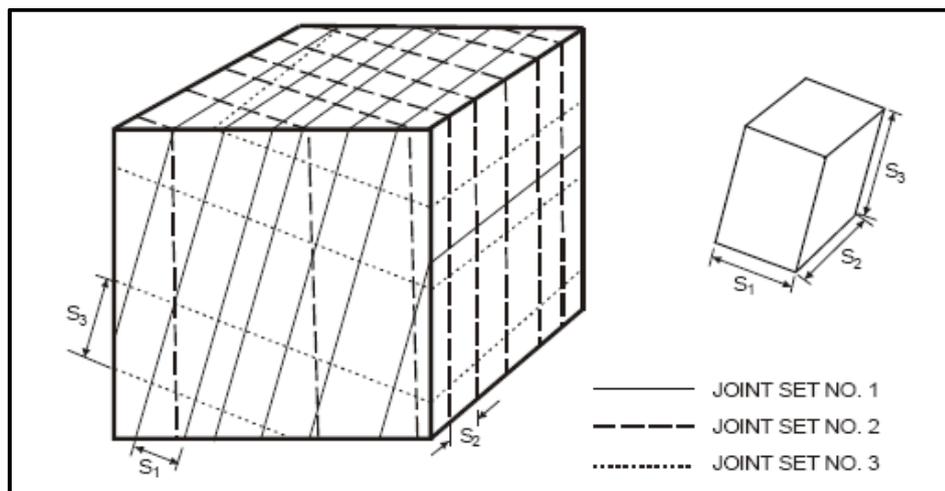
memotong massa batuan, semakin kecil pula kekuatan dari batuan tersebut. Bidang-bidang Diskontinu yang ada pada massa batuan inilah yang memiliki potensi untuk menyebabkan terjadinya *failure* pada batuan yang diekskavasi.

Dari semua jenis bidang diskontinu yang ada, *joint* adalah yang paling sering menjadi pertimbangan. Hal ini disebabkan *joint* merupakan bidang diskontinu yang telah pecah dan terbuka, sehingga bidang *joint* merupakan bidang yang lemah. Selain itu *joint* sering bahkan hampir selalu ada pada suatu massa batuan. Oleh sebab itu, dalam pertimbangan geoteknik, seringkali *joint* lebih menjadi perhatian dibandingkan jenis bidang diskontinu lainnya.

Dalam analisis bidang Diskontinu terdapat beberapa istilah yang biasa dipakai secara umum. Berikut ini akan dibahas beberapa poin yang berkaitan dengan bidang diskontinu.

1. *Joint Set*

Joint Set adalah sejumlah *joint* yang memiliki orientasi yang relatif sama, atau sekelompok *joint* yang paralel.



Gambar 2.8 Kenampakan blok batuan yang memiliki tiga *joint set*

2. Spasi Bidang Diskontinu (*Joint Spacing*)

Menurut Priest (1993) ada tiga macam spasi bidang diskontinu. Ketiga macam *joint spacing* tersebut adalah spasi total (*total spacing*), spasi set (*set/joint set spacing*) dan spasi set normal (*normal set spacing*).

- a) *Total spacing* adalah jarak antar bidang diskontinu dalam suatu lubang bor atau *sampling line* pada pengamatan di permukaan.
- b) *Joint set spacing* adalah jarak antara bidang diskontinu dalam satu *joint set*. Jarak diukur di sepanjang lubang bor atau *sampling line* pada pengamatan di permukaan.
- c) *Normal set spacing* hampir sama dengan *set spacing*, bedanya pada *normal set spacing*, jarak yang diukur adalah jarak tegak lurus antara satu bidang diskontinu dengan bidang diskontinu lainnya yang ada dalam satu *joint set*.

3. Orientasi Bidang Diskontinu (*Joint Orientation*)

Orientasi bidang diskontinu yaitu kedudukan dari bidang diskontinu yang meliputi arah dan kemiringan bidang. Arah dan kemiringan dari bidang diskontinu biasanya dinyatakan dalam (*Strike/Dip*) atau (*Dip Direction/Dip*).

2.4 Klasifikasi Massa Batuan dengan *Rock Mass Rating*

Klasifikasi massa batuan digunakan sebagai parameter penting dalam perancangan model terowongan. Namun, klasifikasi massa batuan tidak digunakan sebagai pengganti untuk rancangan rekayasa, tetapi harus digunakan bersama-sama dengan metode lainnya, seperti metode analitik dan metode

observasi. Hal tersebut agar dapat diperoleh hasil rancangan yang komprehensif yang sesuai dengan tujuan rancangan dan kondisi geologi di lapangan.

Menurut Bieniawski (1989), pada hakekatnya suatu klasifikasi massa batuan dibuat untuk memenuhi hal-hal berikut ini, yaitu :

- Mengelompokkan massa batuan tertentu pada kelompok yang mempunyai perilaku yang sama, tetapi memiliki kelas dengan kualitas yang berbeda.
- Lebih mudah dalam memahami karakteristik dari masing - masing kelompok massa batuan
- Melengkapi cara dalam berkomunikasi tentang klasifikasi massa batuan dengan para ilmuwan terutama para ahli geoteknik dan geologi.
- Menghasilkan data kuantitatif sebagai pedoman dalam melakukan rancangan terowongan.

Kriteria analisis kestabilan terowongan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik hubungan antara RMR (*Rock Mass Rating*) terhadap *span design*. Penerapannya, massa batuan dibagi menjadi seksi- seksi, dan masing-masing seksi diklasifikasikan secara terpisah. Dalam beberapa kasus, perubahan signifikan dalam spasi atau karakteristik bidang diskontinyu dalam batuan yang sama mungkin menyebabkan massa batuan dibagi juga menjadi seksi-seksi yang lebih kecil berdasarkan struktur geologinya. Di bawah ini terdapat 6 (enam) parameter RMR dalam menentukan klasifikasi massa batuan yang dihitung berdasarkan bobot kondisinya.

2.4.1 Kuat Tekan Batuan Utuh (*Strength of Intact Rock Material*)

Pengujian kuat tekan batuan (*uniaxial compressive strength / USC*) dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan batuan utuh. Harga tegangan pada saat contoh batuan hancur didefinisikan sebagai kuat tekan uniaksial batuan.

Bieniawski (1989) mengemukakan penentuan kuat tekan batuan utuh dapat dilakukan dengan menggunakan pukulan palu geologi dan/atau pisau lipat pada batuan, kemudian dibandingkan dengan nilai kuat tekan batuan secara teori dari hasil uji sifat mekanik PLI (*point load index*) dan/atau UCS. Hal tersebut merupakan suatu pendekatan penentuan kuat tekan batuan utuh selain dengan menggunakan UCS *test* di laboratorium. Tabel bobot parameter uji lapangan kuat tekan batuan dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 2.1 Nilai Parameter Uji Kuat Tekan Batuan

No	Teori Uji Laboratorium		Uji Lapangan	Bobot
	PLI (MPa)	UCS (MPa)		
1	>10	>250	Batuan tidak dapat ditempa dengan palu	15
2	4 – 10	100 – 250	Dibutuhkan berkali-kali pukulan palu	12
3	2 – 4	50 – 100	Dibutuhkan lebih dari satu pukulan palu	7
4	1 – 2	25 – 50	Dapat dipecahkan oleh satu pukulan palu	4
5	-	5 – 25	Dapat dipatahkan oleh ujung palu	2
6	-	1 – 5	Dapat dikupas oleh pisau lipat	1
7	-	<1	Dapat dipatahkan oleh ibu jari tangan	0

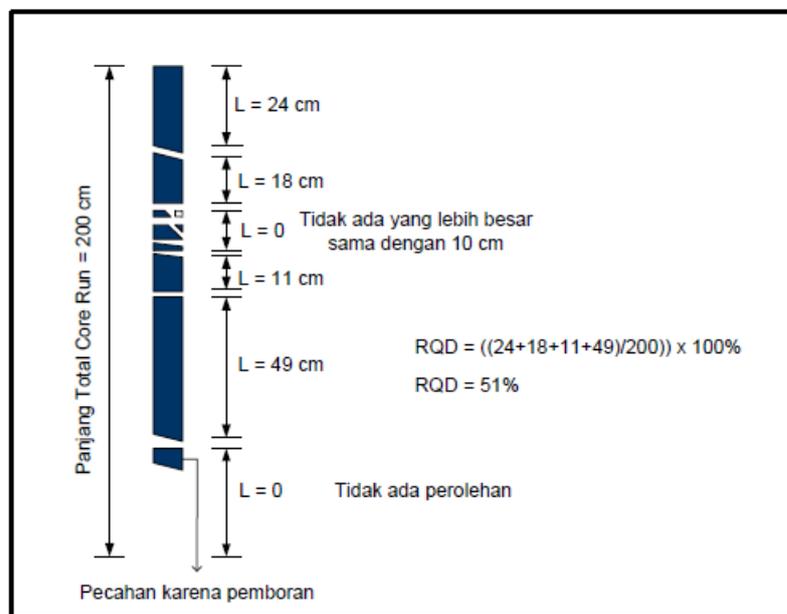
2.4.2 Rock Quality Designation (RQD)

Pada tahun 1963, Deere mengusulkan penggunaan istilah *Rock Quality Designation* (RQD) untuk memperoleh perkiraan secara kuantitatif terhadap massa batuan berdasar hasil inti pengeboran. RQD sendiri merupakan presentase

dari bagian inti yang utuh dengan panjang lebih dari 10 cm terhadap total kedalaman lubang bor (*core run*).

$$RQD = \frac{\sum \text{panjang setiap core} > 10 \text{ cm}}{\text{total panjang core run}} \times 100\%$$

Deere (1988) memberikan ilustrasi untuk mengukur dan menghitung RQD. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.9 Prosedur Pengukuran dan Perhitungan RQD metode *Core* (Deere, 1988)

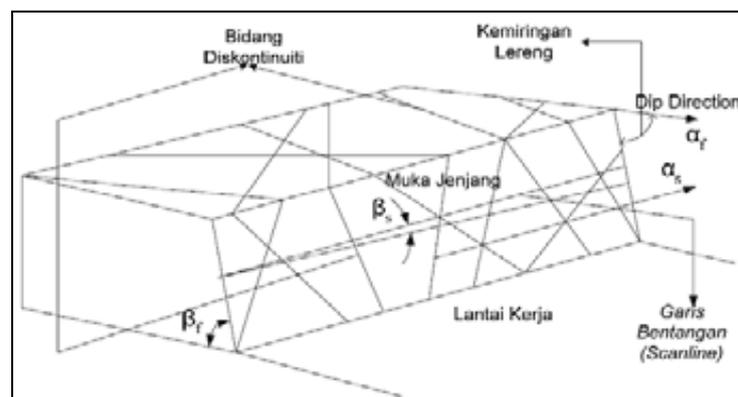
Jarak antar diskontinu merupakan parameter penting dalam menilai struktur massa batuan. Semakin banyak kehadiran diskontinu akan berakibat mengurangi kekuatan massa batuan. Kualitas batuan berdasarkan pada nilai RQD ini telah diusulkan oleh Deere (1963) dengan klasifikasi sebagai berikut;

Tabel 2.2 Kualitas Batuan Berdasarkan RQD (Deere, 1963)

RQD (%)	Kualitas Batuan	Rating
<25	Sangat jelek (<i>very poor</i>)	20
25-50	Jelek (<i>poor</i>)	15
50-75	Sedang (<i>fair</i>)	10
75-90	Baik (<i>good</i>)	8
90-100	Sangat Baik (<i>excellent</i>)	5

2.4.3 Spasi Ketidakmenerusan (*Spacing of Discontinuities*)

Rekahan (kekar) cenderung akan memperburuk kekuatannya, karena sebagai salah satu bidang diskontinyu (ketidakmenerusan). Karakteristik mekanik massa batuan bergantung pada jarak serta orientasinya. Spasi bidang diskontinyu adalah jarak tegak lurus antara bidang-bidang diskontinyuitas yang berarah sama dan berurutan sepanjang garis pengukuran, berikut ilustrasi gambarnya.

**Gambar 2.10** Spasi Ketidakmenerusan

Pada perhitungan nilai RMR, parameter jarak antar (spasi) diskontinu diberi bobot berdasarkan nilai spasi diskontinu seperti tertera pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Jarak antar diskontinu (Bieniawski, 1989)

Deskripsi	Spasi Diskontinuitas (m)	Rating
Sangat lebar (<i>very wide</i>)	>2	20
Lebar (<i>wide</i>)	0.6-2	15
Sedang (<i>moderate</i>)	0.2-0.6	10
Rapat (<i>close</i>)	0.006-0.2	8
Sangat rapat (<i>very close</i>)	<0.006	5

2.4.4 Kondisi Bidang Disontinuitas

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang Diskontinu. Parameter dis-kontinyu tersebut antara lain:

a) Kekasaran

Kekasaran atau *Roughness* permukaan bidang diskontinu merupakan parameter yang penting untuk menentukan kondisi bidang diskontinu. Suatu permukaan yang kasar akan dapat mencegah terjadinya pergeseran antara kedua permukaan bidang diskontinu.

Tabel 2.4 Penggolongan dan Pembobotan Kekasaran (Bieniawski, 1976)

Kekerasan permukaan	Deskripsi	Pembobotan
Sangat kasar (<i>very rough</i>)	Apabila diraba permukaan sangat tidak rata, membentuk punggung dengan sudut terhadap bidang datar mendekati vertikal	6
Kasar (<i>rough</i>)	Bergelombang, permukaan tidak rata, butiran pada permukaan tidak jelas, permukaan kekar terasa kasar	5
Sedikit kasar (<i>slightly rough</i>)	Butiran permukaan terlihat jelas, dapat dibedakan dan dapat dirasakan apabila diraba	3
Halus (<i>smooth</i>)	Permukaan rata dan terasa halus bila diraba	1
Licin berlapis (<i>slikensided</i>)	Permukaan terlihat mengkilap	0

b) Bukaan

Merupakan jarak antara kedua kekar permukaan bidang diskontinu. Jarak ini biasanya diisi oleh material lainnya (*filling material*) atau biasa juga diisi oleh air. Semakin besar jarak ini, semakin lemah bidang diskontinu tersebut.

Tabel 2.5 Pemerian pemisahan Kekar (ISRM, 1978)

Jarak Diskontinuitas	-	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
Nilai	6	5	4	1	0

c) Kemenerusan

Kemenerusan atau *continuity* dari sebuah bidang diskontinu atau panjang dari suatu bidang diskontinu. Kemenerusan bidang diskontinu dapat diukur secara kasar dengan mengamati panjang kemenerusan bidang pada batuan yang tersingkap. Deskripsi mengenai kemenerusan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.6 Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978)

Deskripsi	Panjang Diskontinuitas	Nilai
<i>Persisten</i> sangat rendah	<1 m	6
<i>Persisten</i> rendah	1 - 3 m	4
<i>Persisten</i> sedang	3 – 10 m	2
<i>Persisten</i> tinggi	10 – 20 m	1
<i>Persisten</i> sangat tinggi	>20 m	0

d) Pelapukan

Seberapa besar tingkat pelapukan yang dialami oleh batuan dapat ditentukan dengan melihat perubahan warna pada butir batuan dengan bantuan alat palu geologi. Deskripsi tingkat pelapukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.7 Pemerian Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM, 1978)

Istilah	Keterangan	Nilai
Segar	Tidak ada perubahan warna pada batuan atau sedikit perubahan pada permukaan Diskontinuitas	6
Sedikit Lapuk	Terjadi perubahan warna pada butiran batuan dan permukaan Diskontinuitas. Batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau hanya mengalami perubahan warna tetap ada.	5
Pelapukan menengah	Kurang dari setengah pada material batuan terdekomposisi atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau mengalami perubahan warna masih tetap ada	3
Pelapukan tinggi	Lebih dari setengah pada material batuan terdekomposisi atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau mengalami perubahan warna masih tetap ada	1
Pelapukan lengkap	Seluruh material batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Struktur massa batuan yang asli masih ada	0

e) Isian

Material pengisi atau *Filling* antara dua permukaan bidang diskontinu mempengaruhi stabilitas bidang diskontinu dikarenakan oleh faktor ketebalannya, konsisten atau tidaknya dan sifat mengembang bila terkena air dan berbutir sangat halus akan menyebabkan bidang diskontinu menjadi lemah.

Tabel 2.8 Material pengisi Diskontinuitas

Material pengisi	Tidak ada	Keras		Lunak	
		<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5 mm
Nilai	6	4	2	2	0

2.4.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah atau debit aliran air tanah akan mempengaruhi kekuatan massa batuan. Oleh sebab itu perlu diperhitungkan dalam klasifikasi massa batuan. Kondisi air tanah ditentukan dengan mengamati atap dan dinding

terowongan secara visual, kemudian dapat dinyatakan dengan keadaan umum seperti kering, lembab, air menetes atau air mengalir.

Tabel 2.9 Pembobotan Nilai kondisi air tanah

Kondisi Umum	Kering (<i>completely dry</i>)	Lembab (<i>damp</i>)	Basah (<i>wet</i>)	Terdapat tetesan air (<i>dripping</i>)	Terdapat aliran air (<i>flowing</i>)
Debit air tiap 10 m panjang terowongan (ltr / menit)	Tidak ada	<10	10-25	25-125	>125
Tekanan air pada Diskontinuitas	0	<0.1	0.1-0.2	0.1-0.2	>0.5
Rating	15	10	7	4	0

2.4.6 Orientasi Bidang Diskontinu terhadap Arah Terowongan

Koreksi RMR dasar selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinu yang ada pada lokasi tersebut. Arah umum bidang diskontinu merupakan kedudukan relatif dari bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan terowongan. Disebut arah yang paling optimum ketika memberikan volume terkecil yang menyebabkan ketidakstabilan terowongan. Orientasi bidang diskontinu dianggap menguntungkan jika berarah tegak lurus terhadap sumbu terowongan dan akan merugikan jika searah sumbu terowongan.

Adapun efek orientasi kekar terhadap sumbu terowongan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.10 Pengaruh kekar terhadap sumbu terowongan

Strike tegak lurus dengan terowongan				Strike searah (Paralel) dengan terowongan		Tidak searah
Searah kemiringan		Berlawanan kemiringan				
Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 0°-20°
sangat baik	baik	Sedang	tidak baik	Sangat tidak baik	sedang	Sedang

Arah umum biasa dinyatakan dengan strike/dip atau dip/dip direction. Kedua nilai ini diperoleh dengan pengukuran menggunakan kompas geologi dan selanjutnya diolah dengan cara manual. Adapun pengaruh nilai arah kekar terhadap beberapa orientasi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.11 Pengaruh orientasi kekar (Bieniawski, 1989)

Jurus dan kemiringan pada kekar		Sangat baik	Baik	sedang	Tidak baik	Sangat tidak baik
Rating	Terowongan	0	-2	-5	-10	-12
	Pondasi	0	-2	-7	-15	-25
	Kemiringan/lereng	0	-2	-25	-50	-60

Dari kalkulasi setiap parameter RMR, maka dapat ditentukan klasifikasi kelas batuan sebagai berikut :

Tabel 2.12 Nilai RMR dari semua perhitungan semua parameter

Nilai	100-80	80-61	60-41	40-21	<20
Kelas	I	II	III	IV	V
Keterangan	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk

Setelah nilai bobot masing – masing parameter diatas diperoleh, maka jumlah keseluruhan bobot tersebut menjadi nilai total RMR. nilai RMR ini dapat

dipergunakan untuk mengetahui kelas dari massa batuan, memperkirakan kohesi dan sudut geser dalam untuk tiap kelas massa batuan seperti terlihat pada.

RMR dapat digunakan sebagai panduan memilih penyangga terowongan. Panduan ini tergantung pada beberapa faktor seperti kedalaman lubang bukaan dari permukaan, ukuran dan bentuk terowongan serta metode penggalian yang dipakai (Bieniawski, 1989).

2.5 *Span Terowongan*

Span terowongan adalah panjang dari lebar bukaan ekskavasi terowongan terowongan. Penentuan *span* menjadi suatu pertimbangan dalam proses perencanaan terowongan karena dapat mempengaruhi rentan waktu ketahanan terowongan setelah dilakukan ekskavasi tanpa pemasangan sistem penyanggaan. Dalam RMR oleh Bieniawski 1989 telah ditentukan perencanaan *span* untuk masing-masing kelas batuan dengan estimasi waktu sebagai berikut :

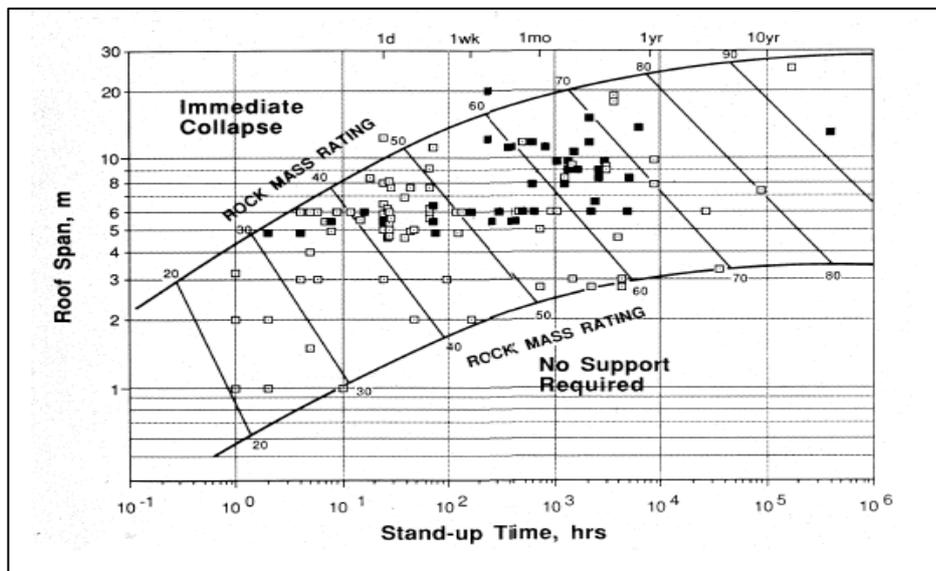
Tabel 2.13 Hubungan kelas batuan dan panjang *span* dalam Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)

Kelas Batuan	Kelas (I) <i>Very Good Rock</i>	Kelas (II) <i>Good Rock</i>	Kelas (III) <i>Fair Rock</i>	Kelas (IV) <i>Poor Rock</i>	Kelas (V) <i>Very Poor Rock</i>
Rata-rata <i>stand-up time</i>	10 tahun untuk <i>span</i> 15 meter	6 bulan untuk <i>span</i> 8 meter	1 minggu untuk <i>span</i> 5 meter	10 jam untuk <i>span</i> 2,5 meter	30 menit untuk <i>span</i> 1 meter

2.6 *Stand-up Time*

Dengan klasifikasi RMR kita dapat menentukan kelas batuan yang dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana kekuatan batuan pada suatu bukaan

terowongan. Dari kelas batuan tersebut, Bieniawski 1989 telah membuat susunan rekomendasi dari sistem penyanggan untuk setiap kelas batuan. Namun sebelum sistem penyanggaan dipasang perlu diketahui rentan waktu ketahanan terowongan setelah dilakukan ekskavasi. Rentan waktu ini disebut dengan *stand-up time* dimana *stand-up time* sangat dipengaruhi oleh nilai massa batuan dalam RMR dan panjang dari *span*. Bieniawski juga mengembangkan pendekatan untuk mengestimasi *stand-up time*, yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.11 Grafik Hubungan Antara *Span*, *Stand-up Time*, dan RMR (Bieniawski, 1989)

2.7 Sistem Penyanggaan berdasarkan Klasifikasi *Rock Mass Rating*

RMR dapat digunakan sebagai panduan memilih sistem penguatan atau penyangga terowongan. Panduan ini tergantung pada beberapa faktor seperti kedalaman terowongan dari permukaan, ukuran dan bentuk terowongan, serta metode penggalian yang dipakai (Bieniawski, 1989). Namun, kedalaman

terowongan tidak akan begitu mempengaruhi, karena pada dasarnya semakin dalam terowongan maka tingkat kestabilannya akan semakin tinggi. Hal tersebut berlaku jika tidak dipengaruhi oleh keberadaan struktur geologi.

2.7.1 Jenis Penyangga

Penentuan jenis penyangga didasarkan pada nilai *Rock Mass Rating* dan analisis struktur geologi (Hoek et al, 1993). Terdapat beberapa jenis penyangga yang umumnya digunakan untuk menyangga terowongan, yakni *Shotcrete*, *Rockbolt*, *Wiremesh* dan *Steelrib*.

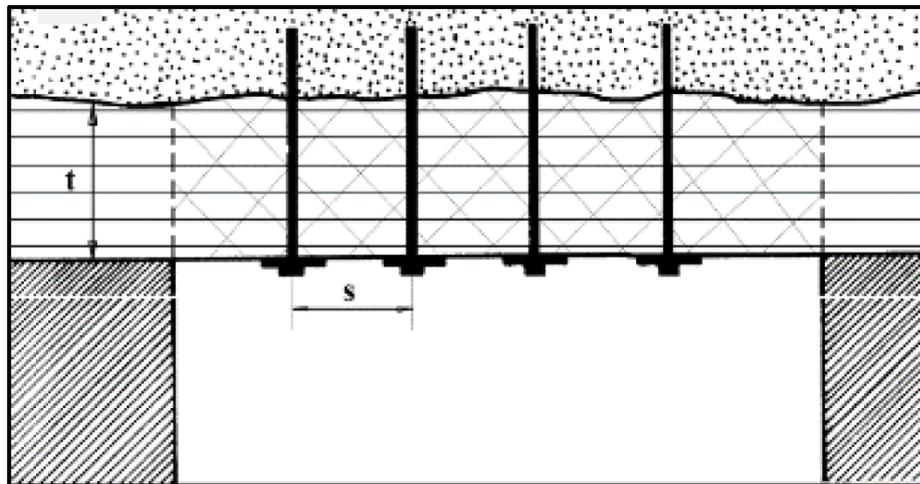
a. *Shotcrete*

Shotcrete atau beton tembak merupakan opsi awal pada tahapan penyanggaan. Hal ini dikarenakan *Shotcrete* memiliki harga yang lebih murah dan waktu pemasangannya lebih singkat dibandingkan penyangga lainnya. *Shotcrete* merupakan campuran antara semen, pasir dan kerikil yang dicampur. Pada umumnya saat pemasangan *Shotcrete* ditambahkan suatu cairan yang dapat membuat *Shotcrete* cepat mengering sehingga tidak mengganggu kegiatan ekskavasi terowongan. (Hoek et al, 1993)

Dalam pengaplikasian *Shotcrete* dapat dilakukan dengan menggunakan alat bernama *Robotic Shotcrete*. Alat ini diaplikasikan menggunakan *remote control*, sehingga pada saat pengaplikasian *Shotcrete* dapat dilakukan dari jarak aman yakni sekitar 1 hingga 1,5 meter. Ketebalan *Shotcrete* harus diperhitungkan sebab semakin tebal *Shotcrete* yang di pasang, maka semakin berat beban diberikan ke tubuh batuan yang akan di *Shotcrete*, sehingga akan memicu runtuh. (Hoek et al, 1993)

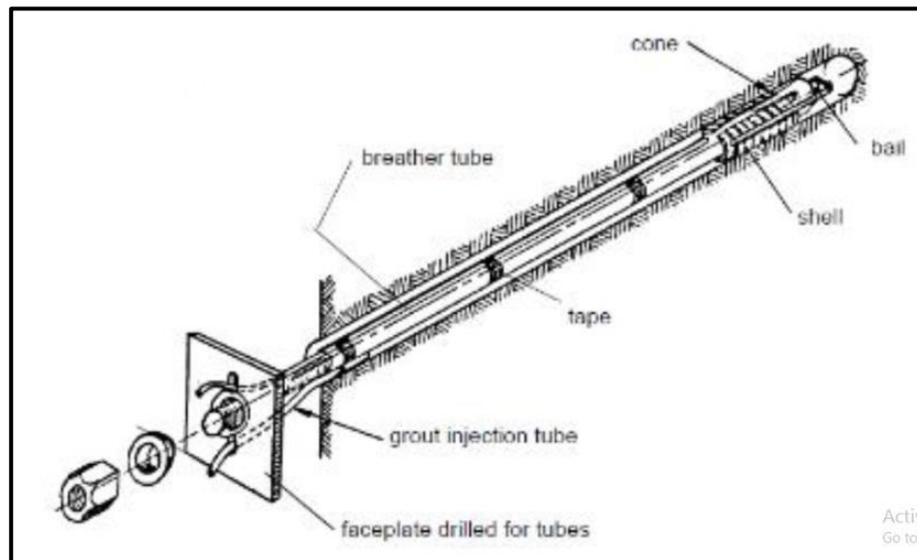
b. *Rockbolt*

Rockbolt adalah besi panjang menyerupai paku namun dengan ukuran yang sangat besar dengan salah satu ujungnya yang berada di permukaan memiliki plat besi berbentuk persegi sedangkan ujung lainnya yang tertanam ke dalam batuan dengan posisi tegak lurus dengan perlapisan batuan. (Hoek et al, 1993)



Gambar 2.12 Pemasangan *Rockbolt* Tegak Lurus Arah Perlapisan Batuan

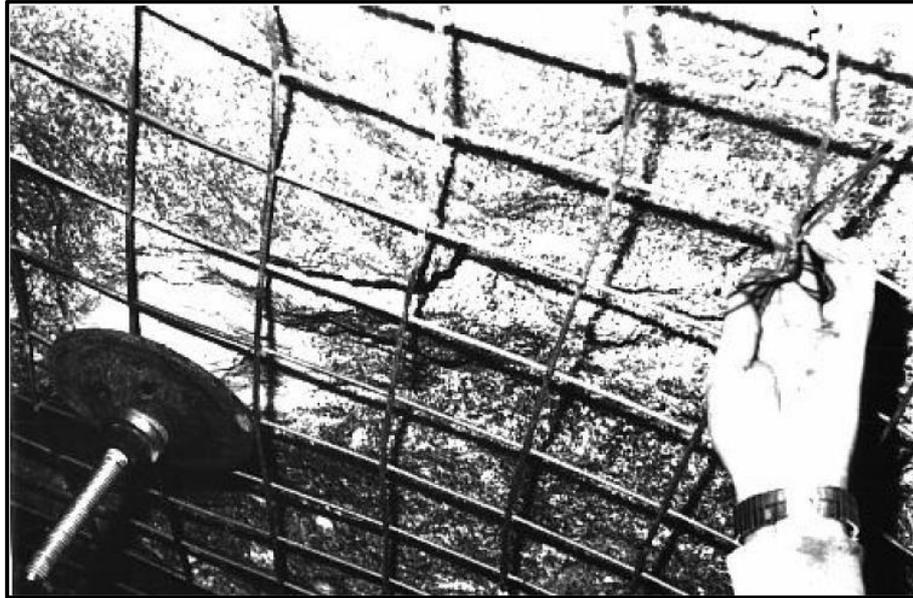
Dengan pemasangan *Rockbolt* tegak lurus dengan arah perlapisan batuan, *Rockbolt* berfungsi untuk menahan tubuh batuan yang tergantung. Dalam pemasangan *Rockbolt*, jarak antar *Rockbolt* harus diperhitungkan agar *Rockbolt* dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Pemasangan *Rockbolt* didasarkan pada kondisi struktur geologi dan model ekskavasi terowongan. Diantara banyaknya jenis *Rockbolt* yang umum digunakan yakni *Grouted Rockbolt*. *Rockbolt* jenis ini dipasang dengan menambahkan semen ke dalam lubang yang akan diisi oleh *Rockbolt*. Hal ini bertujuan untuk menahan *Rockbolt* agar tidak mudah terlepas. (Hoek et al, 1993)



Gambar 2.13 *Grouted Rockbolt*

c. *Wiremesh*

Dalam kondisi batuan yang buruk maka pada lokasi tersebut harus menggunakan *Wiremesh*. *Wiremesh* merupakan rangkaian besi berbentuk jarring yang berguna untuk menahan runtuh batuan. Pada pemasangannya, *Wiremesh* akan dilekatkan pada dinding ataupun atap terowongan menggunakan *Rockbolt*. Setelah *Wiremesh* terpasang, selanjutnya akan dilakukan pemasangan *Shotcrete* untuk lebih menjaga kualitas penyangga pada lokasi yang memiliki kondisi batuan yang buruk. (Hoek et al, 1993)



Gambar 2.14 Wiremesh yang terpasang dengan Rockbolt

d. *Steelrib/Steelsets*

Steelrib merupakan besi yang berbentuk plat besar dan dibentuk menyerupai bentuk ekskavasi terowongan. *Steelrib* digunakan apabila kondisi batuan merupakan kelas terendah atau karena kontrol struktur geologi yang tinggi. *Steelrib* merupakan opsi akhir pada penyanggaan terowongan. (Hoek et al, 1993)



Gambar 2.15 *Steelrib*

2.7.2 Dasar Penentuan Sistem Penyanggaan

Menurut Bieniawski (1989), rekomendasi sistem penyanggaan/penguatan massa batuan (*ground support recommendation/GSR*) dapat menentukan seberapa panjang terowongan yang aman tanpa disangga dengan waktu swasangganya. Selain itu, Bieniewski juga menentukan jenis, diameter, dan panjang dari baut batuan (*rockbolt*), jejaring besi (*steel set*), beton tembak (*shotcrete*), dan beton cor (*concrete*). Tabel 3.5 merupakan GSR berdasarkan kelas massa batumannya.

Tabel 2.14 Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989)

Kelas Massa Batuan	Penggalian	Penyanggaan		
		<i>Rock bolt</i> (D = 20 mm, fully grouted)	<i>Shotcrete</i>	<i>Steel sets</i>
Batuan sangat baik (I) RMR : 81 – 100	<i>Full face</i> , kemajuan 3 m.	Umumnya, tidak diperlukan penyanggaan kecuali <i>spot bolting</i> .		
Batuan baik (II) RMR : 61 – 80	<i>Full face</i> , kemajuan 1 - 1.5 m, penyangga lengkap 20 m dari muka.	Secara lokal, <i>bolt</i> di atap panjang 3 m, spasi 2.5 m, dengan tambahan <i>wire mesh</i> .	50 mm di atap di tempat yang dibutuhkan.	Tidak perlu
Batuan sedang (III) RMR : 41 - 60	<i>Top heading and bench</i> , kemajuan 1.5- 3 m di <i>top heading</i> , penyangga dipasang setiap setelah peledakan, penyangga lengkap 10 m dari muka.	Sistematik <i>bolt</i> panjang 4 m, spasi 1.5 - 2 m di atap dan dinding dengan <i>wire mesh</i> di atap.	50 - 100 mm di atap dan 30 mm di dinding.	Tidak perlu
Batuan buruk (IV) RMR : 21 - 40	<i>Top heading and bench</i> , kemajuan 1 - 1.5 m di <i>top heading</i> , pemasangan penyangga seiring dengan penggalian, 10 m dari muka.	Sistematik <i>bolt</i> panjang 4 - 5 m, spasi 1 - 1.5 m di atap dan dinding dengan <i>wire mesh</i> .	100 - 150 mm di atap dan 100 mm di dinding.	Rangka ringan sampai sedang spasi 1.5 m di tempat yang diperlukan.
Batuan sangat buruk (V) RMR : < 20	<i>Drift</i> berganda dengan kemajuan 0.5 - 1.5 m di <i>top heading</i> , pemasangan penyangga seiring dengan penggalian, <i>shotcrete</i> perlu segera setelah peledakan.	Sistematik <i>bolt</i> panjang 5 - 6 m, spasi 1 - 1.5 m di atap dan dinding dengan <i>wire mesh</i> , <i>bolt invert</i> .	150 - 200 mm di atap, 150 mm di dinding, dan 50 mm di muka.	Rangka berat sampai ringan spasi 0.75 m dengan <i>steel lagging</i> dan <i>forepoling</i> jika perlu, <i>close invert</i> .