

**SKRIPSI**

**PENENTUAN JENIS PENYANGGA TEROWONGAN BERDASARKAN  
ANALISIS ROCK MASS RATING PADA ADIT 2 DOWNSTREAM STA.  
6+443.30 HINGGA 6+447.60 PLTA MALEA KABUPATEN TANA  
TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**Disusun dan diajukan oleh**

**WAHYU ADJIE SYAHPUTRA  
D611 14 309**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENENTUAN JENIS PENYANGGA TEROWONGAN BERDASARKAN  
ANALISIS ROCK MASS RATING PADA ADIT 2 DOWNSTREAM STA.  
6+443.30 HINGGA 6+447.60 PLTA MALEA KABUPATEN TANA  
TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

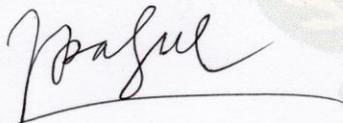
**WAHYU ADJIE SYAHPUTRA**

**D 611 14 309**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 03 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.  
NIP. 195910081987031001

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T.  
NIP. 196112311989031019



Ketua Program Studi

Dr. Eng. Asri Jaya, HS, S.T., M.T.  
NIP. 196909241998021001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : WAHYU ADJIE SYAHPUTRA

NIM : D611 14 309

Program studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

**“PENENTUAN JENIS PENYANGGA TEROWONGAN BERDASARKAN  
ANALISIS ROCK MASS RATING PADA ADIT 2 DOWNSTREAM STA.  
6+443.30 HINGGA 6+447.60 PLTA MALEA KABUPATEN TANA  
TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya siap menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Juli 2021

Yang Menyatakan



Wahyu Adjie Syahputra

## SARI

Secara administratif daerah penelitian terletak di Daerah Lembang Randan Batu, Kecamatan Makale Selatan, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis, terletak pada 119°41'0" - 119°45'0" Bujur Timur dan 5°36'00" - 5°40'00" Lintang Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengetahui kelas batuan pada lokasi penelitian berdasarkan nilai RMR (2) Merekomendasikan penyangga yang tepat pada lokasi penelitian berdasarkan nilai kelas batuan. Metode penelitian yang digunakan adalah pemetaan muka terowongan (*Mapping Face Tunnel*). Kondisi batuan pada daerah penelitian memiliki nilai RMR antara 43 hingga 48 dan tergolong dalam kelas 3 yang termasuk dalam kelompok batuan *Fair Rock*. Direkomendasikan penggunaan penyangga terowongan dengan jenis *Shotcrete* dengan tebal 50-100 mm di bagian atap terowongan dan 30 mm di bagian dinding terowongan

**Kata kunci: Tana Toraja, Rock Mass Rating, Nilai Kelas Batuan.**

## **ABSTRACT**

*Administratively the research area is located in the Lembang Randan Batu, South Makale District, Tana Toraja Regency, South Sulawesi Province. Astronomically, it is located at 119°41'0" - 119°45'0" East Longitude and 5°36'00" - 5°40'00" South Latitude. The study purpose to (1) Determine the rock class at the research location based on the RMR value (2) Recommend the right buffer at the research location based on the rock class value. The research method used is Mapping Face Tunnel. The rock conditions in the study area have RMR values between 43 to 48 and are classified in class 3 which is included in the Fair Rock group. It is recommended to use Shotcrete tunnel supports with a thickness of 50-100 mm on the roof of the tunnel and 30 mm on the walls of the tunnel.*

**Keywords:** *Tana Toraja, Rock Mass Rating, Rock Grade Value.*

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

Alhamdulillahirabbil'alamin, penulis panjatkan puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas izin, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulisan laporan penelitian yang berjudul “Penentuan Jenis Penyangga Terowongan Berdasarkan Analisis *Rock Mass Rating* Pada Adit 2 *Downstream* STA. 6+443.30 Hingga 6+447.60 PLTA Malea Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan”, dapat diselesaikan.

Dalam penyajian laporan ini, penulis menyadari masih belum mendekati kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan. Penulis menyadari, berhasilnya penyusunan proposal ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam menghadapi setiap tantangan, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa memberikan arahan, kritik dan saran yang membangun kepada penulis
2. Bapak Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T. selaku dosen pembimbing pendamping yang senantiasa memberikan arahan, kritik dan saran yang membangun kepada penulis

3. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geologi
4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Bapak Ir. H. Amiruddin Basyir selaku *Project Director* PLTA Malea, telah memberikan penulis kesempatan untuk belajar dan mengambil data.
6. Bapak Muhammad Syakur, S.T. selaku *Site Manager* PLTA Malea, telah memberikan penulis kesempatan untuk belajar dan mengambil data.
7. Bapak Didik Susanto selaku *Tunnel Manager* PLTA Malea, telah memberikan penulis kesempatan untuk belajar dan mengambil data.
8. Bapak Dadang selaku *Tunnel Engineer* Adit 2, kanda Arafah dan kanda Hendra selaku *Junior Tunnel Engineer* Adit 2, telah membimbing dan memberikan kesempatan mengambil data kepada penulis
9. Kedua Orang Tua penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan penulis segala bentuk dukungan, baik berupa dukungan moril ataupun material.
10. Kanda-kanda *Site Geologist* yang dengan ikhlas dan sabar membimbing penulis dalam pengambilan data
11. Saudari Mustikayanti atas support moril yang diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini baik dalam suka maupun duka
12. Teman-teman “Neogen” Geologi 2014 terutama saudaraku Sompoan Teguh Satria yang berjuang dan bekerja sama selama penelitian berlangsung
13. Pihak-pihak yang lain yang membantu dalam penyusunan laporan penelitian ini.

Akhir kata semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan ilmu pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan lainnya.

*Wallahu Waliyut Taufiq*

Makassar, Juli 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>SARI</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR FOTO</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	2
1.4. Alat dan Bahan.....	2
1.5. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Geologi Daerah Penelitian.....	4
2.1.1. Geomorfologi Regional.....	4
2.1.2. Stratigrafi Regional.....	5
2.1.3. Struktur Geologi Regional.....	8
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	8

2.3. Terowongan.....	10
2.4. Metode Ekskavasi Terowongan.....	10
2.4.1. Drill and Blast.....	11
2.5. Bentuk Ekskavasi Terowongan.....	13
a. Bentuk Lingkaran.....	13
b. Bentuk ‘D’.....	14
c. Bentuk Tapal Kuda.....	14
d. Bentuk Telur.....	15
2.6. Rock Mass Rating System.....	15
2.6.1. Nilai Kekuatan Batuan.....	16
2.6.2 Rock Quality Designation.....	17
2.6.3 Jarak Antar Bidang Diskontinu.....	19
2.6.4 Kondisi Bidang Diskontinu.....	20
2.6.5. Kondisi Air Bawah Permukaan.....	24
2.6.6. Orientasi Bidang Diskontinu.....	24
2.7. Supporting System.....	24
2.7.1 Jenis Penyangga.....	25
a. Shotcrete.....	25
b. Rockbolt.....	26
c. Wire Mesh.....	27
d. Steel rib/Steel Sets.....	28
2.7.2. Dasar Penentuan Jenis Penyangga.....	29

## **BAB II METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN**

3.1. Metode Penelitian.....	32
3.2. Tahapan Penelitian.....	32
3.2.1. Tahap Persiapan.....	32
3.2.2. Tahap Penelitian Lapangan.....	33
3.2.3. Tahap Pengolahan dan Analisa Data.....	33
3.2.4. Penyusunan Laporan.....	34
3.2.5. Seminar Hasil.....	34

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Geologi Daerah Penelitian.....	35
4.1.1. Geomorfologi Daerah Penelitian.....	35
4.1.1.1. Satuan Bentang Alam Pegunungan Denudasional.....	35
4.1.2. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	36
a. Satuan Batupasir.....	38
b. Satuan Serpih.....	38
4.3. Headrace Tunnel Adit 2 Downstream.....	39
4.3.1. Stasiun 6+443.30.....	39
a. Hasil Pemetaan Muka Terowongan Stasiun 6+443.30.....	39
b. Penentuan Jenis Penyangga pada Stasiun 6+443.30.....	44
c. Uji Coba Pada Aplikasi <i>Phase 2</i> pada Stasiun 6+443.30.....	46
4.3.2 Stasiun 6+445.90.....	47
a. Hasil Pemetaan Muka Terowongan pada Stasiun 6+445.90.....	47
b. Penentuan Jenis Penyangga pada Stasiun 6+445.90.....	52

c. Uji Coba Pada Aplikasi Phase 2 pada Stasiun 6+445.90.....	54
4.3.3. Stasiun 6+447.60.....	55
a. Hasil Pemetaan Muka Terowongan pada Stasiun 6+447.60.....	55
b. Penentuan Jenis Penyangga pada Stasiun 6+447.60.....	60
c. Uji Coba Pada Aplikasi Phase 2 pada Stasiun 6+447.60.....	62

## **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	65

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hubungan Antara Nilai UCS dengan Nilai Parameter Kekuatan Batuan pada RMR.....	17
Tabel 2.2. Hubungan Antara Jumlah Kekar dengan Nilai RQD.....	18
Tabel 2.3. Tabel Hubungan Antara Nilai RQD dan Nilai Parameter RQD pada RMR.....	18
Tabel 2.4. Tabel Hubungan Antara Ukuran Spasi Bidang Diskontinu dengan Nilai Parameter Spasi Diskontinu pada RMR.....	19
Tabel 2.5. Penggolongan dan Pembobotan Kekasaran (Bieniawski, 1976).....	20
Tabel 2.6. Pemerian pemisahan Kekar (ISRM, 1978).....	21
Tabel 2.7. Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978).....	22
Tabel 2.8. Pemerian Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM, 1978).....	22
Tabel 2.9. Material pengisi diskontinuitas.....	23
Tabel 2.10. Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989).....	30
Tabel 4.1. Rock Mass Rating Stasiun 6+443.30.....	43
Tabel 4.2. Rekomendasi Penyanggaan Berdasarkan Nilai RMR Stasiun 6+443.30.....	45
Tabel 4.3. Rock Mass Rating Stasiun 6+445.90.....	51
Tabel 4.4. Rekomendasi Penyanggaan Berdasarkan Nilai RMR Stasiun 6+445.90.....	53
Tabel 4.5. Rock Mass Rating Stasiun 6+447.60.....	59
Tabel 4.6. Rekomendasi Penyanggaan Berdasarkan Nilai RMR Stasiun 6+447.60.....	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peta Geologi Regional.....	7
Gambar 2.2. Blasting Pattern on Medium or Hard Rock.....	11
Gambar 2.3. Circular Section.....	13
Gambar 2.4. D – Section.....	14
Gambar 2.5. Horse Shoe Section.....	14
Gambar 2.6. Egg Section.....	15
Gambar 2.7. Bidang Diskontinu.....	19
Gambar 2.8. (a). Runtuhan Batuan dari Bagian Atas Terowongan.....	25
Gambar 2.8. (b). Runtuhan Batuan Dari Bagian Samping Terowongan.....	25
Gambar 2.9. Pemasangan Rockbolt Tegak Lurus Arah Perlapisan Batuan.....	26
Gambar 2.10. Grouted Rockbolt.....	27
Gambar 2.11. Steelrib (Ongodia, 2017).....	28
Gambar 2.12. Grafik Hubungan Antara Span, Stand-up Time, dan RMR (Bieniawski, 1989).....	29
Gambar 4.1. Peta Geologi dan Penampang Geologi Daerah Penelitian.....	37
Gambar 4.2. Hasil Interpretasi Phase2 Sebelum Dilakukan Penyanggaan pada Stasiun 6+443.30.....	46
Gambar 4.3. Hasil Simulasi Setelah Pengaplikasian Shotcrete pada Stasiun 6+443.30.....	47
Gambar 4.4. Hasil Interpretasi Phase2 Sebelum Dilakukan Penyanggaan pada Stasiun 6+445.90.....	54

Gambar 4.5 Hasil Simulasi Setelah Pengaplikasian Shotcrete pada Stasiun 6+445.90.....	55
Gambar 4.6 Hasil Interpretasi Phase2 Sebelum Dilakukan Penyanggaan pada Stasiun 6+447.60.....	62
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Setelah Pengaplikasian Shotcrete pada Stasiun 6+447.60.....	63

## DAFTAR FOTO

Foto 4.1. Kenampakan Bentang Alam Perbukitan Denudasional.....	36
Foto 4.2 Singkapan Batupasir Pada Lokasi Penelitian.....	38
Foto 4.3 Singkapan Serpih Pada Lokasi Penelitian.....	39
Foto 4.4. Kondisi Muka Terowongan Stasiun 6+443.30.....	40
Foto 4.5. Kondisi Dinding Kanan Terowongan Stasiun 6+443.30.....	40
Foto 4.6. Kondisi Dinding Kiri Terowongan Stasiun 6+443.30 .....	40
Foto 4.7. Kondisi Atap Terowongan Stasiun 6+443.30.....	41
Foto 4.8. Kondisi Muka Terowongan Stasiun 6+445.90.....	48
Foto 4.9. Kondisi Dinding Kanan Terowongan Stasiun 6+445.90.....	48
Foto 4.10. Kondisi Dinding Kiri Terowongan Stasiun 6+445.90.....	48
Foto 4.11. Kondisi Atap Terowongan Stasiun 6+445.90.....	49
Foto 4.12. Kondisi Muka Terowongan Pada Stasiun 6+447.60.....	56
Foto 4.13. Kondisi Dinding Kanan Terowongan Stasiun 6+447.60.....	56
Foto 4.14. Kondisi Dinding Kiri Terowongan Stasiun 6+447.60.....	56
Foto 4.11. Kondisi Atap Terowongan pada Stasiun 6+447.60.....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Terowongan merupakan bangunan yang terletak di bawah tanah dengan kedalaman tertentu. Terowongan dibangun guna menghubungkan suatu tempat menuju tempat lainnya. Pada pembangunan terowongan harus memiliki tingkat keamanan tinggi agar tidak terjadi kejadian-kejadian yang berbahaya. Salah satu penyebabnya adalah kondisi batuan yang buruk pada suatu terowongan. Untuk mengetahui kondisi batuan, diperlukan pengamatan geologi.

Pada dasarnya terowongan, tersusun oleh batuan-batuan yang beragam karakteristik dan kondisinya. Dibutuhkan ilmu geologi teknik untuk mengetahui kondisi batuan yang akan dijadikan kelas batuan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating*. Selanjutnya berdasarkan pada kelas batuan tersebut akan ditentukan penyangga yang tepat untuk terowongan berdasarkan klasifikasi Bieniawski (1989).

Terowongan ini dibangun ditepi sungai Sungai Sadang dikarenakan memiliki debit yang besar dan dengan kemiringan yang ideal untuk dijadikan PLTA. Terowongan ini ditujukan sebagai aliran air untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Terowongan akan dibangun sepanjang 11 km dan akan dibagi menjadi 4 adit termasuk dengan setiap adit terowongan dengan lebar bukaan 8 m dan tinggi 7,5 m untuk terowongan *waterway*. Kegiatan konstruksi pada saat

pengambilan data masih berupa asesmen data geologi dan pengerjaan bangunan sipil lainnya.

## **1.2. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini bisa lebih terarah, maka penulis membatasi penelitian terhadap beberapa variabel saja, yakni pada penentuan kelas batuan berdasarkan nilai RMR dan penentuan jenis penyangga terowongan berdasarkan kelas batuan

## **1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui kelas batuan pada lokasi penelitian berdasarkan nilai RMR
2. Merekomendasikan penyangga yang tepat pada lokasi penelitian berdasarkan nilai kelas batuan

## **1.4. Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan pada penelitian lapangan ini terdiri dari :

- Peta topografi
- Kompas
- Lembar Kerja RMR
- Buku catatan Lapangan
- Kamera
- Alat tulis menulis
- *Clipboard*

- Ransel lapangan
- Perangkat lunak *Phase 2*
- Perlengkapan pribadi

Sedangkan bahan yang akan digunakan selama analisis laboratorium ialah :

1. *Uniaxial Compressive Strength* (untuk nilai kekuatan batuan)

### **1.5. Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan selama dua bulan, yang dimulai pada 24 Juni 2019 hingga 24 Agustus 2019. Daerah penelitian termasuk dalam wilayah Desa Lembang Randan Batu, Kecamatan Makale Selatan, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan, dan secara astronomis terletak pada koordinat  $119^{\circ} 41' 0''$  -  $119^{\circ} 45' 00''$  BT dan  $5^{\circ} 36' 00''$  -  $5^{\circ} 40' 00''$  LS.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Geologi Regional**

##### **2.1.1. Geomorfologi Regional**

Daerah penelitian merupakan salah satu daerah paling utara dari provinsi Sulawesi Selatan menurut Van Bemmelen (1949) 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 barat 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 Sadang (Sujatmiko, 1974).

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 – 2600 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 (Sujatmiko, 1974).

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 (Sujatmiko, 1974).

Daerah penelitian termasuk dalam satuan pedataran tinggi yang terletak di bagian tengah mengarah ke timur, tepatnya di Rantepao. Penyebarannya mengikuti dataran banjir sungai Saddan, 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 (Laporan Milik PT. Malea Hydropower).

### **2.1.2. Stratigrafi Regional**

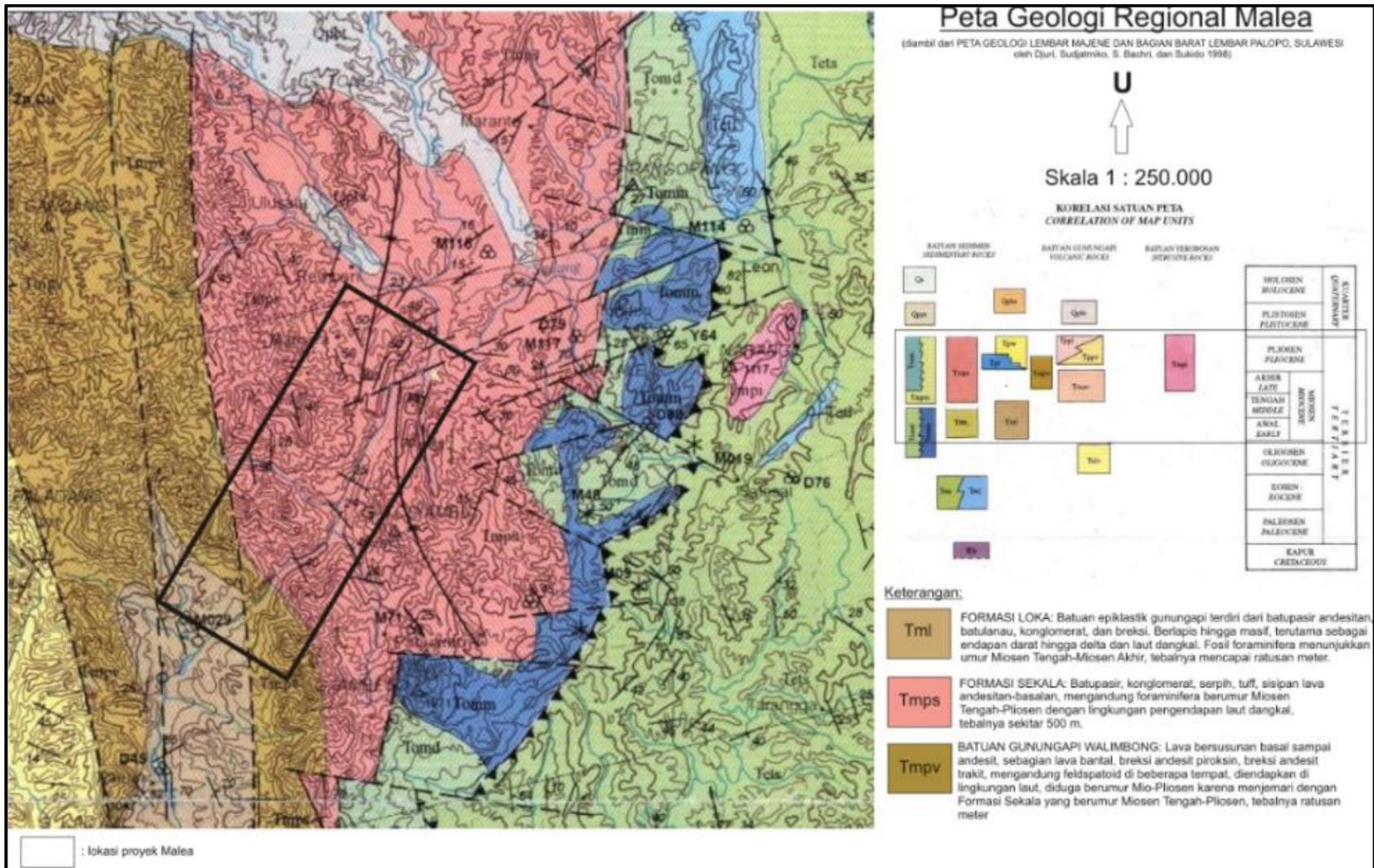
Stratigrafi regional daerah proyek PLTA Malea yang termasuk dalam peta Geologi Majene dan Bagian Barat Palopo tersusun oleh beberapa formasi yaitu (Laporan Milik PT. Malea Hydropower):

**Formasi Loka (Tml)** yang merupakan formasi tertua pada daerah penelitian yang berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir dan tersusun atas batuan Epiklastik gunung api yaitu batupasir, andesit, batulanau, konglomerat dan breksi. Berlapis hingga masif terutama sebagai endapan darat hingga delta dan laut dangkal (Sujatmiko at al

**Formasi Gunungapi Walimbong (Tmpv)** terdiri dari lava bersusunan basal sampai andesit sebagian lava bantal, breksi andesit piroksen breksi andesit trakit,

mengandung feldspatoid di beberapa tempat, diendapkan di lingkungan laut, diduga berumur Miosen – Pliosen karena menjemari dengan **Formasi Sekala (Tmps)** yang berumur Miosen Tengah – Pliosen, tebalnya ratusan meter.

**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.



**Gambar 2.1** Peta Geologi Regional (Laporan Milik PT. Malea Hydropower)

### **2.1.3. Struktur Geologi 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. Struktur di lembar Tana Toraja adalah sesar normal dan sesar naik yang berarah utama timur – selatan barat daya, barat – timur dan barat laut – selatan menenggara (Sujatmiko, 1974)

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 leusit basalt hingga terbentuk batuan gunungapi Adang. Pada Kala Miosen tengah Bagian Akhir kegiatan gunung api disertai terobosan batolit granit mamasa Granit Kambuno menerobos batuan yang lebih tua dan membawa larutan hydrothermal yang kaya akan bijih sulfida 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. (Sujatmiko, 1974)

## **2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Siklus Hidrologi Merupakan sebuah proses yang berkelanjutan dimana air akan tertransportasi dari laut menuju atmosfer, turun kembali ke muka bumi lalu kembali ke laut. Diantara ketiga proses tersebut terdapat proses yang menyebabkan

air dapat digunakan sebagai pembangkit listrik, yakni pada saat air tertransportasi dari daratan menuju lautan melalui sungai. (Varshney, 2001)

Tidak semua sungai dapat dijadikan sebagai pembangkit listrik tenaga air, hanyalah sungai yang memiliki debit air yang besar, kemiringan sungai dan merupakan sungai permanen. Semakin besar debit air yang mengalir maka semakin besar energi untuk memutar turbin sehingga semakin besar listrik yang dihasilkan. Kemiringan juga berpengaruh terhadap rancangan terowongan, apabila derajat kemiringan semakin besar atau semakin miring maka terowongan dapat dibangun dengan jarak yang pendek. Sebaliknya apabila semakin landai maka terowongan dapat dibangun dengan jarak yang pendek. Kemiringan berpengaruh terhadap kecepatan air saat tertransportasi dari intake menuju turbin, semakin miring maka kecepatan air mengalir semakin tinggi, apabila air mengalir dengan kecepatan tinggi maka turbin akan berputar dengan cepat sehingga listrik yang dihasilkan semakin besar (Varshney, 2001).

PLTA dapat dioperasikan dengan sistem *Waterway* atau kanal dapat pula dengan sistem *Tunneling* atau terowongan dan dapat pula gabungan keduanya. Penentuan hal tersebut berdasarkan perbandingan ongkos pengerjaan. Dengan sistem kanal yang merupakan di atas permukaan tanah tentu memerlukan lahan, apabila pada lokasi yang memadai untuk dijadikan PLTA terdapat pemukiman, perkebunan atau lahan yang merupakan hak milik warga tentu perusahaan diharuskan membayar ganti rugi untuk pembebasan lahan. Sedangkan sistem terowongan yang merupakan bawah permukaan bergantung terhadap kondisi batuan. Hal ini dapat diketahui dengan memperhatikan litologi, stratigrafi dan

struktur geologi daerah penelitian, untuk mendapatkan data yang valid maka dilakukan pengecekan menggunakan data bor. Apabila berdasarkan data bor batuan pada lokasi tergolong kelas batuan rendah dan memerlukan penyangga khusus yang memerlukan dana besar. Berdasarkan kedua parameter tersebut menjadi dasar penentuan rancangan pembangunan PLTA (Varshney, 2001).

### **2.3. Terowongan**

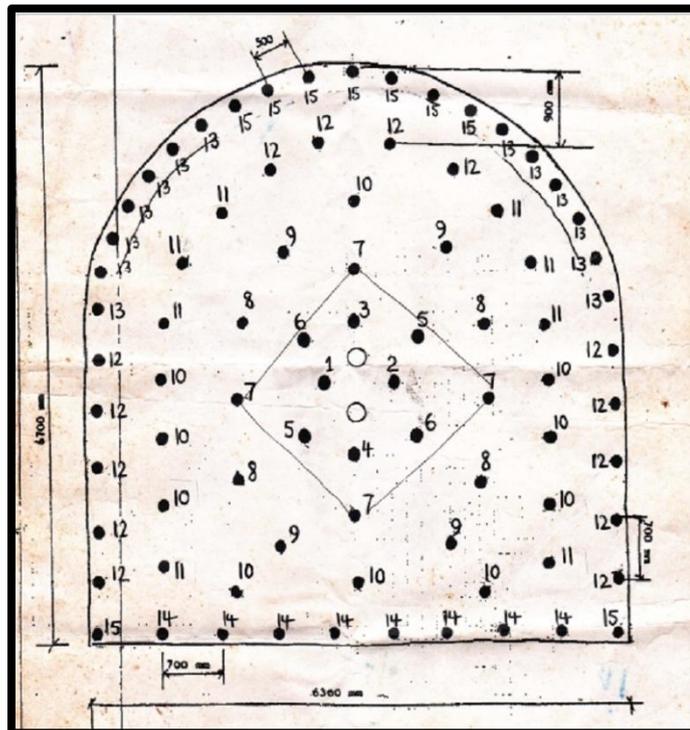
Terowongan merupakan konstruksi bawah tanah yang tidak mengganggu konstruksi yang ada di permukaan tanah. Konstruksi bawah tanah dapat dikatakan sebagai terowongan apabila memiliki panjang dua kali lipat atau lebih dari diameter terowongan atau lebih besar dari jumlah antara diameter terowongan dan tinggi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

### **2.4. 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).

### 2.4.1. 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 2.2** 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 CO<sub>2</sub> 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).

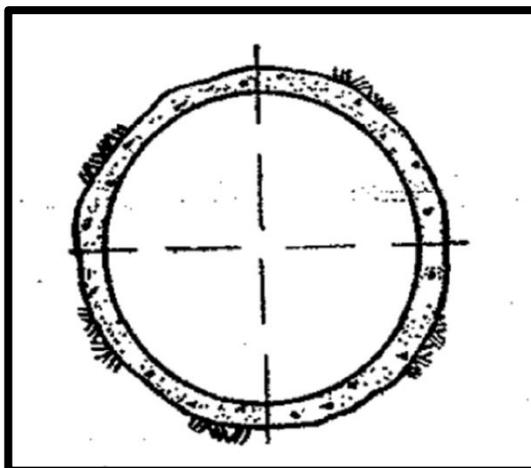
## 2.5. Bentuk Ekskavasi Terowongan

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 (Ongodia, 2017). Penentuan bentuk terowongan didasarkan pada aspek geologi dan hidrolik (Varshney, 2001).

Berikut merupakan bentuk ekskavasi terowongan yang umum digunakan

### a. Bentuk Lingkaran

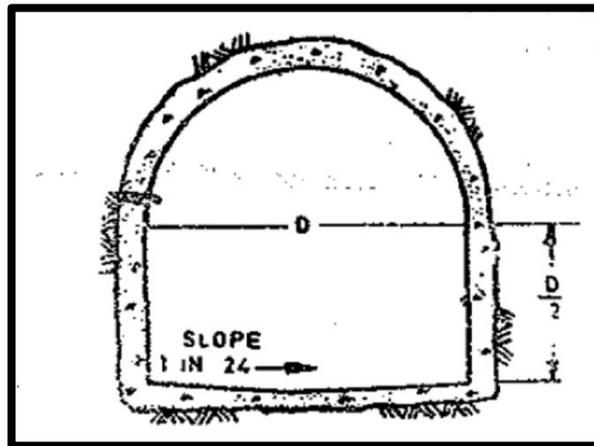
Penggunaan terowongan dengan bentuk lingkaran adalah untuk wilayah dengan batuan yang lemah atau daerah dengan kontrol struktur geologi yang tinggi (Varshney, 2001)



Gambar 2.3 *Circular Section* (Varshney, 2001)

b. Bentuk 'D'

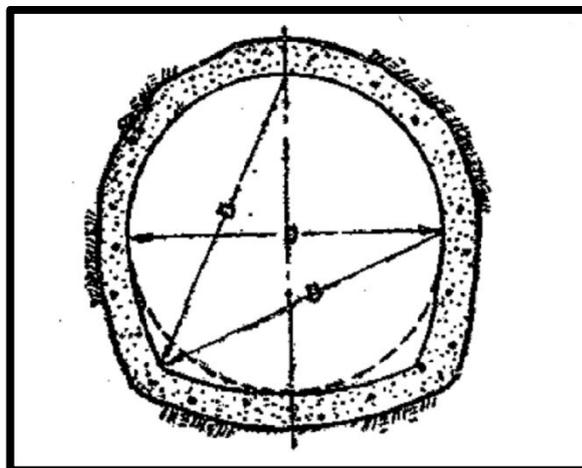
Terowongan berbentuk 'D' digunakan pada wilayah yang tersusun oleh batuan yang memiliki kekerasan tinggi, antara lain batuan beku, batuan metamorf atau batuan sedimen dengan kualitas yang baik (Varshney, 2001)



Gambar 2.4 D – Section (Varshney, 2001)

c. Bentuk Tapal Kuda

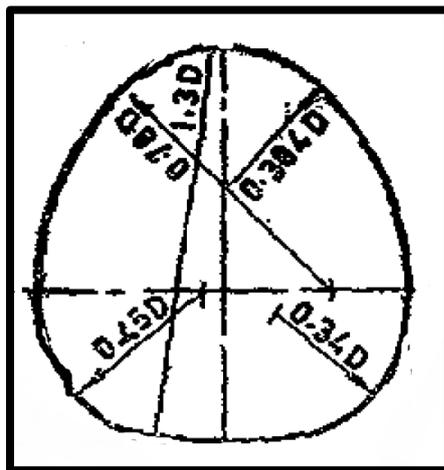
Terowongan dengan bentuk tapal kuda merupakan gabungan antara terowongan dengan bentuk 'D' dan lingkaran. Terowongan dengan bentuk ini lebih stabil terhadap tekanan dari sisi luar terowongan (Varshney, 2001).



Gambar 2.5 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 2.6 Egg Section (Varshney, 2001)

## 2.6. Rock Mass Rating System

*Rock Mass Rating* atau *Geomechanical Classification* merupakan klasifikasi massa batuan yang dikembangkan pada tahun 1972 sampai 1973 dan dicetuskan pada tahun 1989. Pada pengembangannya, RMR sistem dimodifikasi berdasarkan permasalahan dan kejadian untuk memenuhi kualifikasi internasional. Dalam beberapa kasus, para pengguna RMR sistem membuat kesalahan yang menyebutkan bahwa hasil penelitian mereka adalah “*CSIR rating*” atau “*CSIR Geomechanical system*”. CSIR merupakan lembaga tempat Bieniawski bekerja, namun lembaga tersebut tidak memiliki andil dalam pengembangan sistem RMR (Bieniawski, 1989).

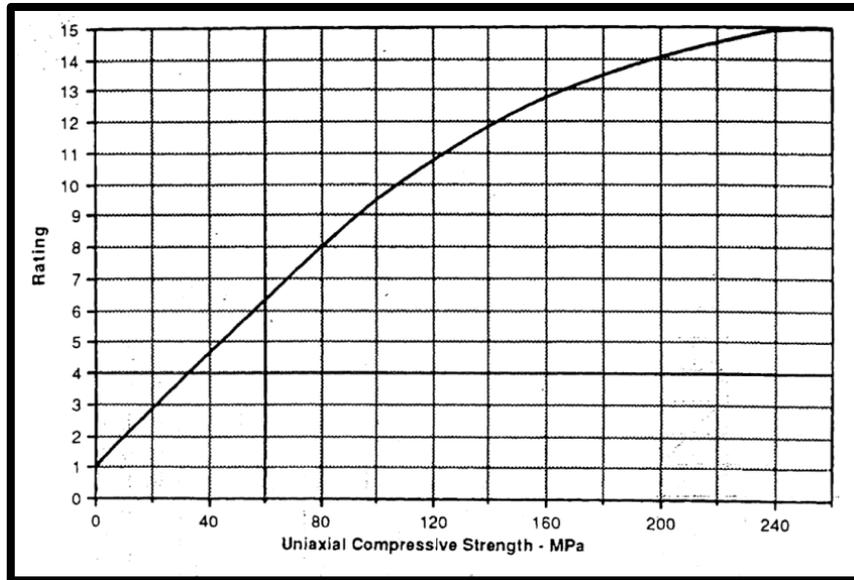
Pada sistem RMR menggunakan beberapa parameter untuk menentukan kelas batuan, antara lain:

- a. Nilai kekuatan batuan menggunakan metode *Uniaxial Compressive Strength* atau *Point Load Strength Index*
- b. *Rock Quality Designation* (RQD)
- c. Jarak antar bidang diskontinu
- d. Kondisi bidang diskontinu
- e. Kondisi air bawah permukaan
- f. Orientasi dari bidang diskontinu

#### **2.6.1. Nilai Kekuatan Batuan**

Nilai kekuatan batuan yang digunakan merupakan hasil uji batuan menggunakan metode *Uniaxial Compressive Strength* atau *Point Load Strength*. Namun pada sistem RMR *Uniaxial Compressive Strength* terbagi menjadi 7 nilai kekuatan batuan sedangkan *Point Load Index* hanya terbagi menjadi 4 bagian. Oleh karena itu, pada beberapa kasus lebih banyak menggunakan metode *Uniaxial Compressive Strength* karena lebih detil membagi nilai kekuatan batuan (Bieniawski 1989).

**Tabel 2.1** Hubungan Antara Nilai UCS dengan Nilai Parameter Kekuatan Batuan pada RMR (Bieniawski, 1989)



### 2.6.2 Rock Quality Designation

RQD diperkenalkan oleh Deere pada tahun 1964 sebagai acuan penentuan kualitas batuan secara kuantitatif. Pada penentuan nilai RQD umumnya menggunakan hasil coring batuan dengan standard lebar core sebesar 54,7 mm. Namun, pada kegiatan ekskavasi bawah tanah dengan metode *Drill and Blast*, nilai RQD ditentukan dengan menghitung jumlah kekar yang terdapat pada muka tunnel setelah kegiatan *blasting* berlangsung. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan nilai RQD berdasarkan jumlah kekar pada muka terowongan (Bieniawski 1989).

$$\mathbf{RQD = 110 - 2.5 J_v}$$

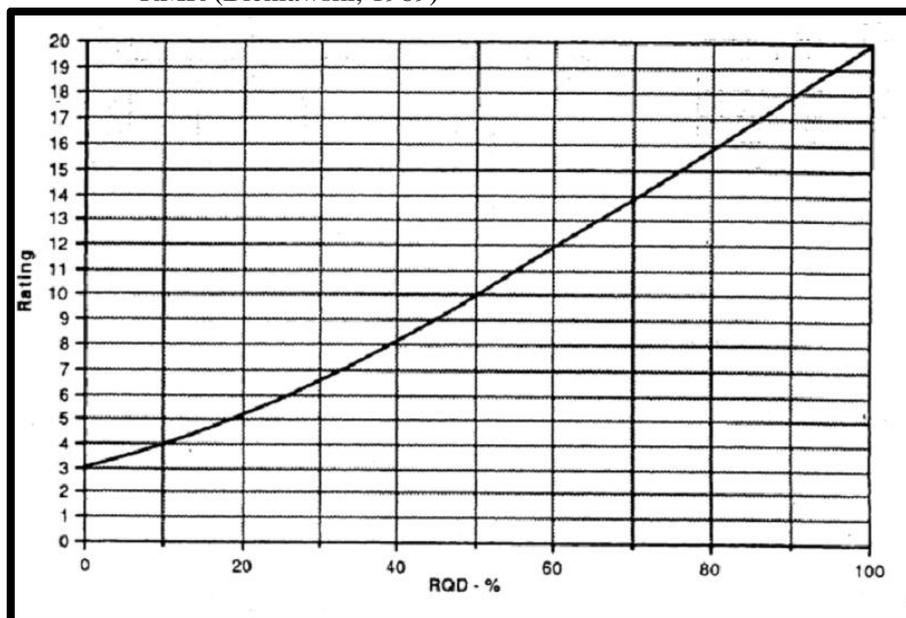
Dimana  $J_v$  merupakan jumlah kekar per  $m^3$

Berikut merupakan tabel hubungan antara jumlah kekar dengan nilai RQD pada batuan.

**Tabel 2.2.** Hubungan Antara Jumlah Kekar dengan Nilai RQD (Bieniawski, 1989)

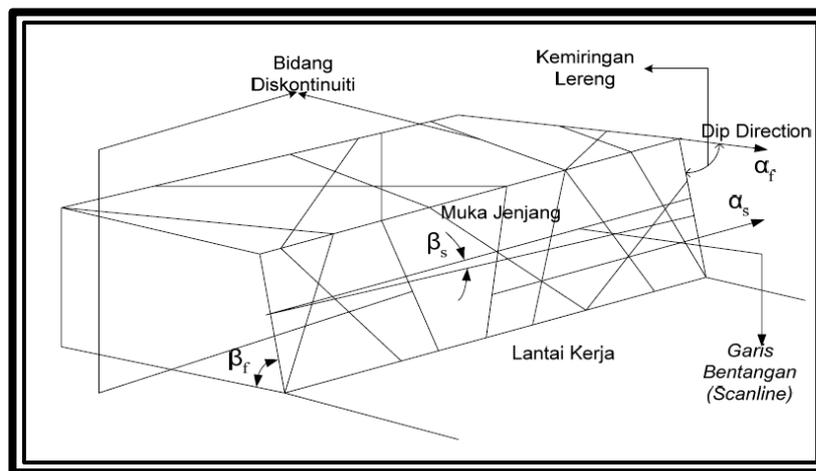
ROCK QUALITY DESIGNATION			RATING
1	Very Poor	>27 kekar per m <sup>3</sup>	0-25
2	Poor	20-27 kekar per m <sup>3</sup>	25-50
3	Fair	13-19 kekar per m <sup>3</sup>	50-75
4	Good	8-12 kekar per m <sup>3</sup>	75-90
5	Excelent	0-7 kekar per m <sup>3</sup>	90-100

**Tabel 2.3** Tabel Hubungan Antara Nilai RQD dan Nilai Parameter RQD pada RMR (Bieniawski, 1989)



### 2.6.3 Jarak Antar Bidang Diskontinu

Pada suatu bidang batuan dapat ditemukan beberapa buah kekar dengan jarak yang beragam. Hal ini dijumpai pula pada muka terowongan. Jarak antar kekar pada suatu bidang batuan berbeda-beda tergantung pada populasi kekar pada satu sisi bidang. Pada sisi yang dijumpai banyak kekar tentu membuat jarak antar kekar semakin kecil dan membuat nilai jarak antar kekar pada sistem RMR menjadi kecil, begitupun sebaliknya. (Bieniawski 1989)



**Gambar 2.7** Bidang Diskontinu (Bieniawski, 1989)

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

**Tabel 2.4** Tabel Hubungan Antara Ukuran Spasi Bidang Diskontinu dengan Nilai Parameter Spasi Diskontinu pada RMR (Bieniawski, 1989)

Deskripsi	Spasi diskontinuitas (m)	Rating
Sangat lebar ( very wide )	>2	20
Lebar ( wide )	0.6-2	15
Sedang ( moderate )	0.2-0.6	10

Rapat ( close )	0.006-0.2	8
Sangat rapat ( very close )	<0.006	5

#### 2.6.4 Kondisi Bidang Diskontinu

Kondisi bidang diskontinu yang menjadi parameter nilai RMR adalah panjang kekar, ukuran bukaan kekar, kekasaran bentuk kekar, isian kekar dan pelapukan pada kekar. (Bieniawski 1989)

##### *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, 1989)

<b>Kekerasan permukaan</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Pembobotan</b>
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 halis bila diraba	1
Licin berlapis ( <i>slikensided</i> )	Permukaan terlihat mengkilap	0

### *Separation*

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

(Bieniawski 1989)

**Tabel 2.6** Pemerian pemisahan Kekar (Bieniawski, 1989)

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

### *Continuity*

*Continuity* 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 (Bieniawski, 1989)

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

### *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 (Bieniawski, 1989)

<b>Istilah</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Nilai</b>
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

*Infilling (gouge)*

*Filling* atau 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. (Bieniawski 1989)

**Tabel 2.9** 1 pengisi diskontinuitas (Bieniawski, 1989)

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

#### **2.6.5. Kondisi Air Bawah Permukaan**

Pada saat proses ekskavasi terutama blasting, getaran dari blasting tersebut dapat mengakibatkan lapisan akuifer yang berakibat mengalirnya air pada bagian tertentu pada terowongan. Hal ini terjadi karena saat proses blasting terjadi getaran yang dapat membuat retakan/rekahan pada batuan dan apabila terdapat lapisan akuifer di sekitar area blasting, maka air yang ada pada lapisan tersebut akan mengalir melalui rekahan batuan yang saling terhubung akibat proses blasting. Pada klasifikasi RMR penentuan debit air bawah permukaan dilakukan tiap 10 meter dengan satuan liter per menit. (Bieniawski 1989)

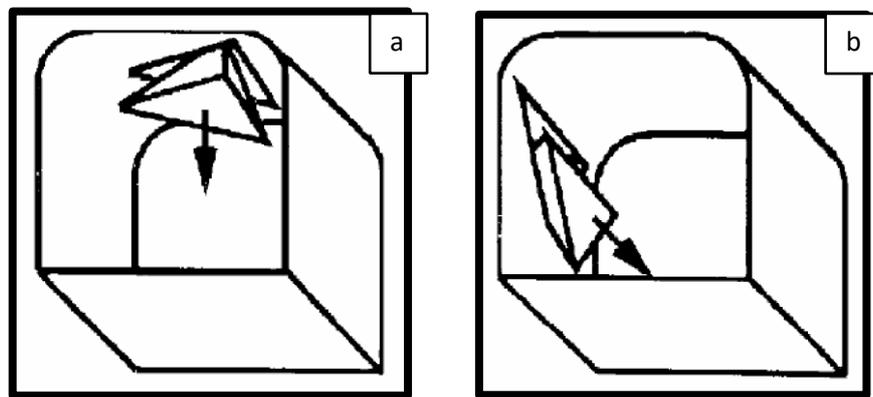
#### **2.6.6. Orientasi Bidang Diskontinu**

Bidang diskontinu yang dimaksud pada parameter ini adalah perlapisan batuan. Arah Strike dan Dip perlapisan batuan menjadi acuan. Pada parameter ini terbagi empat jenis arah strike dan dip, yakni arah strike tegak lurus dengan arah

terowongan, arah dip berlawanan dengan arah terowongan dan arah strike sejajar dengan arah terowongan. (Bieniawski 1989)

## 2.7. Supporting System

*Supporting System* atau sistem penyangga merupakan metode untuk menahan massa batuan pada sebuah terowongan, baik massa batuan dari bagian atas terowongan maupun pada bagian samping terowongan. (Hoek et al, 1993)



**Gambar 2.8** (a). Runtuhan Batuan dari Bagian Atas Terowongan (Hoek, 2000)

**Gambar 2.8** (b). Runtuhan Batuan Dari Bagian Samping Terowongan (Hoek, 2000)

### 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*.

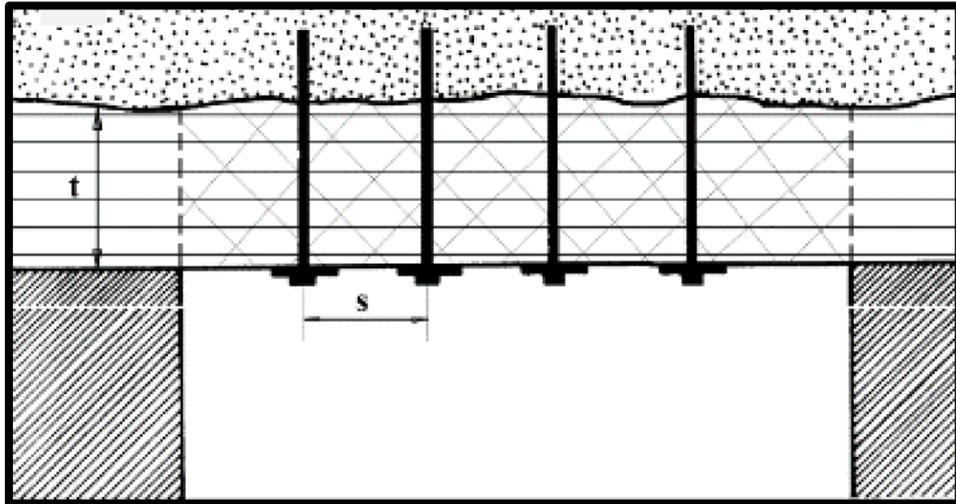
#### a. *Shotcrete*

*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 pasangkan, maka semakin berat beban diberikan ke tubuh batuan yang akan di *Shotcrete*, sehingga akan memicu runtuh. (Hoek et al, 1993)

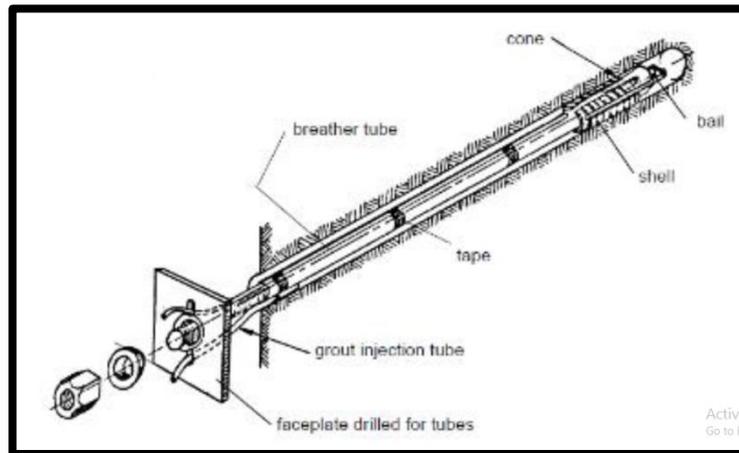
#### b. *Rockbolt*

*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 2.9** Pemasangan *Rockbolt* Tegak Lurus Arah Perlapisan Batuan (Hoek et al, 1993)

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 2.10** *Grouted Rockbolt* (Hoek et al, 1993)

### c. *Wiremesh*

Dalam kondisi batuan yang buruk maka pada lokasi tersebut harus menggunakan *Wiremesh*. *Wiremesh* merupakan rangkaian besi berbentuk jaring yang berguna untuk menahan runtuhnya 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 2.11** *Wiremesh* yang Terpasang dengan *Rockbolt* (Hoek et al, 1993)

#### 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)

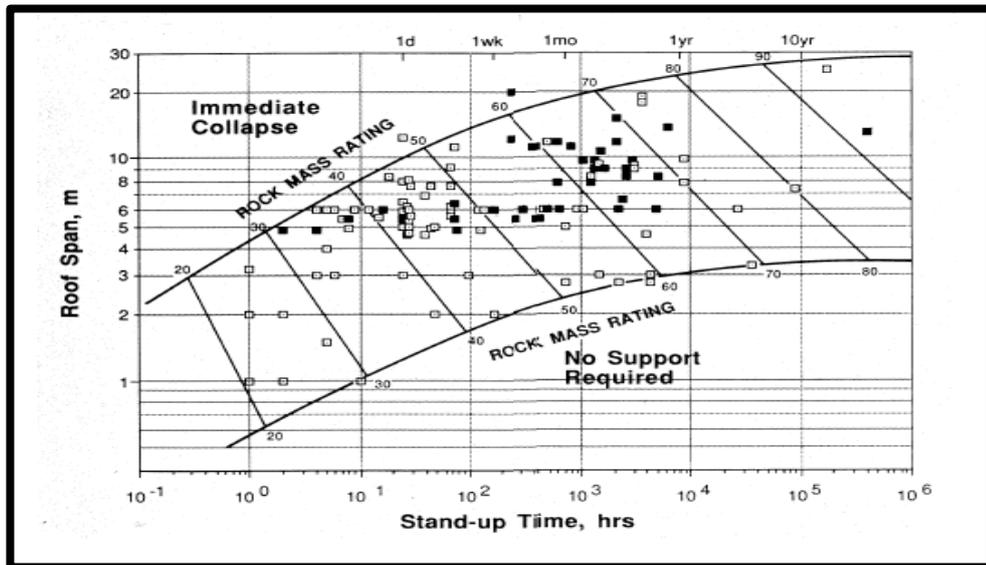


**Gambar 2.12** *Steelrib* (Ongodia, 2017)

#### **2.7.2. Dasar Penentuan Jenis Penyangga**

Nilai 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).

Sedangkan untuk menentukan kestabilan lubang bukaan dapat ditentukan melalui *Stand-up Time* dari nilai RMR menggunakan grafik *Span* terhadap *Stand-up time* (Bieniawski, 1989).



Gambar 2.12 Grafik Hubungan Antara *Span*, *Stand-up Time* dan RMR (Bieniawski, 1989)

Bieniawski mengembangkan grafik tersebut berdasarkan konsep dasar *stand-up time* Lauffer (1958). Keakuratan dari *stand-up time* ini menjadi diragukan karena nilai *stand-up time* sangat dipengaruhi oleh penggalan, ketahanan terhadap pelapukan, dan kondisi tegangan *in situ* yang merupakan parameter-parameter penting yang tidak tercakup dalam metode klasifikasi RMR. Oleh karena itu grafik ini digunakan hanya untuk tujuan perbandingan semata.

**Tabel 2.10** Rekomendasi Penyangga berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989)

Kelas Massa Batuan	Ekskavasi	Penyanggaan		
		<i>Rock Bolt</i> (D = 20 mm, Fully Grouted)	<i>Shotcrete</i>	<i>Steel Sets</i>
Kelas 1 Batuan Sangat Baik RMR : 81 – 100	<i>Full face</i> , kemajuan 3 m.	Umumnya, tidak diperlukan penyanggaan kecuali <i>spot bolting</i> .		
Kelas 2 Batuan Baik 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
Kelas 3 Batuan Sedang 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
Kelas 4 Batuan Buruk 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.
Kelas 5 Batuan Sangat Buruk 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> .