

SKRIPSI

ANALISIS KUALITAS BATUAN BERDASARKAN METODE *ROCK MASS RATING (RMR) SYSTEM* PADA *HEADRACE TUNNEL* PT. MALEA ENERGY TANA TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

ULFHA

D611 15 012



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

SKRIPSI

ANALISIS KUALITAS BATUAN BERDASARKAN METODE *ROCK MASS RATING (RMR) SYSTEM* PADA *HEADRACE TUNNEL* PT. MALEA ENERGY TANA TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

ULFHA

D611 15 012



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KUALITAS BATUAN BERDASARKAN METODE *ROCK MASS RATING (RMR) SYSTEM* PADA *HEADRACE TUNNEL* PT. MALEA ENERGY TANA TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

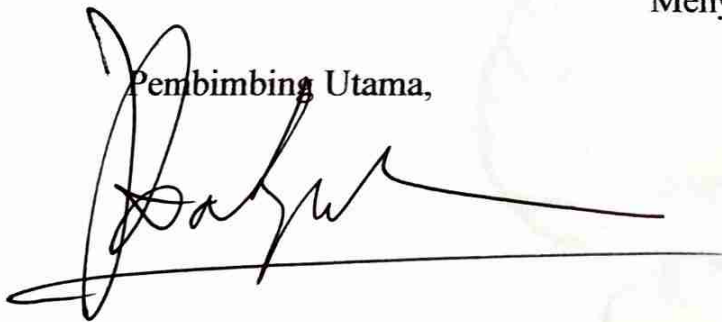
ULFHA

D611 15 012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

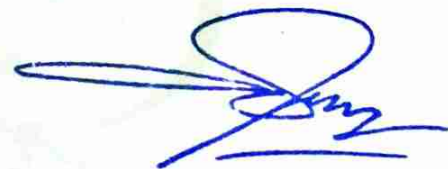
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T
NIP. 19591008 198703 1 001

Pembimbing pendamping,



Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T
NIP. 19690924 199802 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T
NIP. 19690924 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Ulfha
NIM : D611 15 012
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS KUALITAS BATUAN BERDASARKAN METODE ROCK MASS RATING (RMR) SYSTEM PADA HEADRACE TUNNEL PT. MALEA ENERGY TANA TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN

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

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Februari 2021

Yang Menyatakan



Ulfha

ABSTRAK

Keadaan geologi pada suatu lokasi terowongan memiliki ketidakstabilan akibat adanya zona lemah, batuan yang memiliki banyak struktur kekar, dan munculnya rembesan air yang masuk pada terowongan yang membuat faktor keamanan menjadi hal yang sangat penting untuk 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. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis faktor utama penyebab perubahan kelas batuan pada terowongan dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating (RMR) System*. Adapun titik lokasi penelitian ialah pada *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream* pada Chainage 1 + 141,50 m hingga Chainage 1 + 176,80 m.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pemetaan muka terowongan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai pembobotan kelas batuan pada terowongan berdasarkan klasifikasi geomekanik *Rock Mass Rating (RMR) System* oleh Bieniawski (1989).

Berdasarkan hasil analisis dari 11 (sebelas) titik stasiun pengamatan didapatkan 1 (satu) titik stasiun pengamatan yaitu pada Chainage 1 + 159,30 m yang batuannya termasuk dalam kelas atau kualitas buruk (*poor rock*) dan sepuluh titik lainnya termasuk kedalam kelas atau kualitas sedang (*fair rock*). Batuan dengan kelas atau kualitas sedang (*fair rock*) didapatkan pada Chainage 1 + 141,50 m, 1 + 145,00 m, 1 + 147,10 m, 1 + 151,90 m, 1 + 154,20 m, 1 + 163,90 m, 1 + 167,90 m, 1 + 172,60 m, dan 1 + 176,80 m. Adapun, untuk hasil pengaruh karakteristik diskontinu pada arah ekskavasi *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream* juga didapatkan sembilan titik yang masuk dalam kondisi sedang, 9 (sembilan) titik tersebut terdapat pada Chainage 1 + 141,50 m, 1 + 145,00 m, 1 + 147,10 m, 1 + 151,90 m, 1 + 154,20 m, 1 + 163,90 m, 1 + 167,90 m, 1 + 172,60 m, dan 1 + 176,80 m. Kemudian, didapatkan 2 (dua) titik pada Chainage 1 + 159,30 m dan 1 + 170,30 m termasuk dalam kondisi *very unfavorable*.

Katakunci : Terowongan, kualitas batuan, *Rock Mass Rating (RMR) System*

ABSTRACT

The geological condition in a tunnel has instability due to the existence of weak zones, rocks that have many joint structures, and the appearance of water seepage in the tunnel make the safety factor is needed to be noted. In designing an underground excavation, it is hoped that it will be able to provide an accurate assessment of rock mass in order to identify the most important parameters that affect the behavior of each rock mass. The rock class determination in the tunnel was carried out to conduct further research and to analyze the main factors causing the change of rock class in the tunnel using the Rock Mass Rating (RMR) System method. Based on the rock quality analysis, tunnel damage can be identified and early anticipation can be made. The research location point is at Headrace Tunnel Adit 2 Downstream from Chainage 1 + 141,50 m to Chainage 1 + 176,80 m.

The face tunnel mapping method that is carried out aims to obtain weighted rock class values in the tunnel using the Rock Mass Rating (RMR) System by Bieniawski 1989, is a technique of describing the tunnel face wall to determine the rock class and orientation of the discontinuous plane on the tunnel face.

In this study, one point was found, namely on the Chainage 1 + 159.30 m, where the rock was classified as poor rock and ten other points classified into medium quality (fair rock). Rocks of medium class or quality (fair rock) are found at Chainage 1 + 141,50 m, 1 + 145,00 m, 1 + 147,10 m, 1 + 151,90 m, 1 + 154,20 m, 1 + 163,90 m, 1 + 167,90 m, 1 + 172,60 m, and 1 + 176,80 m. Meanwhile, for the results of the effect of discontinuous characteristics on the direction of excavation of the Headrace Tunnel Adit 2 Downstream, nine points were also found that were in moderate condition, 9 (nine) points were found in Chainage 1 + 141,50 m, 1 + 145,00 m, 1 + 147,10 m, 1 + 151,90 m, 1 + 154,20 m, 1 + 163,90 m, 1 + 167,90 m, 1 + 172,60 m, and 1 + 176,80 m. Then also found 2 (two) point on the Chainage 1 + 159.30 m and 1 + 170,30 m which entered in very unfavorable conditions.

Keywords : *Tunnels, Rock Quality, Rock Mass Rating (RMR) System*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang amat mulia dan sempurna, Maha Agung untuk disembah, menguasai jagat raya beserta isinya serta hidup manusia. Kepada-Nyalah kami memohon berkah dan rahmat serta izin-Nya jualah sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Kualitas Batuan Berdasarkan Metode *Rock Mass Rating (RMR) System* pada *Headrace Tunnel* PT. Malea Energy Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan”. Shalawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW yang merupakan rasul Allah yang membawa dan membimbing umat manusia dari dunia yang penuh kegelapan ke dalam dunia yang terang benderang dengan cahaya islam.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun materil dalam penyusunan laporan penelitian tugas akhir, antara lain :

1. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan, nasihat, dan wawasan kepada penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya, HS, S.T., M.T., sebagai ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan wawasan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan laporan tugas akhir ini.

3. Ibu Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T., sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan saran demi perbaikan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T., sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan saran demi perbaikan laporan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, ST., M.T., sebagai dosen Penasihat Akademik yang telah memberikan arahan kepada penulis selama masa studi.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin sebagai pahlawan tanpa tanda jasa yang telah memberikan wawasan baik dalam ilmu dan juga pengalamannya selama masa studi penulis.
7. Bapak dan Ibu Staf Departemen Teknik Geologi yang banyak membantu dalam pengurusan administrasi penulis.
8. Orang tua dan kakak tersayang yang senantiasa mengiringi doa kepada penulis serta dukungan moril maupun materil yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.
9. Kakanda Awaluddin S.T., Ahmad Nur Fajri S.T., Risman Nuary Ariest S.T., Al-fuadh Anshar S.T., Refliansyah S.T., Hamrin Ilhami S.T., Andi Guntur PB. S.T., Gofinda Indra S.T., sebagai tim *Geological Engineering* PT. Malea Energy yang telah membimbing penulis selama menjalani penelitian dilapangan.
10. Seluruh tim dari divisi *Engineering* PT. Malea Energy selaku senior yang senantiasa peduli kepada kami selama dilokasi penelitian.

11. AGATE (Teknik Geologi 2015) terima kasih atas segala suka, duka, semangat dan kekeluargaannya serta telah menjadi ruang diskusi yang sangat baik bagi penulis ☺.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karenanya saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis demi kesempurnaan laporan ini.

Akhir kata penulis mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam laporan tugas akhir ini, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat baik dalam penambahan wawasan serta dapat dijadikan sebagai referensi pembaca dalam kegiatan penelitian selanjutnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 19 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Sampul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian.....	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel.....	xiv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Alat dan Bahan	3
1.6. Letak, Waktu, dan Kesempaan daerah Penelitian	4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian	6
2.1.1. Geomorfologi Regional.....	6
2.1.2. Stratigrafi Regional	7
2.1.3. Struktur Regional	9
2.2. Klasifikasi Massa Batuan	9
2.2.1. <i>Rock Mass Rating (RMR) System</i>	11

BAB III. METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian.....	23
3.2. Tahapan Penelitian	23
3.2.1. Tahap Persiapan	23
3.2.2. Tahap Penelitian Lapangan	25

3.2.3. Tahapan Pengolahan Data dan Analisis Laboratorium	27
3.2.4. Tahapan Interpretasi Data.....	28
3.2.5. Tahanan Penyusunan Laporan	28

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Geologi Daerah Penelitian	30
4.1.1. Geologi Daerah Penelitian.....	30
4.1.2. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	31
4.1.2.1 Satuan Batupasir	31
4.1.2.2 Satuan Serpih.....	32
4.2. Hasil dan Pembahasan	34
4.2.1. <i>Chainage</i> 1 + 141,50 m.....	36
4.2.2. <i>Chainage</i> 1 + 145,00 m.....	41
4.2.3. <i>Chainage</i> 1 + 147,10 m.....	47
4.2.4. <i>Chainage</i> 1 + 151,90 m.....	53
4.2.5. <i>Chainage</i> 1 + 154,20 m.....	59
4.2.6. <i>Chainage</i> 1 + 159,30 m.....	65
4.2.7. <i>Chainage</i> 1 + 163,90 m.....	71
4.2.8. <i>Chainage</i> 1 + 167,90 m.....	77
4.2.9. <i>Chainage</i> 1 + 170,30 m.....	83
4.2.10. <i>Chainage</i> 1 + 172,60 m.....	89
4.2.11. <i>Chainage</i> 1 + 176,80 m.....	95

BAB V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan	103
5.2. Saran	103

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

1. Lembar *Mapping Face Tunnel*
2. Deskripsi Petrografi
3. Data Nilai UCS PT. Malea Energy
5. Peta Tunnel PT. Malea Energy
6. Peta Stasiun

7. Peta Geomorfologi daerah Penelitian

8. Peta Geologi Daerah Penelitian

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Tunjuk Lokasi daerah Penelitian.....	5
Gambar 2.1	Peta Geologi Regional PT. Malea Energy	8
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian.....	29
Gambar 4.1	Satuan bentangalam pegunungan denudasional difoto ke arah N 72° E.....	30
Gambar 4.2	Singkapan Batupasir pada daerah penelitian difoto ke arah N 280°E.....	31
Gambar 4.3	Kenampakan petrografis <i>Arcosic arenite</i> sayatan UL/01/SST.	32
Gambar 4.4	Singkapan Serpih (A) berselingan dengan Batupasir (B) pada daerah penelitian difoto ke arah N 80°E	33
Gambar 4.5	Kenampakan petrografis <i>Arcosic arenite</i> sayatan UL/02/SH ..	33
Gambar 4.6	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 141,50 m.....	36
Gambar 4.7	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 145,00 m.....	41
Gambar 4.8	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 147,10 m.....	47
Gambar 4.9	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 151,90 m.....	53
Gambar 4.10	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 154,20 m.....	59

Gambar 4.11	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 159,30 m.....	65
Gambar 4.12	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 163,90 m.....	71
Gambar 4.13	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 167,90 m.....	77
Gambar 4.14	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 170,30 m.....	83
Gambar 4.15	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 172,60 m.....	89
Gambar 4.16	Kenampakan <i>face, crown, left wall, dan right wall</i> pada <i>Chainage</i> 1 + 176,80 m.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Sistem <i>Rock Mass Rating</i> (Bieniawski, 1989).....	14
Tabel 2.2	Pembobotan kekuatan material batuan utuh (Bieniawski,1989)	15
Tabel 2.3	Kualitas Batuan Berdasarkan RQD (Deere, 1963)	16
Tabel 2.4	Jarak antar diskontinuitas	17
Tabel 2.5	Penggolongan dan Pembobotan Kekasaran (Bieniawski, 1976)	18
Tabel 2.6	Pemerian pemisahan Kekar (ISRM, 1978).....	18
Tabel 2.7	Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978)	19
Tabel 2.8	Pemerian Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM, 1978).....	19
Tabel 2.9	Material pengisi diskontinuitas	20
Tabel 2.10	Pembobotan Nilai kondisi air tanah	20
Tabel 2.11	Pengaruh kekar terhadap ekskavasi terowongan	21
Tabel 2.12	Pengaruh orientasi kekar	22
Tabel 2.13	Nilai RMR dari semua perhitungan semua parameter	22
Tabel 4.1	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 141,50 m	39
Tabel 4.2	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 141,50 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	40
Tabel 4.3	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 145,00 m	45
Tabel 4.4	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 145,00 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	46

Tabel 4.5	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 147,10 m	51
Tabel 4.6	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 147,10 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	52
Tabel 4.7	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 151,90 m	57
Tabel 4.8	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 151,90 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	58
Tabel 4.9	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 154,20 m	63
Tabel 4.10	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 154,20 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	64
Tabel 4.11	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 159,30 m	69
Tabel 4.12	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 159,30 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	70
Tabel 4.13	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 163,90 m	75

Tabel 4.14	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 163,90 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989.....	76
Tabel 4.15	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 167,90 m	81
Tabel 4.16	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 167,90 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	82
Tabel 4.17	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 170,30 m	87
Tabel 4.18	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 170,30 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	88
Tabel 4.19	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 172,60 m	93
Tabel 4.20	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 172,60 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	94
Tabel 4.21	Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinuitas terhadap bukaan terowongan pada <i>Chainage</i> 1 + 176,80 m	99
Tabel 4.22	Penentuan kelas batuan pada <i>Chainage</i> 1 + 176,80 m menggunakan klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> oleh Bieniawski, 1989	100
Tabel 4.23	Rekapitulasi data Mapping Headrace Tunnel Adit 2 Downstream <i>Chainage</i> 1 + 141.50 – 1 + 176,80 m.....	102

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Malea Energy Hydropower melakukan pembangunan proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berlokasi di Lembang/Desa Buakayu, Kecamatan Bonggakaradeng, Kabupaten Tana Toraja dengan tujuan proyek PLTA tersebut akan mengelola air Sungai Sa'dang untuk dijadikan energi listrik untuk warga Tana Toraja dengan membuat terowongan yang ditujukan sebagai aliran air untuk menggerakkan turbin PLTA dengan besar kapasitas 2 x 45 MW dan 3 x 75 MW. Dengan itu, dilakukannya pembangunan terowongan dengan panjang \pm 11 km dari Sandabilik ke Buakayu dengan lebar bukaan terowongan 6,5 meter dan tinggi 7,5 m. Salah satu hal yang penting dalam pembuatan terowongan (tembusan di bawah permukaan tanah atau gunung) ialah menganalisis kualitas batuan (keadaan geologi) pada terowongan tersebut.

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).

Dilatarbelakangi hal tersebut, penulis melakukan penelitian sebagai salah satu syarat kelulusan Program Strata I Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di PLTA Tana Toraja yang membahas tentang penentuan kelas batuan pada terowongan untuk melakukan penelitian lebih lanjut serta menganalisis faktor utama penyebab perubahan kualitas batuan yang akan dijadikan *tunnel*. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode *Rock Mass Rating (RMR) System* untuk mengetahui kualitas batuan yang akan dijadikan *tunnel*. Berdasarkan analisis kualitas batuan tersebut, maka kerusakan terowongan dapat diketahui dan dapat dilakukan antisipasi awal.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Bagaimana kualitas batuan yang dijumpai pada *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream* Chainage 1+141,50 – 1+176,80 m berdasarkan klasifikasi geomekanik *Rock Mass Rating (RMR) System* yang digunakan.
2. Bagaimana pengaruh karakteristik diskontinu pada arah ekskavasi *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream* Chainage 1+141,50 – 1+176,80 m.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui kualitas batuan yang dijumpai pada *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream* Chainage 1+141,50 – 1+176,80 m.
2. Menentukan pengaruh karakteristik diskontinu pada arah ekskavasi *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream* Chainage 1+141,50 – 1+176,80 m.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini bisa lebih fokus, maka penulis membatasi penelitian terhadap beberapa variabel, yakni pada data kualitas batuan yang dijumpai pada *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream Chainage 1+141,50 – 1+176,80 m* berdasarkan klasifikasi geomekanik *Rock Mass Rating (RMR) System* yang digunakan serta pengaruh karakteristik diskontinu pada arah ekskavasi *Headrace Tunnel Adit 2 Downstream Chainage 1+141,50 – 1+176,80 m*.

1.5. Alat dan Bahan

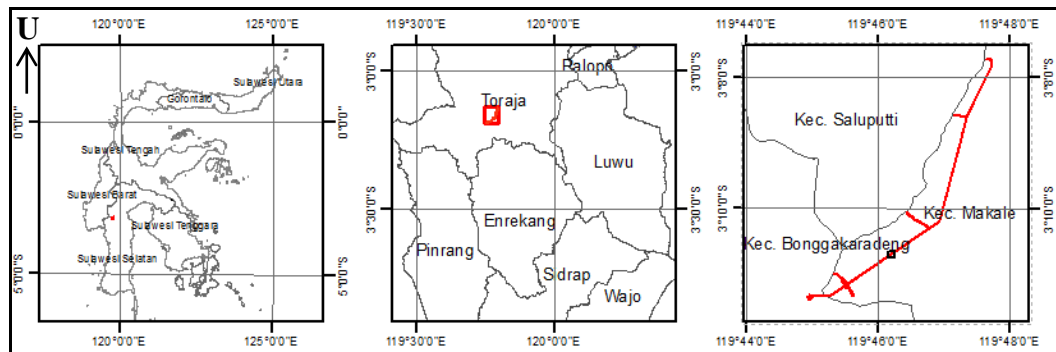
Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian di lapangan ialah sebagai berikut :

1. GPS (*Global Positioning System*)
2. Peta topografi
3. *Head Lamp*
4. Kompas
5. Palu Geologi
6. Format *mapping* geotek
7. Buku lapangan
8. Alat tulis menulis
9. Kantong sampel
10. Kamera digital
11. Roll Meter
12. *Clipboard*

13. Busur dan Mistar
14. Perlengkapan pribadi

1.6. Letak, Waktu, dan Kesampaian daerah Penelitian

Secara administratif, daerah penelitian termasuk dalam wilayah Desa Lembang Randan Batu, Kecamatan Makale, Kabupaten Tana toraja, Provinsi Sulawesi Selatan, dan secara astronomis terletak pada : $03^{\circ}07',00''$ LS – $03^{\circ}11'10''$ LS (Lintang Selatan) dan $119^{\circ}44'55''$ BT - $119^{\circ}47'55''$ BT (Bujur Timur). Daerah ini terpetakan dalam Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 50.000 Lembar Majene dan Palopo Bagian Barat dan Watampone Bagian Barat Sulawesi (2012 – 64) terbitan Badan Kordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal) edisi 1 tahun 1991. Lokasi pengambilan data dilakukan pada Headrace Tunnel Adit 2 Downstream Chainage 1+141,50 m – 1+176,80 m. Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 2 bulan, dimulai dari bulan Juni hingga Agustus tahun 2019. Daerah penelitian dengan jauh ± 320 km ini dapat ditempuh dengan menggunakan transportasi darat selama ± 8 jam dari Kota Makassar. Dari Kota Makassar mengarah ke Utara menuju Kota Pare-pare sejauh ± 153 km, kemudian mengarah ke Timurlaut dari Kota Pare-pare ke Kabupaten Sidenreng Rappang sejauh ± 66 km. Dari Kabupaten Sidenreng Rappang mengarah ke Utara melewati Kabupaten Enrekang hingga ke Kecamatan Makale Kabupaten Tana Toraja (daerah penelitian) yang dapat ditempuh sejauh ± 120 km.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi daerah Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian

2.1.1. Geomorfologi Regional

Daerah penelitian merupakan salah satu daerah paling utara dari provinsi Sulawesi Selatan menurut Van Bemmelen (1946) daerah Tana Toraja ini termasuk lengan Selatan Sulawesi Selatan yang secara fisiografi terbagi dua bagian yaitu lengan Selatan bagian Utara dan lengan Selatan bagian Selatan. Lengan Selatan bagian Utara meliputi daerah poros Tenggara laut yaitu Palopo sampai ke pantai Barat muara Sungai Karama dan Cekungan Tempe pada sisi yang lain, kemudian dilanjutkan dengan proses Tenggara – Barat laut dari muara sungai Cenrana melalui Danau Tempe sampai muara Sungai Sa'dang (Djuri, dkk 1998).

Pada umumnya daerah Tana Toraja adalah berupa perbukitan, pegunungan dan hanya sebagian kecil yang merupakan pedataran dan lembah sempit. Daerah Tana Toraja berada pada ketinggian sekitar 600 – 2.600 meter dari muka laut. Letak topografi daerah ini di kontrol oleh jenis batuan, struktur geologi dan proses geologi muda seperti erosi dan pelapukan. Daerah perbukitan dan pegunungan di kontrol oleh batuan yang kompak dan resisten dan topografi karst yang penyebarannya sempit mengikuti kontak sesar. Pada perbukitan yang disusun batuan sedimen piroklastik, tidak begitu terjal dan relatif tumpul akibat proses eksogen aktif berupa erosi yang bekerja cukup tinggi (Djuri, dkk 1998).

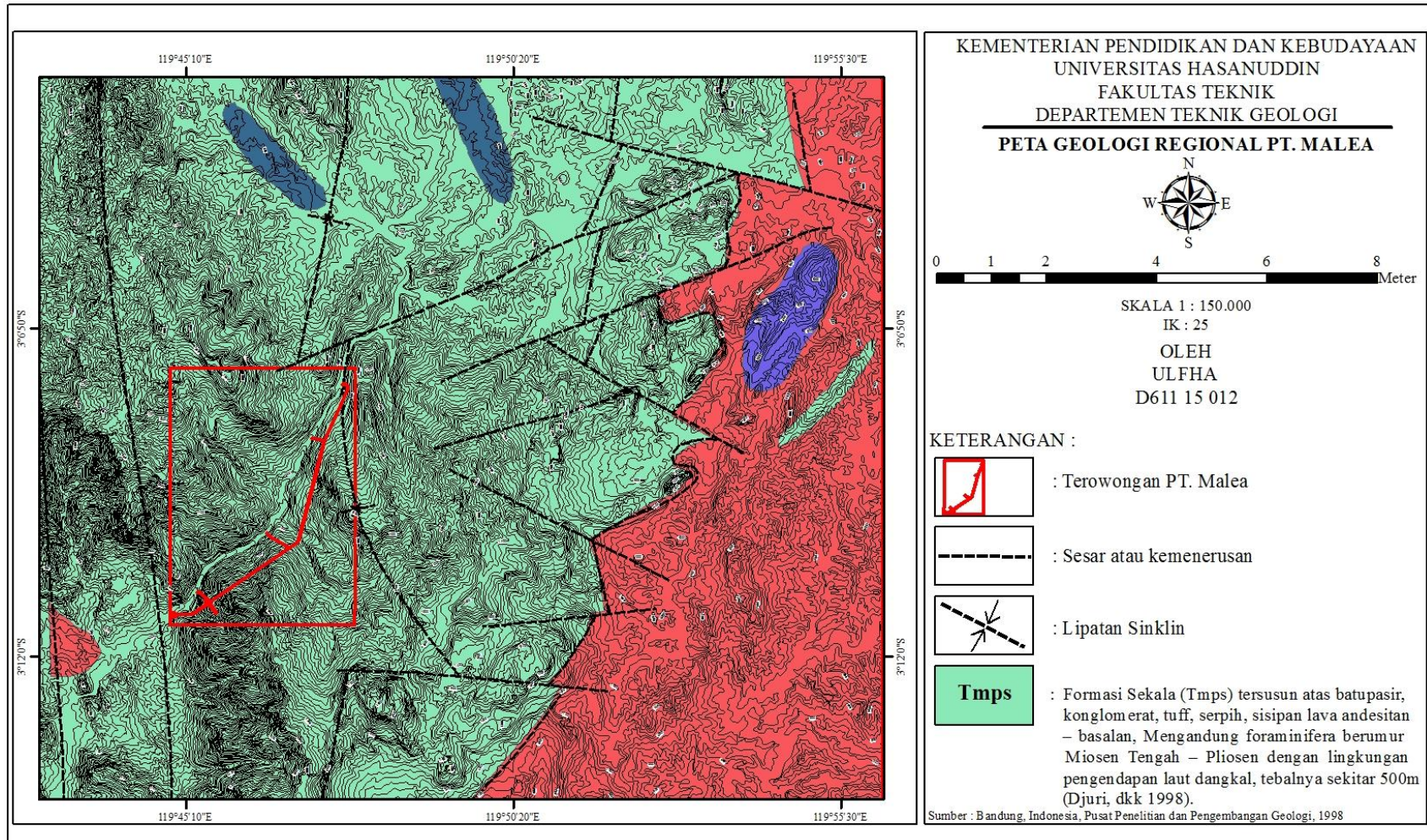
Bagian Utara dari lengan Selatan merupakan daerah pegunungan yang memanjang antara Majene sebagai pegunungan Quarless. Puncak – puncak dari

pegunungan ini adalah Gunung Kalando, Gunung Sesean, dan Gunung Karua (Djuri, dkk 1998).

Daerah penelitian termasuk dalam satuan pedataran tinggi yang terletak di bagian tengah mengarah ke timur tepatnya di Rantepao. Penyebarannya mengikuti dataran banjir sungai Sa'dang diapit perbukitan dengan ketinggian 800 – 900 meter dari muka laut. Kemiringan lereng antara 0° - 10° , lapisan penutup berupa soil hasil residual batuan sekitar dan hasil longsoran (Djuri, dkk 1998).

2.1.2. Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional daerah proyek PLTA Malea yang termasuk dalam peta Geologi Majene dan Bagian Barat Palopo disusun oleh formasi yaitu Formasi Sekala. **Formasi Sekala (Tmps)** tersusun atas batupasir, konglomerat, tuff, serpih, sisipan lava andesitan – basalan, Mengandung foraminifera berumur Miosen Tengah – Pliosen dengan lingkungan pengendapan laut dangkal, tebalnya sekitar 500 m (Djuri, dkk 1998).



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional PT. Malea Energy (Djuri, dkk 1998)

2.1.3. Struktur Regional

Struktur regional oleh Van Bemmelen (1949) membagi lengan Selatan pulau Sulawesi secara struktur menjadi dua bagian, yaitu lengan Utara bagian Selatan dan lengan Selatan bagian Selatan (Djuri, dkk 1998). Struktur di lembar Tana Toraja adalah sesar normal dan sesar naik yang berarah utama timur – selatan baratdaya, barat – timur dan baratlaut – selatan menenggara (Djuri, dkk 1998). Pada Kala Miosen Bagian Tengah – Miosen Akhir Bagian Atas terjadi tektonik disertai kegiatan gunung api yang menghasilkan batuan gunung api Talaya, Tufa Barufu. Batuan gunungapi Talaya tersusun oleh andesit – basalt yang keatas susunannya berubah menjadi leucit basalt hingga terbentuk batuan gunungapi Adang. Pada Kala Miosen tengah Bagian Akhir kegiatan gunungapi disertai terobosan Batholith Granit Mamasa dan Granit Kambuno menerobos batuan yang lebih tua dan membawa larutan hydrothermal yang kaya akan bijih sulfide tembaga di Sangkaropi dan Bilolo, disertai pengangkatan dan pensesaran berupa sesar turun dan sesar naik berarah timur laut – selatan barat daya. Sejak Plistosen Akhir daerah ini diduga daratan sampai terjadi aktivitas gunung api yang menghasilkan tufa (Djuri, dkk 1998).

2.2 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan merupakan salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan untuk desain awal lubang bukaan bawah tanah. Klasifikasi ini merupakan awal mula dari pendekatan rancangan empirik dan digunakan secara luas dalam rekayasa batuan. Dalam kenyataannya, pendekatan klasifikasi massa

batuan digunakan sebagai dasar praktis untuk merancang struktur di bawah tanah yang kompleks. Hal tersebut merupakan tindakan yang kurang tepat. Klasifikasi massa batuan yang merupakan salah satu metode empirik harus digunakan bersama-sama dengan metode observasi dan metode analitik untuk menformulasikan secara menyeluruh rancangan yang rasional. Oleh karena itu, klasifikasi massa batuan tidak dimaksudkan dan tidak dapat menggantikan pekerjaan desain rinci, karena untuk desain rinci diperlukan informasi yang lebih lengkap mengenai tegangan insitu, sifat massa batuan, dan arah penggalian yang biasanya belum tersedia pada tahap awal proyek (Hoek and Brown, 1980).

Secara sederhana klasifikasi massa batuan dapat digunakan sebagai *check list* untuk memastikan apakah seluruh informasi penting mengenai massa batuan sudah dimasukkan kedalam desain. Jika semua informasi telah tersedia, maka klasifikasi massa batuan dapat dimodifikasi dan disesuaikan dengan kondisi spesifik lapangan (Hoek and Brown, 1980).

Tujuan dari klasifikasi massa batuan (Bieniawski, 1989) adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi parameter terpenting yang mempengaruhi perilaku dari setiap massa batuan.
2. Membagi berbagai massa batuan ke dalam kelompok yang memiliki perilaku yang sama.
3. Memberikan pengertian dasar tentang karakteristik dari setiap kelas massa batuan.

4. Menghubungkan pengalaman-pengalaman tentang kondisi batuan pada suatu lokasi kepada kondisi dan pengalaman yang ditemukan di lokasi lain.
5. Mengambil data kuantitatif dan pedoman untuk rancangan rekayasa (*engineering design*).
6. Menyediakan sebuah dasar umum dalam komunikasi di antara engineer dan geologis.

Dengan menggunakan klasifikasi massa batuan akan diperoleh beberapa keuntungan antara lain:

1. Meningkatkan kualitas hasil penyelidikan lapangan dengan data masukan minimum sebagai parameter klasifikasi
2. Memberikan informasi atau data kuantitatif untuk tujuan perancangan
3. Penilaian rekayasa dapat lebih baik dan komunikasi lebih efektif pada suatu proyek (Hoek dan Brown, 1980).

2.2.1. Rock Mass Rating (RMR) System

Rock Mass Rating System atau juga dikenal dengan *Geomechanichs Classification* dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1972-1973. Metode ini dikembangkan selama bertahun-tahun seiring dengan berkembangnya studi kasus yang tersedia dan disesuaikan dengan standar dan prosedur yang berlaku secara internasional. Metode klasifikasi RMR merupakan metode yang sederhana dalam penggunaannya dan parameter-parameter yang digunakan dapat diperoleh baik dari data lubang bor maupun dari pemetaan geoteknik struktur bawah tanah (Bieniawski, 1989).

Dalam menerapkan sistem ini, massa batuan dibagi menjadi seksi-seksi menurut struktur geologi dan masing-masing seksi diklasifikasikan secara terpisah. Batas-batasnya umumnya berupa struktur geologi mayor seperti patahan atau perubahan jenis batuan. Massa batuan dengan jenis yang sama terkadang harus dibagi menjadi seksi-seksi karena perubahan yang signifikan dalam spasi atau karakteristik bidang diskontinyu (Bieniawski, 1989).

Selama bertahun-tahun (1974, 1975, 1976 dan 1989) sistem ini telah diperbaiki dengan semakin banyaknya studi kasus yang dikumpulkan. Bieniawski melakukan perbaikan signifikan untuk rating bagi parameter-parameternya. Berikut ada enam parameter yang digunakan untuk mengklasifikasikan massa batuan dengan sistem RMR :

1. Kuat tekan uniaksial batuan utuh (*Strength of Intact Rock*)
2. *Rock Quality Designation* (RQD)
3. Spasi bidang diskontinu (*Spacing of Discontinuities*)
4. Kondisi bidang diskontinu (*Condition of Discontinuities*)
5. Kondisi air tanah (*Groundwater Condition*)
6. Orientasi Bidang Diskontinu

Masing-masing parameter di atas memiliki nilai pembobotan yang dibuat berdasarkan pengalaman di berbagai lokasi tambang. Bobot-bobot dari setiap parameter nantinya akan dijumlahkan untuk memperoleh bobot total massa batuan. Melalui total bobot parameter dari satu hingga lima kemudian dikurangkan dengan hasil dari parameter keenam tersebut massa batuan nantinya akan dibagi menjadi lima kelas (Bieniawski, 1989).

Dalam menerapkan sistem RMR, massa batuan dibagi menjadi bagian-bagian berdasarkan struktur geologi dan setiap bagian akan diklasifikasikan secara terpisah. Batas antara bagian pada umumnya berupa struktur geologi mayor atau perubahan jenis batuan (Bieniawski, 1989).

Tabel 2.1 Klasifikasi Sistem *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989)

ROCK MASS RATING (By Bieniawski, 1989)									
1. Strength of Intact Rock (SR)								Actual	
<i>UCS (MPa)</i>	>250	100 – 250	50 - 100	25 - 50	5 – 25	1 - 5	< 1	-	
<i>Rating</i>	15	12	7	4	2	1	0		
2. Rock Quality Design (RQD)									
<i>RQD (%)</i>	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25				
<i>Rating</i>	20	17	13	8	3				
3. Spacing of Discontinuities (SJ)									
<i>Spacing (m)</i>	>2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.02	< 0.06				
<i>Rating</i>	20	15	10	8	5				
4. Condition of Discontinuities (CJ)									
<i>P A R A M E T E R</i>	<i>Discontinuities</i>	<i>Length (m)</i>	< 1	1 - 3	3 - 10	10 – 20	>20	-	
		<i>Rating</i>	6	4	2	1	0		
	<i>Separation</i>	<i>Aperture (mm)</i>	None	< 0.1	0.1 - 1	1 - 5	>5	-	
		<i>Rating</i>	6	5	4	1	0		
	<i>Roughness</i>	<i>Roughness</i>	Very Rough	Rough	Slightly R.	Smooth	Slickensided	-	
		<i>Rating</i>	6	5	3	1	0		
	<i>Infilling</i>	<i>Gauge (mm)</i>	None	<5 (Hard)	>5 (Hard)	<5 (Soft)	>5(Soft)	-	
		<i>Rating</i>	6	4	2	2	0		
	<i>Weathering</i>	<i>Weathering</i>	Fresh	Slightly W.	Moderately W.	Highly W.	Decomposed	-	
		<i>Rating</i>	6	5	3	1	0		
	5. Groundwater (GW)								
	<i>Inflow/10m Tunnel Length (L/min)</i>		None Dry	<10 Damp	10 – 25 Wet	25 – 125 Dripping	>125 Flowing		
<i>Rating</i>		15	10	7	4	0			
6. Rating Adjustment for Discontinuities (AJ)									
<i>Strike Perpendicular to Tunnel Axis</i>				<i>Strike Parallel to Tunnel Axis</i>		<i>Irrespective of Strike</i>			
<i>Drive with Dip</i>		<i>Drive against Dip</i>							
Dip 45° - 90°	Dip 20° - 45°	Dip 45° - 90°	Dip 20° - 45°	Dip 45° - 90°	Dip 20° - 45°	Dip 0° - 20°		-	
Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable	Fair	Fair			
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5			
RMR = SR + RQD + SJ + CJ + CW – AJ									
Total Rating of RMR								-	
MEANING OF ROCK MASS CLASS									
81 – 100 (I) <i>Very Good Rock</i>		61 – 80 (II) <i>Good Rock</i>		41 – 60 (III) <i>Fair Rock</i>		21 – 40 (IV) <i>Poor Rock</i>		<20 (V) <i>Very Poor Rock</i>	

a. Kuat Tekan Batuan Utuh (*Strength of Intact Rock*)

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength, UCS*) dan uji point load (*Point Load Test, PL* (uniaxial)). Sampel batuan yang diuji dalam bentuk silinder (tabung) dengan perbandingan antara tinggi dan diameter tertentu. Perbandingan ini sangat berpengaruh pada nilai UCS yang dihasilkan. Semakin besar perbandingan panjang terhadap diameter, kuat tekan akan semakin kecil (Bieniawski, 1989).

Pada perhitungan nilai RMR, parameter kekuatan batuan utuh diberi bobot berdasarkan nilai UCS atau nilai PLI-nya seperti tertera pada Tabel berikut:

Tabel 2.2 Pembobotan kekuatan material batuan utuh (Bieniawski,1989)

Deskripsi Kualitatif	UCS (MPa)	PLI (MPa)	Rating
Sangat kuat sekali (<i>exceptionally strong</i>)	>250	>10	15
Sangat kuat (<i>very strong</i>)	100 – 250	4 – 10	12
Kuat (<i>strong</i>)	50 – 100	2 – 4	7
Sedang (<i>average</i>)	25 – 50	1 – 2	4
Lemah (<i>weak</i>)	5 – 25	Penggunaan UCS lebih dianjurkan	2
Sangat lemah (<i>very weak</i>)	1 – 5		1
Sangat lemah sekali (<i>extremely weak</i>)	<1		0

Tujuan utama kuat tekan uniaksial adalah untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari conto batuan.

b. *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*).

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

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 2.3 Kualitas Batuan Berdasarkan RQD (Deere, 1963)

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

c. *Spasi Diskontinuitas (Spacing of Discontinuities)*

Adanya kekar pada massa batuan cenderung akan memperburuk karakteristik mekanik massa batuan bergantung pada frekuensi atau jarak serta orientasinya. Spasi bidang diskontinu adalah jarak tegak lurus antara bidang-bidang diskontinuitas yang mempunyai kesamaan arah (satu keluarga) yang berurutan sepanjang garis pengukuran (*scanline*) yang dibuat sembarang.

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

Tabel 2.4 Jarak antar diskontinuitas

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

d. Kondisi Bidang Diskontinuitas (*Condition of Discontinuities*)

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu. Parameter diskontinu tersebut antara lain :

a) Kekasaran (*Roughness*)

Roughness atau kekasaran 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 (Bieniawski, 1989).

Tabel 2.5 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 vertical	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 kekar (*Separation*)

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

Tabel 2.6 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) Persistensi (*Length of Discontinuities*)

Persistensi merupakan kemenerusan 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 2.7 Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978)

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

d) Pelapukan (*Weathering*)

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 2.8 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) Material Isian Kekar (*Infilling/gouge*)

Material pengisi 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 2.9 Material pengisi diskontinuitas

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

e. Kondisi Air Tanah (*Groundwater Condition*)

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 (Bieniawski, 1989).

Tabel 2.10 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 / tegangan principal mayor	0	<0.1	0.1-0.2	0.1-0.2	>0.5
Rating	15	10	7	4	0

f. Orientasi Bidang Diskontinu

Koreksi RMR dasar selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalan 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 diskontinu terhadap ekskaasi terowongan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.11 Pengaruh kondisi strike dan dip diskontinu terhadap ekskavasi terowongan

Strike tegak lurus dengan terowongan				Strike sejajar dengan terowongan		Dip 0°-20°
Searah kemiringan		Berlawanan kemiringan				
Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Tidak searah
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 2.12 Pengaruh orientasi kekar

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

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). Berikut adalah hasil pembobotan nilai masing-masing parameter RMR (Bieniawski, 1989).

Tabel 2.13 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-parameter diatas diperoleh, maka jumlah keseluruhan bobot tersebut menjadi nilai total RMR.