

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI**

**ANALISIS *STABILITAS* DINDING TEROWONGAN PADA ADIT- 1
DOWNSTREAM MENGGUNAKAN METODE *INSTRUMENTASI* PLTA
ENERGY HYDROPOWER KABUPATEN TANA TORAJA PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

SKRIPSI



OLEH

**NAMA : SUKMAWATI. S
NIM : D611 15 005**

**MAKASSAR
2020**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI**

**ANALISIS *STABILITAS* DINDING TEROWONGAN PADA ADIT- 1
DOWNSTREAM MENGGUNAKAN METODE *INSTRUMENTASI* PLTA
ENERGY HYDROPOWER KABUPATEN TANA TORAJA PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana
pada kurikulum strata satu (S-1) Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin*

OLEH
NAMA : SUKMAWATI. S
NIM : D611 15 005

**MAKASSAR
2020**

**ANALISIS STABILITAS DINDING TEROWONGAN PADA ADIT- 1
DOWNSTREAM MENGGUNAKAN METODE INSTRUMENTASI PLTA
ENERGY HYDROPOWER KABUPATEN TANA TORAJA PROVINSI
SULAWESI SELATAN**



SKRIPSI

OLEH

NAMA : SUKMAWATI S

NIM : D611 15 005

Tanggal Ujian : 09 November 2020

Tim Penguji :

1. Ir. Jamal Rauf Husein, M.T (Nip. 195803161988101001)

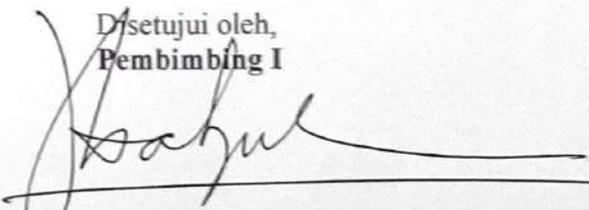
2. Dr. Ilham Alimuddin, S.T.,M.Gis (Nip. 196908251999031001)

Makassar, November 2020

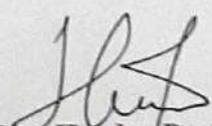
Diketahui oleh,
Kepala Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Unhas


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

Disetujui oleh,
Pembimbing I


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

Pembimbing II


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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah di publikasikan atau di tulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk memperoleh gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya, dimanapun, kecuali yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan di bantu oleh pihak pembimbing.

Makassar, November 2020

Penulis

METERAI
TEMPEL
2A226AHF737995043
6000
ENAM RIBU RUPIAH
Sukmawati S.



**ANALISIS STABILITAS DINDING TEROWONGAN PADA ADIT- 1
DOWNSTREAM MENGGUNAKAN METODE INSTRUMENTASI PLTA
ENERGY HYDROPOWER KABUPATEN TANA TORAJA PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

Sari

Daerah penelitian terletak di terowongan ADIT 1 *downstream* PT Malea Energy Hydropower, Kecamatan Makale Selatan, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan. Dalam pembangunan terowongan di perlukan mitigasi pada dinding terowongan karena dapat meminimalisir kecelakaan kerja yang di akibatkan oleh runtuhnya batuan di dalam terowongan sehingga sangat perlu di lakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis kestabilan terowongan untuk memitigasi kecelakaan dalam terowongan. Metode penelitian terdiri dari deskripsi geologi teknik muka terowongan untuk mengetahui bidang *diskontinu* dan penentuan kelas batuan menggunakan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *optical target measuring mean* yaitu teknik pengambilan data dengan mengukur dan memantau pergerakan pada dinding atau *crown* terowongan yang berpotensi untuk runtuh.

Pada penelitian ini permasalahan dinding terowongan menjadi penting. Sehingga untuk mengatasi permasalahan ini peneliti membuat perhitungan dari tinggi runtuh, beban amrukan, beban amrukan total dan *frightion strenght*. Yang menjadi permasalahan kurangnya data untuk persediaan orientasi data lapangan dan hasil analisis dari pengukuran digunakan dalam stabilitas dinding terowongan. Dengan terjadinya *collaps*, sangat dibutuhkan instrumen dalam terowongan.

Hasil dari analisis ini menggunakan pengolahan data sifat keteknikan batuan yang diperoleh dari laboratorium dan orientasi bidang diskontinu dari pengukuran dilapangan. Untuk data monitoring yang berada di stasiun 3+590 meter menampilkan grafik pergerakan yang berada di dinding/atap terowongan dengan kecepatan atau laju perpindahan rata-rata (12 mm/hari) dan memiliki nilai *safety factor* 1,59 termasuk dalam kondisi stabil. Sedangkan Untuk data monitoring yang berada di stasiun 3+640 meter menampilkan grafik pergerakan yang berada di dinding/atap terowongan dengan kecepatan atau laju perpindahan rata-rata (2,6 mm/hari) dan memiliki nilai *safety factor* 1,62 termasuk dalam kondisi stabil.

Kata Kunci: Pergerakan, Monitoring, Safety factor

**ANALISIS STABILITAS DINDING TEROWONGAN PADA ADIT- 1
DOWNSTREAM MENGGUNAKAN METODE INSTRUMENTASI PLTA
ENERGY HYDROPOWER KABUPATEN TANA TORAJA PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

Abstract

The research area is located in the ADIT tunnel 1 downstream of PT Malea Energy Hydropower, Makale Selatan District, Tana Toraja Regency, South Sulawesi Province. In the construction of the tunnel, it is necessary to mitigate the tunnel wall because it can minimize work accidents caused by the collapse of rocks in the tunnel so it is very necessary to do research that aims to analyze the stability of the tunnel to mitigate accidents in the tunnel. The research method consisted of a geological description of the tunnel face technique to determine the discontinuous plane and the determination of rock grade using the Rock Mass Rating (RMR) classification and optical target measuring mean, namely data collection techniques by measuring and monitoring the movement of the tunnel walls or crowns that have the potential to collapse.

In this research, the tunnel wall problem becomes important. So to overcome this problem the researchers made calculations of the height of the collapse, the load of the collision, the total load and the friction strength. The problem is the lack of data for the provision of field data orientation and analysis results from measurements used in the stability of the tunnel wall. With the occurrence of collapses, instruments in tunnels are urgently needed.

The results of this analysis use the processing of rock engineering properties data obtained from the laboratory and the orientation of the discontinuous plane from field measurements. For monitoring data at station 3 + 590 meters, it displays a graph of movement on the wall / roof of the tunnel with an average displacement speed or rate (12 mm / day) and has a safety factor value of 1.59, including in stable conditions. Meanwhile, for monitoring data at station 3 + 640 meters, it displays a graph of movement on the wall / roof of the tunnel with an average displacement speed or rate (2.6 mm / day) and has a safety factor value of 1.62, including in stable conditions.

Keywords: Movement, Monitoring, Safety factor

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Studi ANALISIS STABILITAS DINDING TEROWONGAN PADA ADIT- 1 DOWNSTREAM STA 3+590 DAN 3+640 DENGAN MENGGUNAKAN METODE INSTRUMENTASI PLTA ENERGY HYDROPOWER KABUPATEN TANA TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN.**”

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan laporan ini, antara lain :

1. Bapak Dr.Ir. Busthan Azikin, M.T Sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan dan wawasan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan laporan.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T, M. Eng. Sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan wawasan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan laporan.
3. Bapak Ir. Jamal Rauf Husain, M.T sebagai dosen penguji dalam seminar skripsi yang telah memberikan saran dan koreksi dalam tulisan ilmiah ini
4. Bapak Dr. Ilham Alimuddin, S.T, M.Gis. PhD sebagai dosen penguji dalam seminar skripsi yang memberikan saran yang dapat mengembangkan tulisan ilmiah ini

5. Bapak Dr. Eng. Asri jaya HS, ST., M.T, Sebagai Ketua Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L,M.T Sebagai penasehat akademik yang telah memberikan arahan selama masa studi.
7. Kedua orang tua, kakak dan adik tercinta atas dukungan moril, spritual dan materil yang tidak henti menjadi motivator penulis .
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen atas bimbingan selama masa studi Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
9. Staf atas segala bantuannya selama studi Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
10. Tim *Engineering Geologist* PT Malea *Energy Hidropower* Tana Toraja yang telah membantu penulis didalam penyelesaian laporan ini.
11. Rekan-rekan seangkatan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin angkatan 2015 (AGATE). Terima kasih atas segala suka, duka, semangat dan kekeluargaannya selama studi.
12. Seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyelesaian skripsi ini

Semoga Allah SWT memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan laporan dan semoga amal baik tersebut mendapatkan imbalan dari-Nya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan lengkap ini jauh dari sempurna, baik dari segi penyusunan, bahasan, ataupun penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun, khususnya

dari dosen pembimbing guna menjadi acuan dalam bekal pengalaman bagi penulis untuk lebih baik di masa yang akan datang.

Semoga laporan lengkap ini dapat memberikan manfaat bagi yang membacanya, Amin Ya Rabbal Alamin.

Wassalamualaikum Warahmatulahi Wabarakatu.....

Makassar, November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
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 Penelitian	4
1.7 Peneliti Terdahulu.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Geologi Regional	6
2.1.1 Geomorfologi Regional	6
2.1.2 Stratigrafi Regional	7
2.1.3 Struktur Geologi dan Tektonik Regional	11
2.2 <i>Rock Mass Rating</i> (RMR).....	11

2.3 Instrumentasi	22
2.4 Deformasi	23
2.5 Kekuatan Geser Tanah	24
2.6 <i>Total Station</i>	25
2.7 <i>Safety Factor</i>	27
2.8 Perangkat Lunak <i>Phase 2</i>	31
2.8.1 Parameter Analisis Data <i>Phase 2</i>	32
2.8.2 Output data aplikasi <i>Phase 2</i>	33
BAB III METODE PENELITIAN	34
3.1 Variabel Penelitian	34
3.1.1 Variabel Dependen	34
3.1.2 Variabel Independen	34
3.2 Metode Penelitian	34
3.3 Tahapan Penelitian	35
3.3.1 Tahapan Persiapam	35
3.3.2 Tahapan pengumpulan data	36
3.3.3 Tahapan pengolahan data dan analisis laboratoriu.....	38
3.3.4 Tahapan interpretasi data	38
3.3.5 Tahapan Penyusunan Skripsi	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil Penelitian	41
4.2 Geologi Daerah Penelitian	42
4.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian	42
4.2.1.1 Satuan bentangalam pegunungan denudasional.....	43
4.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	44
4.1.2.1 Satuan Batupasir	44
4.1.2.2 Satuan Serpih	46
4.2.3 Struktur geologi daerah penelitian.....	47
4.3 Parameter Potensi Runtuhan Dinding Terowongan	48

4.3.1 Sifat Keteknikan Batuan.....	49
4.3.1.1 Sifat Fisik Batuan	49
4.3.1.2 Sifat Mekanik Batuan.....	49
4.4 Identifikasi Kelas Batuan	51
4.4.1 Stasiun 1 (Chainage 3+590)	51
4.4.2 Stasiun 2 (Chainage 3 +640)	55
4.5 Analisis Instrumentasi.....	58
4.5.1 Data Monitoring	58
4.5.2 Faktor Keamanan dalam Aplikasi <i>Phase 2</i>	60
4.5.2.1 STA (3+640).....	61
4.3.2.2 STA (3+590).....	62
BAB V PENUTUP.....	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

1. Deskripsi Petrografi
2. Peta Stasiun
3. Peta Geologi
4. Peta Geomorfologi
5. *Work Sheet*

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi.....	4
Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lembar Majene dan Bagian barat lembar palopo	10
Gambar 2.2 Cara kerja Total Station pada saat dilapangan dengan menggunakan metode instrumentasi.....	23
Gambar 2.3 Span pada bukaan terowongan.....	27
Gambar 2.4 Tinggi Runtuh pada terowongan.....	29
Gambar 2.4 Contoh input data bukaan ekskavasi headrace tunnel menggunakan <i>phase 2</i>	32
Gambar 2.5 Contoh input data Field Stress dengan sigma 1, sigma 2 dan sigma 3.....	33
Gambar 3.1 Diagram alur tahapan penelitian	40
Gambar 4.1 Kenampakan satuan bentangalam Perbukitan Denudasional dengan arah foto N260°E.....	44
Gambar 4.2 Kenampakan singkapan batupasir pada daerah penelitian dengan arah foto N 280° E.....	45
Gambar 4.3 Kenampakan petrografis <i>Arcosic Arenit</i> pada sayatan SWS/ST01/BS.....	46
Gambar 4.4 Kenampakan Serpih pada daerah penelitian dengan arah foto N120°E	46
Gambar 4.5 Kenampakan petrografis <i>Feldspatic Wacke</i> pada sayatan SWS/ST02/BS.....	47
Gambar 4.6 Struktur lipatan minor pada daerah penelitian dengan arah foto N 162°E.....	48
Gambar 4.7 Kenampakan penciri sesar minor pada daerah penelitian dengan arah foto N 130° E.....	48
Gambar 4.8 Hasil uji kohesi (C), sudut geser dalam (O) dan Tensile strenght pada batupasir	50
Gambar 4.9 Hasil uji kohesi (C), sudut geser dalam (O) dan Tensile strenght pada batuan serpih.....	50

Gambar 4.10 Monitoring Graph HTA1 D STA 3+ 590.....	56
Gambar 4.11 Monitoring Graph HTA1 D STA 3+640.....	57
Gambar 4.12 Total Displacement pada Sta (3+640).....	59
Gambar 4.13 Total Displacement pada Sta (3+590).....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Sistem <i>Rock Mass Rating</i> (Bieniawski, 1989).....	13
Tabel 2.2	Pembobotan kekuatan material batuan utuh	14
Tabel 2.3	Kualitas Batuan Berdasarkan RQD.....	15
Tabel 2.4	Jarak antar diskontinuitas.....	16
Tabel 2.5	Penggolongan dan Pembobotan Kekasaran	17
Tabel 2.6	Pemerian pemisahan Kekar	18
Tabel 2.7	Klasifikasi Kemenerusan	18
Tabel 2.8	Pemerian Tingkat Pelapukan Batuan	18
Tabel 2.9	Material pengisi diskontinuitas	19
Tabel 2.10	Pembobotan Nilai kondisi air tanah.....	20
Tabel 2.11	Pengaruh kekar terhadap sumbu terowongan	20
Tabel 2.12	Pengaruh Orientasi Kekar	21
Tabel 2.13	Nilai RMR dari semua perhitungan semua parameter	21
Tabel 2.14	Penggunaan <i>Klasifikasi Rock Mass Rating</i>	22
Tabel 2.15	Nilai Resultan dari <i>Total Station</i> pada stasiun 3+590	26
Tabel 2.16	Nilai Resultan dari <i>Total Station</i> pada stasiun 3+640	27
Tabel 2.17	Kebutuhan data pada beban amrukan.....	28
Tabel 2.18	Kebutuhan data amrukan total.....	28
Tabel 2.19	Kebutuhan data untuk simulasi nilai <i>safety factor</i>	28
Tabel 2.20	Klasifikasi muatan batuan (Terzaghi, 1946) dalam (Biewniaski 1989)	29
Tabel 2.21	Klasifikasi tinggi muatan batuan (H_t) pada kedalaman lebih dari 1,5 ($B + H_t$)(<i>terzagli, 1946</i>) Dalam (Biewniaski, 1989.)	30
Tabel 2.22	Deskripsi nilai faktor keamanan (Hoek and Bray, 1991).....	31
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan sifat Fisik Batuan.....	48
Tabel 4.2	Hasil Uji Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan.....	51
Tabel 4.3	Paramater Nilai RMR (Rock Mass Rating).	53
Tabel 4.4	Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada STA 3+590.....	54
Tabel 4.5	Paramater Nilai RMR (Rock Mass Rating).....	56

Tabel 4.6 Klasifikasi Kelas Batuan menggunakan Rock Mass Rating oleh Bieniawski 1989 pada STA 3+640.....	57
Tabel 4.7 Tabel data kebutuhan untuk simulasi kestabilan dengan menggunakan tools.....	61
Tabel 4.8 Hasil perhitungan nilai <i>safety factor</i>	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat melaksanakan pengerjaan terowongan peluang terjadinya kecelakaan kerja dalam terowongan cukup besar. Salah satu kecelakaan ini diakibatkan kondisi batuan yang mudah runtuh yang disebabkan oleh kualitas batuan yang buruk.

Salah satu pembangunan infrastruktur pembangkit listrik tenaga air (PLTA) di laksanakan berada di PT Malea Energy Hydropower Kabupaten Tana Toraja Sulawesi Selatan. Salah satu proses yang menghambat pengerjaan infrastruktur yaitu kondisi terowongan yang dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah tersebut, sehingga untuk mengetahui kestabilan terowongan pengukuran geologi sangat diperlukan. Salah satu faktor geologi yang dapat mempengaruhi kondisi terowongan adalah struktur geologi. Struktur geologi dapat berupa *joint set* atau sesar. Faktor lain yang dapat mempengaruhi kondisi terowongan ialah rembesan air. Faktor-faktor ini dapat dihitung secara kuantitatif dengan klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR).

Peristiwa *collapse* batuan di lokasi penelitian terjadi bulan April 2019 dan selanjutnya pada bulan Agustus 2019. Maka dari kejadian itu, dilakukan monitoring terowongan untuk memantau pergerakan pada dinding ataupun pada *crow*n terowongan.

Panjang terowongan yang berada di daerah penelitian yaitu 11 km. Adapun stasiun yang menjadi titik lokasi penelitian itu berada pada ADIT-1 *Downstream* pada stasiun 3 + 590 – 3 + 640 m. Di titik ini pernah terjadi *collapse* karena disebabkan oleh pembebanan batuan dari atas *crown* terowongan atau ketika dilakukan peledakan dalam proses ekskavasi terowongan.

Metode monitoring yang dilakukan pada daerah penelitian adalah *optical target measuring mean* yaitu teknik pengambilan data dengan mengukur dan memantau pergerakan pada dinding atau *crown* terowongan yang berpotensi untuk runtuh atau *collapse*. Peralatan dan perlengkapan yang digunakan berupa alat ukur *total station* (TS). Dari peristiwa runtuh pada dinding atau *crown* terowongan, maka diperlukan studi penelitian untuk memitigasi batuan di daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

- a) Bagaimana kondisi karakteristik batuan di lokasi penelitian
- b) Bagaimana penentuan perubahan posisi deformasi pada lokasi penelitian
- c) Bagaimana kestabilan atap terowongan pada lokasi penelitian

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini hal-hal yang akan dijadikan batasan sebagai pedoman pelaksanaan penelitian yaitu :

- a) Pengambilan sampel batuan berada di dua titik stasiun untuk pengamatan petrografi (nama batuan) dan pengamatan sifat keteknikan batuan.
- b) Analisis pergerakan terowongan menggunakan alat *total station*. Dengan metode *optical target measuring mean* yaitu mengukur dan memonitoring pergerakan yang terjadi pada dinding terowongan.
- c) Pengaruh perubahan posisi deformasi yang berada di atap dan dinding terowongan di analisis dengan menggunakan software *phase 2* yang bisa memperlihatkan kondisi terowongan dalam gambar 2 dimensi.
- d) Penelitian di laksanakan pada titik stasiun 3+590 meter dan 3+640 meter.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yaitu :

- a) Untuk menganalisis karakteristik batuan pada dinding ADIT-1 *downstream* stasiun 3 + 590 dan 3 + 640 meter.
- b) Untuk menganalisis adanya deformasi pada ADIT-1 *downstream* stasiun 3 + 590 dan 3 + 640 meter.
- c) Untuk melakukan validasi nilai RMR (Rock Mass Rating) dan *phase 2* pada ADIT-1 *downstream* stasiun 3 + 590 dan 3 + 640 meter.

1.5 Manfaat Penelitian

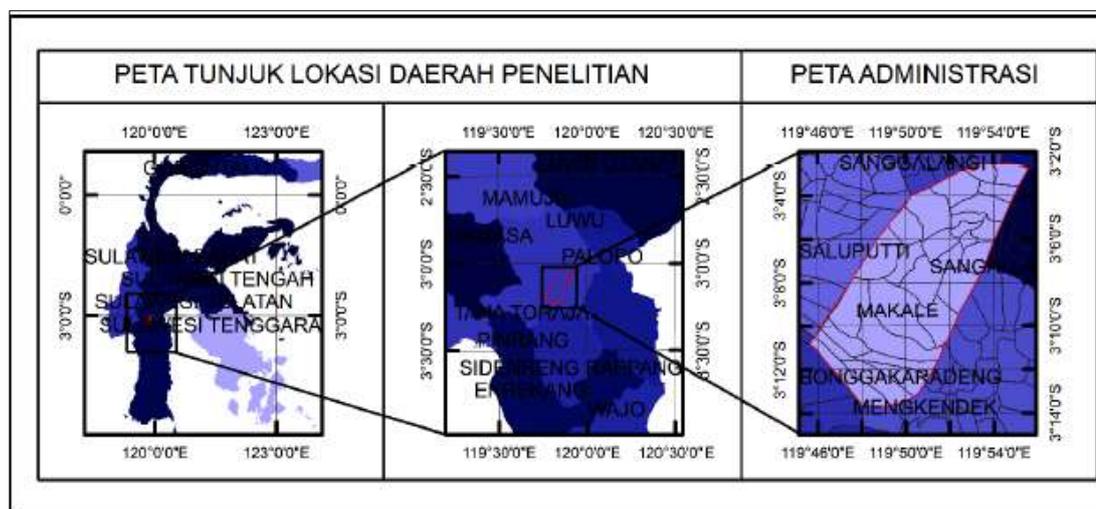
Manfaat dari Penelitian pada terowongan bendungan PLTA untuk mendapatkan informasi tentang kondisi kondisi batuan, kestabilan serta faktor keamanan terowongan. Semoga penelitian ini juga dapat memberi rekomendasi mengenai pergerakan dinding terowongan setelah diketahui

faktor keamanan agar mengutamakan keselamatan para pekerja dan masyarakat sekitar.

1.6 Letak, Luas, dan Kesampaian Daerah Penelitian

Secara administratif, daerah penelitian termasuk dalam daerah Kecamatan Makale Selatan Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1.1). Secara astronomis daerah penelitian terletak pada $119^{\circ} 30' 10'' - 120^{\circ} 30' 30''$ Bujur Timur dan $02^{\circ} 40' 10'' - 03^{\circ} 25' 30''$ Lintang Selatan. Daerah ini terpetakan dalam Peta Rupa Bumi Indonesia Sekala 1 : 50.000 Lembar Mamuju dan Palopo Bagian Barat.

Daerah penelitian dapat ditempuh selama ± 12 jam dengan menggunakan transportasi darat dari Kota Makassar menuju ke Kabupaten Tana Toraja, dan memasuki kawasan PLTA Malea Hydropower selama ± 30 menit lamanya hingga tiba di Kecamatan Makale Selatan Kabupaten Tana Toraja.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Penelitian

1.7 Peneliti Terdahulu

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

- a. Djuri, (1998), meneliti tentang geologi regional lembar majene dan bagian barat lembar palopo sulawesi selatan.
- b. Rahim. A . 2019, Analisis Karakteristik Batuan Menggunakan Metode RMR dan Q-System untuk Penentuan Kestabilan *Headrace Tunnel* PLTA Tana Toraja Sulawesi Selatan. Thesis, Page 102 Universitas Hasanuddin, Makassar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

2.1.1 Geomorfologi Regional

Daerah penelitian merupakan salah satu daerah paling utara dari propinsi Sulawesi Selatan, daerah tanah toraja 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 dari proses Tenggara – Barat laut dari muara sungai Cenrana melalui danau Tempe sampai muara sungai Sa'dang. (Djuri dan Sudjatmiko, 1974)

Pada umumnya daerah Tana Toraja adalah berupa perbukitan, pegunungan dan hanya sebagian kecil yang merupakan pedataran dan lembah sempit. Daerah Tanah Toraja berada pada ketinggian sekitar 600 – 2600 meter dari muka laut. Topografi daerah ini di kontrol oleh jenis batuan, struktur geologi dan proses geologi muda seperti erosi dan pelapukan. Daerah perbukitan dan pegunungan dikontrol 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. Bagian Utara dari lengan Selatan merupakan daerah pegunungan yang memanjang dari Majene sebagai

pegunungan Quarless. Puncak – puncak dari pegunungan ini adalah Gunung Kalando, Gunung Sesean, dan Gunung Karua. (Djuri dan Sudjarmiko, 1974)

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° - 20° , lapisan penutup adalah soil hasil residual batuan sekitar dan hasil longsoran.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional daerah proyek PLTA Malea yang termasuk dalam peta Daerah Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo (Djuri dan Sudjarmiko, 1974), terbentuk oleh beraneka macam batuan seperti, batuan sedimen, malihan, gunung api dan terobosan. Umurnya berkisar dari Mesozoikum sampai Kuartar. Satuan tertua di Lembar ini adalah Batuan Malihan yang terdiri dari sekis, gneis, filit dan batusabak. Satuan ini mungkin dapat disamakan dengan Kompleks Wana di Lembar Pasangkayu yang diduga berumur lebih tua dari Kapur dan tertindih takselaras oleh Formasi Latimojong (Kls). Formasi ini tersusun oleh filit, kuarsit, batulempung malihan dan pualam yang berumur Kapur.

Satuan berikutnya adalah Formasi Toraja (Tet) terdiri dari batupasir kuarsa, konglomerat kuarsa, kuarsit, serpih dan batulempung yang umumnya berwarna merah atau ungu. Formasi ini mempunyai Anggota Rantepao (Tetr) yang terdiri dari batugamping numulit berumur Eosen Tengah Eosen Akhir. Formasi Toraja menindih takselaras dengan Formasi Latimojong, dan tertindih

takselaras oleh Batuan Gunung Api Lamasi (Toml) yang terdiri dari Batuan Gunung api, sedimen Gunung api dan batugamping yang berumur Oligosen Akhir - Miosen Awal. Batuan Gunung api ini mempunyai Anggota Batugamping (Tomc), tertindih selaras oleh Formasi Riu (Tmr) yang terdiri dari batugamping dan napal. Formasi Riu berumur Miosen Awal - Miosen Tengah, tertindih takselaras oleh Formasi Sekala (Tmps) dan Batuan gunung api Talaya (Tmtv). Formasi Sekala terdiri dari grewake, batupasir hijau, napal dan batugamping bersisipan tuf dan lava bersusunan andesit-basal; berumur Miosen Tengah - Pliosen; berhubungan menjemari dengan Batuan Gunung api Talaya. Batuan Gunung api Talaya terdiri dari breksi, lava dan tuf yang bersusunan andesit-basal dan mempunyai Anggota Tuf Beropa (Tmb). Batuan Gunungapi Talaya menjemari dengan batuan Gunung Api Adang (Tma) yang terutama bersusunan leusit basalt.

Berikut adalah penjelasan masing-masing formasi/unit batuan yang diawali dari satuan batuan tertua ke satuan batuan termuda.

- a) Formasi Sekala (*Tmps*) : terdiri dari batupasir, konglomerat, serpih, tuf, sisipan lava andesit – basalan, mengandung foraminifera berumur Miosen Tengah – Pliosen dengan lingkungan pengendapan laut dangkal, tebalnya sekitar 500 m. Di Lembar Mamuju (Ratman dan Atmawinata, 1993) formasi ini juga disusun oleh batupasir hijau, napal dan lava bantal, dan sebagian batuan bercirikan endapan turbidit
- b) Batuan Gunungapi Walimbong (*Tmpv*) : terdiri dari lava bersusunan basal sampai andesit, sebagian lava bantal; breksi andesit piroksin, breksi andesit trakit; mengandung feldspatoid di beberapa tempat diendapkan di

lingkungan laut. diduga berumur Miosen Pliosen karena menjemari dengan Formasi Sekala yang berumur Miosen Tengah – Pliosen, tebalnya ratusan meter.

GEOLOGI REGIONAL DAERAH PENELITIAN



1 : 250.000

KETERANGAN

 LOKASI PENELITIAN

 SESAR NAIK

 SESAR ATAU KEMENERUSAN

 Qpbt TUF BARUPU : Tuf, putih hingga kelabu muda, mengandung biotit dan batuapung, bersusunan dasit; setempat dijumpai breksi batuapung. Umumnya diduga Pliosen dan tebalnya sekitarnya 300 m. Nama satuan ini pertamakali digunakan oleh Abendanon (1915).

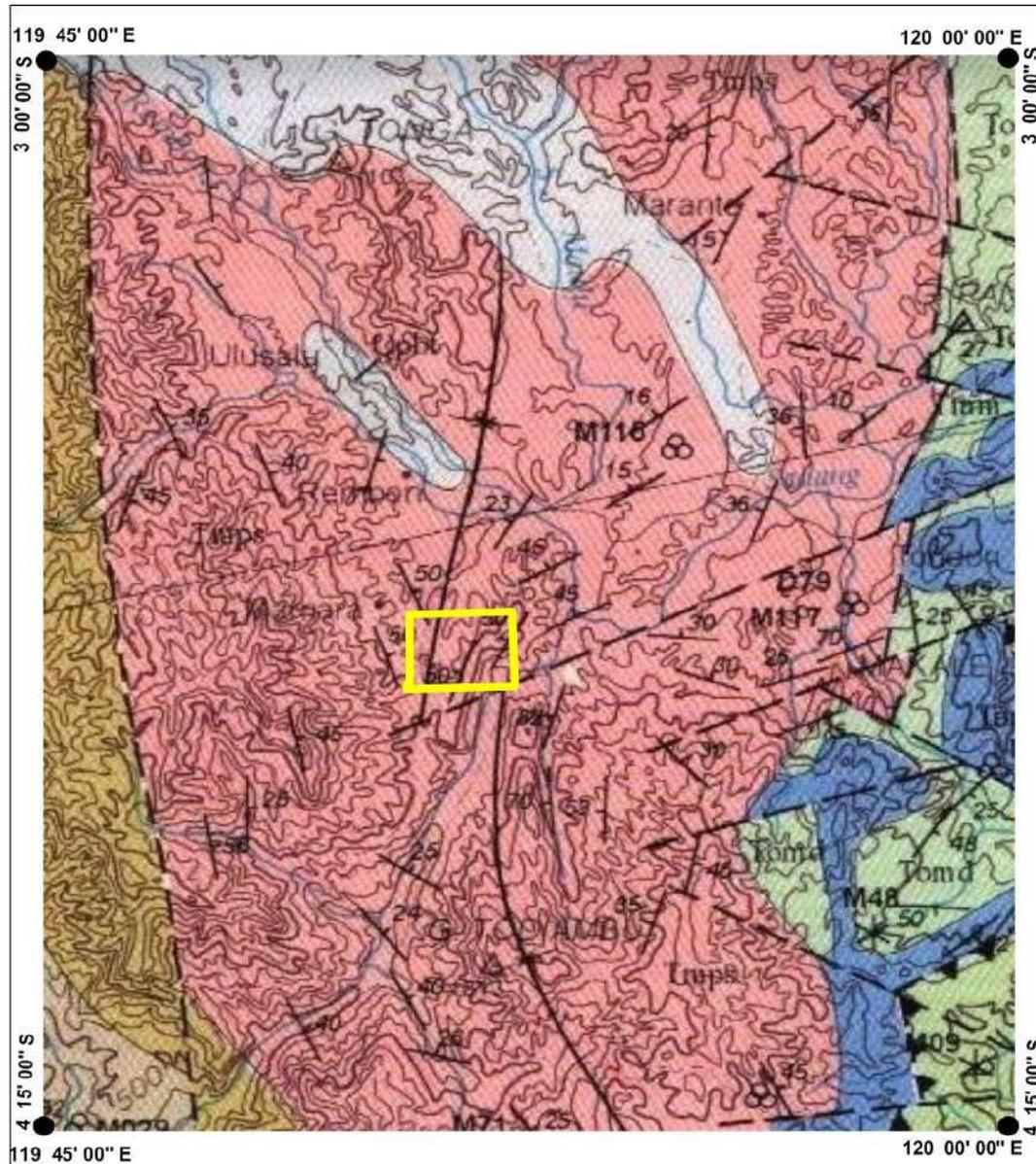
 Tmpv BATUAN GUNUNGAPI WALIMBONG: Lava bersusunan basal sampai andesit, sebagian lava bantal; breksi andesit piroksin, breksi andesit trakit, mengandung feldspatoid di beberapa tempat; diendapkan di lingkungan laut; diduga berumur Mio-Pliosen karena menjamari dengan Formasi Sekala yang berumur Miosen Tengah - Pliosen, tebalnya ratusan meter.

 Tmpss FORMASI SEKALA : Batupasir, konglomerat, serpih, tuf, sisipan lava andesitan - basalan; mengandung foraminifera berumur Miosen Tengah - Pliosen dengan lingkungan pengendapan laut dangkal; tebalnya sekitar 500 m. Di Lembar Mamuju (Ratman dan Atmawinata, 1993) formasi ini juga disusun oleh batupasir hijau, napal dan lava bantal, dan sebagian batuan bercirikan endapan turbidit.

 Tomd FORMASI DATE : Napal diselingi batulanau gampingan dan batupasir gampingan; tebal singkapan mencapai 500 - 1000 m; kandungan foraminifera menunjukkan umur Oligosen Tengah - Miosen Tengah dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Di Lembar Mamuju (Ratman dan Atmawinata, 1993) formasi ini disebut Formasi Riu.

 Tomm FORMASI MAKALE : Batugamping terumbu, terbentuk di laut dangkal, umumnya diduga Miosen Awal - Miosen Tengah.

 Tml FORMASI LOKA : Batuan epiklastik gunungapi terdiri dari batupasir andesitan, batulanau, konglomerat dan breksi. Berlapis hingga masif, terutama sebagai endapan darat hingga delta dan laut dangkal. Fosil foraminifera menunjukkan umur Miosen Tengah - Miosen Akhir, tebalnya mencapai ratusan meter.



Gambar. 2.1 Peta Geologi Regional Lembar Majene dan Bagian barat lembar palopo, Djuri dan Sudjatmiko, 1974

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Lembar Majene dan Bagian Barat Palopo terletak di Mendala Geologi Sulawesi Barat . Mendala ini dicirikan oleh batuan sedimen laut dalam berumur Kapur - Paleogen yang kemudian berkembang menjadi batuan Gunungapi bawah laut dan akhirnya gunungapi darat di akhir Tersier. Batuan terobosan granitan berumur Miosen-Pliosen juga mencirikan mendale ini. Sejarah tektoniknya dapat diuraikan mulai dari jaman Kapur, yaitu saat Mendala Geologi Sulawesi Timur bergerak ke Barat mengikuti gerakan tunjaman landai ke Barat di bagian Timur Mendala Gaologi Sulawesi Barat. Penunjaman ini berlangsung hingga Miosen Tengah, saat kedua mendala tersebut bersatu.

Pada akhir Miosen - Tengah sampai Pliosen terjadi pengendapan sedimen molasa secara tak selaras di atas seluruh Mendala Geologi di Sulawesi, serta terjadi terobosan batuan granitan di Mendala Geologi Sulawesi Barat, Pada Pliosen seluruh daerah Sulawesi. Didaerah pemetaan sudah mengakibatkan terbentuknya lipatan dengan sumbu berarah Baratlaut – Tenggara. Serta sesar naik dengan bidang sesar miring ke timur. Setelah itu seluruh daerah Sulawesi terangkat dan membentuk bentangalam seperti sekarang ini. (Sukamto, 1975).

2.2 *Rock Mass Rating (RMR)*

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 standard dan prosedur yang berlaku secara

Internasional (Bieniawski, 1979). 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.

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 diskontinu.

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 lima parameter yang digunakan untuk mengklasifikasikan massa batuan dengan sistem RMR :

- a. Kuat tekan uniaksial batuan utuh
- b. *Rock Quality Designation* (RQD)
- c. Spasi bidang diskontinu
- d. Kondisi bidang diskontinu
- e. Kondisi air tanah
- f. 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. 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. Mengenai kelima parameter yang digunakan dalam klasifikasi geomekanika dijelaskan sebagai berikut:

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

Parameter		Selang Nilai							
1	Kuat tekan batuan	Point-load strength index (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Untuk nilai rendah menggunakan UCS test		
		Uniaxial compressive strength (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	25-May	5-Jan	<1
	Nilai	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Nilai		20	17	13	8	3		
3	Spasi Kekar		>2 M	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60		
	Nilai		20	15	10	8	5		
4	Kondisi Kekar		Permukaan sangat kasar, Tidak menerus, tidak renggang, tidak lapuk	Agak kasar, renggang <1 mm, Agak lapuk	Agak Kasar, renggang <1 mm, pelapukan tinggi	Slickensite/gauge <5 mm, renggang 1-5 mm, menerus	Gauge lemah, tebal >5 mm, jarak anrata kekar >5 mm, Menerus		
	Nilai		30	25	20	10	0		
5	Air Tanah	Aliran/Per 10 M panjang terowongan (L/min)		<10	10-25	25-125	>125		
		Keadaan Umum	kering	Lembab	Basah	menetes	Mengalir		
	Nilai		15	10	7	4	0		

a. *Uniaxial Compressive Strenght* (UCS)

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan (uji *point load Test*). UCS menggunakan mesin tekan untuk menekan sampel batuan dari satu arah (*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.

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>extreming strong</i>)	100 – 250	4 – 10	12
Kuat (<i>strong</i>)	50 – 100	2 – 4	7
Sedang (<i>moderate</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

Pada uji kuat tekan uniaksial terdapat tipe pecah suatu contoh batuan pada saat runtuh. Tipe pecah contoh batuan tergantung pada tingkat ketahanan contoh batuan dan kualitas permukaan contoh batuan yang bersentuhan langsung dengan permukaan alat penekan saat pembebanan.

Kekutan batuan utuh merupakan kekuatan dari batuan utuh (*intact rock*) yang diperoleh dari hasil uji UCS di laboratorium dan pengujian dilapangan dengan *point load test* . penentuan nilai UCS oleh *American Society for testing Material (ASTM)* *Designation* : D 3148- 02 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

σ = Nilai UCS

P= Tekanan

A= Luas Bidang

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*).

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

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 (Bieniawski, 1989)

RQD (%)	Kualitas Batuan	Rating
<25	Sangat jelek (<i>very poor</i>)	3
25-50	Jelek (<i>poor</i>)	8
50-75	Sedang (<i>fair</i>)	13
75-90	Baik (<i>good</i>)	17
90-100	Sangat Baik (<i>excellent</i>)	20

Menurut Palmstorm 1982, bila sampel *coring* tidak tersedia, RQD dapat di tentukan dari jumlah diskontinu per volume 1 m³ pada bidang diskontinu dipermukaan terowongan dengan rumus sebagai berikut :

$$RQD = 115 - (3,3 \times J_v)$$

Dimana J_v adalah jumlah dari kekar per satuan panjang dari keseluruhan kekar (diskontinu).

RQD merupakan parameter yang dapat berubah secara signifikan, ditentukan oleh bagaimana arah lubang bor pada *coring*. Perhitungan RQD dalam volume 1 m³ menghasilkan nilai yang lebih representatif pada massa batuan. Retakan yang diakibatkan oleh peledakan tidak perlu dihitung dalam perhitungan jumlah diskontinu atau J_v (Palmstorm, 1982).

c. Spasi Diskontinu

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 *joint set* yang berurutan sepanjang garis pengukuran (*scanline*) yang dibuat secara acak.

Pada perhitungan nilai RMR, parameter jarak antar diskontinuitas diberi bobot berdasarkan nilai spasi diskontinunya seperti tertera pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jarak antar diskontinuitas (Biewniaski 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

d. Kondisi Bidang Diskontinu

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

1) Kekasaran (*Roughness*)

Kekasaran (*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 2.5 Penggolongan dan Pembobotan Kekasaran (Bieniawski, 1989)

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 halis bila diraba	1
Licin berlapis (<i>slikensided</i>)	Permukaan terlihat mengkilap	0

2). Bukaan Kekar (*Aperture*)

Merupakan jarak antara kedua kekar permukaan bidang diskontinu. Jarak ini biasanya diisi oleh material lainnya (*filling material*) atau bisa 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

3). Panjang Diskontinuitas (*Continuity*)

Panjang Diskontinuitas (*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 2.7.

Tabel 2.7 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

4). Pelapukan (*Weathering*)

Seberapa besar tingkat pelapukan yang dialami oleh batuan dapat ditentukan dengan melihat perubahan warna pada tubuh batuan dengan mata secara telanjang. deskripsi tingkat pelapukan dapat dilihat pada tabel 2.8.

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 disintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau mengalami perubahan warna masih tetap ada	1
Pelapukan lengkap	Seluruh material batuan terdekomposisi dan atau disintegrasi menjadi tanah. Struktur massa batuan yang asli masih ada	0

5). Pengisi (*Infilling, gouge*)

Pengisi (*Infilling*) yaitu material pengisi antara dua permukaan bidang diskontinu yang dapat 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 (Biewniaski, 1989)

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

e. 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, basah, air menetes atau air mengalir.

Tabel 2.10 Pembobotan Nilai kondisi air tanah (Biewniaski 1989)

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 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 2.11

Tabel 2.11 Pengaruh kekar terhadap sumbu terowongan (Bieniawski, 1989)

Strike tegak lurus dengan terowongan		Strike searah 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 di olah dengan cara manual. Adapun pengaruh nilai arah kekar terhadap beberapa orientasi dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2.12 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 2.13 Nilai RMR dari semua perhitungan semua parameter (Biewniaski, 1989)

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 tabel 2.14.

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).

Tabel 2.14 Penggunaan *Klasifikasi Rock Mass Rating*

Profil Massa Batuan	Deskripsi				
Rating RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Kohesi	>400 kPa	300-400 kPa	200-300 kPa	100-200 kPa	<100 kPa
Sudut Geser Dalam	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°
Kestabilan	Sangat stabil	Stabil	Agak stabil	Tidak stabil	Sangat tidak stabil
Keruntuhan	Tidak ada	Sedikit Blok	Rekahan, beberapa membaji	Planar, baji besar	Bidang Planar besar atau seperti tanah
<i>Support</i>	Tidak perlu	Kadang-kadang	Sistematis	Koreksi penting	Penggalian ulang

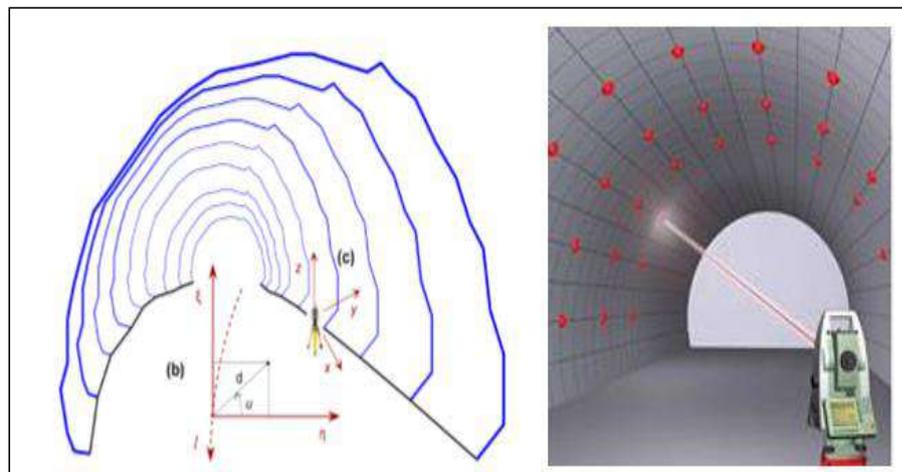
2.3 Instrumentasi

Instrumentasi adalah alat-alat dan perangkat (device) yang dipakai untuk pengukuran dan pengendalian dalam suatu sistem yang lebih besar dan kompleks. Adapun alat yang digunakan yaitu Total Station.

Total station merupakan semacam *theodolit* yang terintegrasi dengan komponen pengukuran jarak elektronik untuk membaca jarak dan kemiringan dari instrumen ke titik tertentu. *Total station* digunakan dalam pemetaan dan konstruksi bangunan. TS yaitu alat pengukur jarak dan sudut secara otomatis dan dilengkapi

dengan memori. Sehingga data pengukuran sudut dan jarak dapat disimpan untuk kemudian didownload dan diolah.

Total station memiliki kemampuan untuk merekam dan mengumpulkan data hasil pengukuran jarak dan sudut pada alat perekam, yang nantinya dapat diproses dengan menggunakan perangkat lunak komputer di akhir survei. (Antam, 2007)



Gambar 2.2 Cara kerja Total Station pada saat dilapangan dengan menggunakan metode instrumentasi

2.4 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu objek.

Adapun jenis-jenis deformasi yaitu sebagai berikut:

- a. *Collapse* adalah batuan yang sudah jatuh kepermukaan tanah
- b. *Translation* adalah perubahan yang terjadi pada suatu batuan yang mengalami perpindahan secara paralel dalam artian satu tubuh batuan bergerak bersama dengan arah yang sama dan jarak yang sama.
- c. *Settlement crown* adalah akibat tidak samanya penurunan antara bidang dengan bidang yang lain maka akan terjadi penurunan antara bidang.

- d. *Dispersion* adalah terjadinya perubahan pada suatu pada bidang batuan dinding kiri dan kanan. (Singh dan Rajnish,2006).

2.5 Kekuatan Geser Tanah

Kekuatan geser tanah dapat didefinisikan adalah untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Pada dasarnya kekuatan geser tanah dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Massa jenis (*Density*) adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya.
- b. Pembebanan (*Over burden*) adalah lapisan tanah atau ketebalan tanah dari suatu bahan galian dari permukaan.
- c. Kekuatan tekanan (*Tensile Strenght*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh bahan ketika diregangkan atau ditarik sebelum bahan tersebut patah.
- d. Kohesi (*Cohesi*) adalah gaya tarik menarik antara molekul yang sama. Salah satu aspek yang mempengaruhi daya kohesi adalah kerapatan dan jarak antara molekul dalam suatu benda.
- e. Sudut geser dalam (*Natural Angle of Repose*) adalah sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser didalam material tanah atau batuan. Sudut geser juga membentuk sudut rekahan jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan

lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. (Singh dan Rajnish,2006).

2.6 Total Station

Total station merupakan semacam *theodolit* yang terintegrasi dengan komponen pengukuran jarak elektronik untuk membaca jarak dan kemiringan dari instrumen ke titik tertentu. *Total station* di gunakan dalam pemetaan dan konstruksi bangunan. TS yaitu alat pengukur jarak dan sudut secara otomatis dan dilengkapi dengan memori. Sehingga data pengukuran sudut dan jarak dapat disimpan untuk kemudian didownload dan diolah.

Total Station memiliki kemampuan untuk merekam dan mengumpulkan data hasil pengukuran jarak dan sudut pada alat perekam, yang nantinya dapat diproses dengan menggunakan perangkat lunak komputer di akhir survei. Untuk akurasi yang optimal, maka digunakan prisma, yaitu suatu alat yang dapat merefleksikan gelombang cahaya yang kembali ke perangkat pengukuran untuk menentukan pengukuran. Dalam keadaan di mana akurasi tidak begitu diharuskan secara maksimum, maka total station dapat digunakan dalam modus *reflectorless* dimana alat tersebut dapat memperoleh fitur pengukuran jarak tanpa menggunakan prisma. (Antam, 2007)

Data koordinat (x,y dan z) hasil pengukuran langsung diperoleh dari alat *total station* yang digunakan, kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh besar perpindahan dan arah perpindahan pada titik objek yang diamati. Perpindahan pada sumbu X adalah selisih dari data koordinat pada sumbu X awal dengan data

koordinat sumbu X akhir, begitu pula menghitung perpindahan pada sumbu Y dan sumbu Z.

$$\Delta X = X_n - X_1$$

$$\Delta Y = Y_n - Y_1$$

$$\Delta Z = Z_n - Z_1$$

Maka resultan pada ketiga sumbu X,Y dan Z adalah sebagai berikut :

$$R = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

Tabel 2.15 Nilai Resultan dari *Total Station* pada stasiun 3+590

Stasiun	Sumbu (X)	Sumbu (Y)	Sumbu (Z)
3+590	0,0	0,0	0,0
	0,0	-3,9	-3,8
	12,2	0,5	-0,5
	12,3	0,5	-0,4
	12,1	-1,2	-0,5
	12,4	-1,3	-3,3
	13,0	3,5	-3,2
	-45,9	0,4	-49,7
	10,8	-5,2	-7,0
	12,0	-2,9	-2,6

Tabel 2.16 Nilai Resultan dari *Total Station* pada stasiun 3+640

Stasiun	Sumbu (X)	Sumbu (Y)	Sumbu (Z)
3+640	0,0	0,0	0,0
	-12,1	-17,7	-14,9
	-4,7	-1,8	-3,1
	-3,2	2,6	1,9
	-5,7	-1,4	-4,2
	-3,2	2,6	1,9
	-11,6	0,0	0,0
	-7,5	1,0	-4,5
	-5,8	-2,0	-3,1
	-6,6	-2,3	-3,9

2.7 Safety Factor (SF)

Sebelumnya kita melakukan penjabaran menggunakan metode Emperik. Dimana Metode Emperik dalam penentuan *Safety factor* merupakan metode perhitungan perbandingan antara kekuatan penyangga dengan batuan yang berpotensi runtuh.

Beban batuan didapatkan dari perhitungan nilai *Rock Mass Rating* (RMR). Tinggi runtuh dari batuan pada lubang bukaan ditentukan melalui persamaan Unal (1983). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut :

a). Tinggi Runtuh (Amrukan)

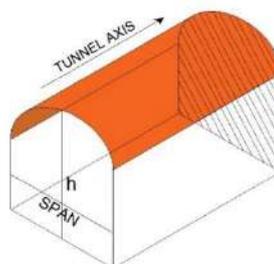
Tinggi runtuh merupakan fungsi dari lebar bukaan dan bobot nilai batuan. Tekanan batuan yang diterima peyangga tergantung pada tinggi beban dan bobot isi batumannya.

$$h = \frac{100 - RMR}{100} \times Span$$

b). Beban Amrukan

Beban amrukan adalah nilai dari beban runtuh untuk peyangga. Dimana dalam penjabarannya di dapatkan nilai span pada terowongan. Span adalah lebar terowongan yang berada dilapangan.

$$P_{RMR} (W) = \frac{100 \times RMR}{100} \times Span \times \text{Berat jenis}$$



Gambar 2.3 Contoh span pada bukaan terowongan

Tabel 2.17 Kebutuhan data pada beban amrukan

Lokasi	Litologi	RMR	Span (m)	Berat Jenis
HTA 1D	Batupasir	47	6,5	2,5
HTA 1D	Serpih	44	6,5	2,4

c). Beban Amrukan Total

Beban amrukan total adalah nilai hasil keseluruhan dari beban amrukan dengan resultan *total station*.

$$P_{RMR} (W) \times (\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)$$

Tabel 2.18 Kebutuhan data amrukan total

Lokasi	P RMR (Ton/m ²)	R
HTA 1D	2.249	19.82
HTA 1D	2.679	41,12

d). *Friction Strenght*

$$F_{ss} = \text{Panjang Rock Bolt} \times \text{Bond Strenght}$$

$$F_{ss'} = \text{Panjang Rock Bolt} \times \text{Bond Strenght} \times \text{Nelinasi} (\sin 45^\circ)$$

Sehingga didapatkan rumus *Safety Factor* sebagai berikut :

$$SF = \frac{\sum F_{ss'}}{\text{Beban Amrukan} (\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)} \quad (\text{Unal, 1983})$$

Tabel 2.19 Kebutuhan data untuk simulasi nilai *safety factor*

Lokasi	Span (m)	RMR	HT (m)	P _{RMR}	P (Ton/m ²)	R	SF
HTA 1D	6,5	47	3.12	2.679	57.02	41.12	1.62
HTA 1D	6,5	44	3.12	2.249	51.12	19.82	1.59

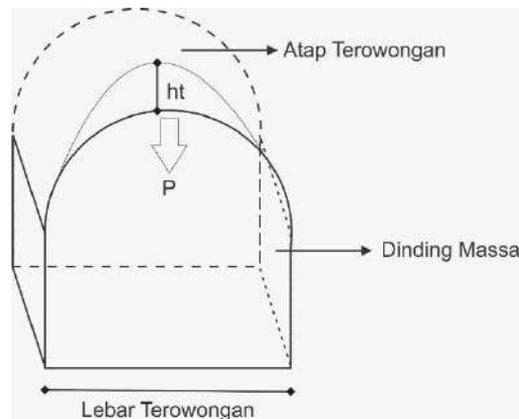
Keterangan :

HTA = *Headrace Tunnel* P_{RMR} = Beban Runtuh

Ht = Tinggi Runtuh SF = Safety Factor

P = Beban Luas Atap SPAN= Lebar Terowongan

Rumus di atas diketahui bahwa setiap kemajuan hasil peledakan didapat nilai RMR yang berbeda beda sehingga untuk nilai tinggi runtuh, beban runtuh dan beban luas atap juga akan berbeda.



Gambar 2.4 Tinggi Runtuh pada terowongan

Dari persamaan diatas terlihat bahwa tinggi beban (h_t) merupakan fungsi dari lebar bukaan dan bobot nilai batuan. Tekanan batuan yang diterima penyangga tergantung pada tinggi beban dan bobot isi batuanya.

Tabel 2.20. Klasifikasi muatan batuan (Terzaghi, 1946) dalam (Biewniaski 1989)

Kondis Batuan		Tinggi Muatan Batuan, H_p (M)	Catatan
1.	Keras dan kompak	0	Lapisan ringan saja, walaupun ada hanya terjadi spalling ringan.
2.	Perlapisan keras atau skistosa	$0 - 0,50 B$	Lapisan ringan terutama untuk perlindungan dari jatuhnya blok.
3.	Masif, diskontinuitas yang sedang jumlahnya.	$0 - 0,25 B$	Perubahan tak menentu dari beban.
4.	Terbagi-bagi dalam blok dalam jumlah yang sedang dengan rekahan yang cukup banyak	$0,25 B - 0,35 (B + H_i)$	Tidak ada tekanan lateral
5.	Sangat terbagi dalam blok-blok dengan rekahan yang banyak dan berkembang	$0,35 B - 1,10 (B + H_i)$	Sedikit atau tidak ada tekanan lateral

6.	Terpecah keseluruhan tetapi masih bersatu secara kimia	$1,10 (B + H_i)$	Tekanan lateral yang amat besar. Akibat dari hilangnya kekuatan yang disebabkan oleh infiltrasi.
7.	Batuan yang berperan dalam pemampatan pada kondisi kedalaman yang sedang	$(1,10 - 2,10) (B + H_i)$	Tekanan lateral yang besar, penyangga besi baja sirkuler (rib) direkomendasikan.
8.	Batuan yang berperan dalam pemampatan pada kondisi kedalaman yang besar	$(2,10 - 4,50) (B + H_i)$	
9.	Batuan yang mengembang (<i>swelling rock</i>)	Sampai 90 m tidak tergantung dari $(B + H_i)$	Penyangga besi baja sirkuler (rib) diperlukan. Dalam keadaan ekstrim gunakan perhitungan tekanan keruntuhan penyanggaan (<i>yielding support</i>)

Tabel 2.21 Klasifikasi tinggi muatan batuan (H_i) pada kedalaman lebih dari $1,5 (B + H_i)$ (terzagli, 1946) Dalam (Biewniaski, 1989.)

1	2	3	4
KONDISI BATUAN	RQD	TINGGI MUATAN BATUAN, H_p (ft)	CATATAN
1. Keras dan kompak	95 - 100	0	Lapisan ringan saja, walaupun ada hanya terjadi spalling ringan.
2. Perlapisan keras atau skistosa	90 - 99	$0 - 0,50 B$	Lapisan ringan terutama untuk perlindungan dari jatuhnya blok.
3. Masif, diskontinuitas yang sedang jumlahnya.	85 - 95	$0 - 0,25 B$	Perubahan tak menentu dari beban.
4. Terbagi-bagi dalam blok dalam jumlah yang sedang dengan rekahan yang cukup banyak	75 - 85	$0,25 B - 0,20 (B + H_i)$	Kondisi 4,5 dan 6 di kurangi 50 % dari nilai Terzaghi, karena muka air mempunyai akibat kecil terhadap H_p (Brekke, 1968 dan Terzaghi, 1946)
5. Sangat terbagi dalam blok-blok dengan rekahan yang banyak dan berkembang	30 - 75	$(0,20 - 0,60) (B + H_i)$	
6. Terpecah keseluruhan tetapi masih bersatu secara kimia	3 - 30	$(0,60 - 1,10) (B + H_i)$	

6.a	Pasir dan kerikil	0 – 3	$(1,10 - 2,40) (B + H_t)$	
	1	2	3	4
7.	Batuan yang berperan dalam pemampatan pada kondisi kedalaman yang sedang	Tidak dapat diaplikasikan	$(1,10 - 2,10) (B + H_t)$	Tekanan lateral yang besar, penyangga besi baja sirkular set direkomendasikan.
8.	Batuan yang berperan dalam pemampatan pada kondisi kedalaman yang besar	Tidak dapat diaplikasikan	$(2,10 - 4,50) (B + H_t)$	
9.	Batuan yang mengembang (<i>swelling rock</i>)	Tidak dapat diaplikasikan	Lebih besar dari 250 tidak tergantung dari $(B + H_t)$	Penyangga besi baja sirkular set diperlukan. Dalam keadaan ekstrim gunakan perhitungan tekanan keruntuhan penyanggaan (<i>yielding support</i>)

Catatan : Nilai B dan H_t dalam satuan feet (ft)

Tabel 2.22. Deskripsi Nilai Faktor Keamanan (Hoek and Bray, 1991)

Nilai	Deskripsi
FK <1	Terowongan dianggap stabil
FK 1	Terowongan dalam keadaan tidak seimbang (kritis)
FK >1	Terowongan dianggap stabil

2.8 Perangkat Lunak *Phase 2*

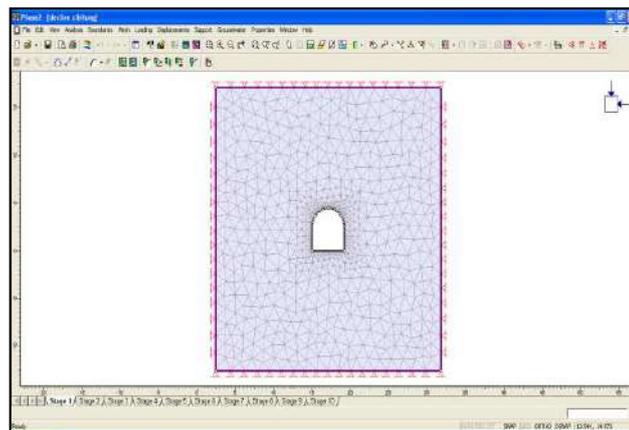
Phase 2 adalah program analisis stabilitas dan visualisasi dalam dua dimensi untuk pengerjaan ekskavasi bawah permukaan bumi pada batuan yang memiliki struktur diskontinu. *Phase 2* dapat direkomendasikan sebagai salah satu aplikasi yang dipakai untuk melihat perubahan warna zonasi pada terowongan.

Karena pada program aplikasi ini dapat mendeterminasi nilai *safety factor* untuk menentukan potensi ketidakstabilan terowongan.

2.8.1 Parameter Analisis Data *Phase 2*

Dalam analisis terdapat beberapa data yang diperlukan untuk menentukan zonasi deformasi pada dinding/ atap terowongan yaitu sebagai berikut :

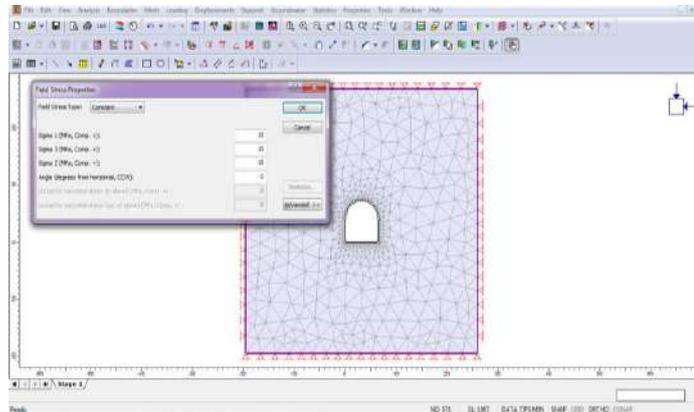
- a. Dimensi ekskavasi : ditentukan berdasarkan pengukuran dimensi dilapangan termasuk bentuk bukaan ekskavasi.



Gambar 2.4 contoh *input* data bukaan ekskavasi *headrace tunnel* Menggunakan *Phase2*

- b. *Unit Weight* batuan dan air : massa jenis batuan dari batuan diterowongan dan air bawah permukaan dalam Nm/m^3
- c. *Shear strenght* : nilai kekuatan mekanik batuan
 - Model kriteria :menentukan jenis parameter shear strenght seperti Mohr coulomb, Barton-Brandis dan *Power Curve*.
 - *Phi* (ϕ) : nilai sudut geser dalam batuan
 - *Cohesion* (c) : nilai kohesi batuan dalam MPa
 - *Tensile Strenght* : nilai kuat tarik batuan dalam MPa

- d. *Field stress*: nilai tekanan sigma 1, sigma 2 dan sigma 3 dalam MPa pada terowongan.



Gambar 2.5 Contoh input data *Field Stress* dengan Sigma 1, Sigma 2 dan Sigma 3

2.8.2 Output Data Aplikasi *Phase 2*

Analisis data dari aplikasi *phase 2* akan menghasilkan model dua dimensi dan memperlihatkan warna zonasi pada terowongan serta nilai *safety factor* yang dapat dilihat dari aplikasi tersebut.