

**ANALISA KEKUATAN GESER MASSA BATUAN TERHADAP (*STAND-UP TIME*) MENGGUNAKAN METODE *ROCK MASS RATING SYSTEM* PADA TEROWONGAN PENGELAK BENDUNGAN LAU SIMEME**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam  
Ujian Sidang Sarjana Teknik Sipil Strata Satu  
Universitas Medan Area

**OLEH:**

**MAYKEL THOMSON SITORUS**

**188110063**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2022**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 23/5/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)23/5/23

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA KEKUATAN GESER MASSA BATUAN TERHADAP (STAND-UP TIME) MENGGUNAKAN METODE ROCK MASS RATING SYSTEM PADA TEROWONGAN PENGELAK BENDUNGAN LAU SIMEME**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam  
Ujian Sidang Sarjana Teknik Sipil Strata Satu  
Universitas Medan Area

Disusun oleh :

**MAYKEL THOMSON SITORUS**

**18 811 0063**

Disetujui oleh :

Dosen pembimbing

**Rudianto Sarbata S.T., M.T**

**NIDN: 0104048702 .**

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Rahmad Syah, S.Kom., M.Kom**  
**NIDN: 01060588004**

Ketua Prodi Teknik Sipil



**Hermansyah, S.T., M.T**  
**NIDN: 0106088004**

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah ini :

Nama : Maykel Thomson Sitorus

NPM : 188110063

Jurusan : Teknik Sipil

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : analisa kekuatan geser massa batuan terhadap (*stand-up time*) menggunakan metode *rock mass rating system (RMR)* terowongan pengelak bendungan lau simeme Sibiru-biru Kabupaten Deli Serdang.

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Hasil karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah saya tuliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan plagiat dalam skripsi ini.



Medan, Juni 2022

Maykel Thomson Sitorus

Npm: 188110063



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

**Nama** : Maykel Thomson Sitorus

**NIM** : 188110063

**Program Studi** : Teknik Sipil

**Fakultas** : Teknik

**Jenis Karya** : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas *Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)* atas karya saya yang berjudul analisa kekuatan geser massa batuan terhadap (*stand-up time*) menggunakan metode *rock mass rating system (RMR)* pada terowongan pengelak bendungan lau simeme sibiru-biru Kab. Deli Serdang. Beserta Perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas *Royalti Noneksklusif* ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, Juni 2022



Maykel Thomson Sitorus

Npm: 188110063

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama saya panjatkan puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat, bimbingan, dan rahmatnya, sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan judul skripsi “*Analisa Kekuatan Geser Massa Batuan terhadap (Stand-Up Time) menggunakan Metode Rock Mass Rating System (RMR) Terowongan Pengelak Bendungan Lau Simeme Sibiru-biru Kab. Deli Serdang*”.

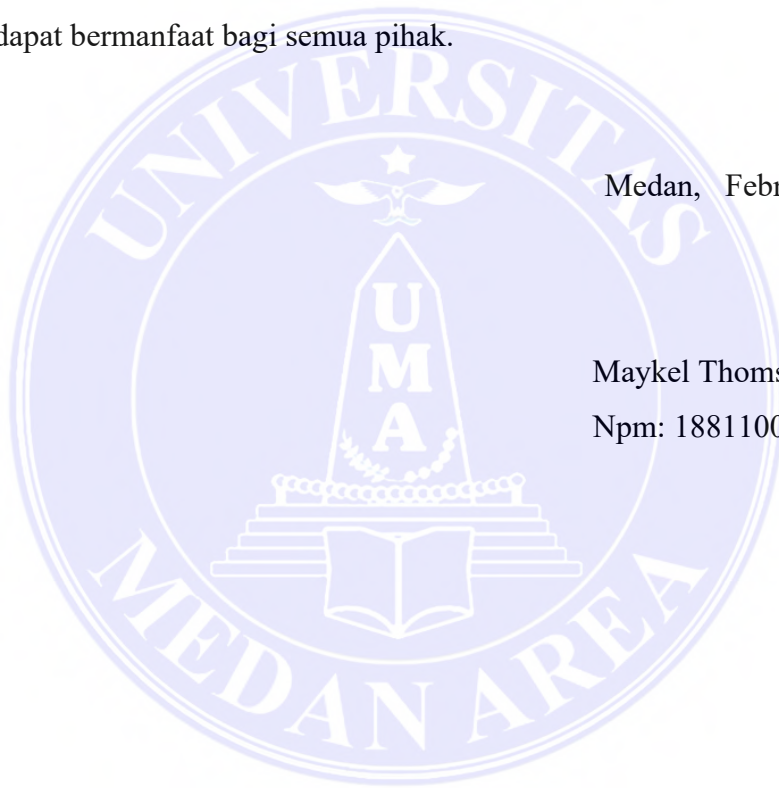
Adapun tujuan dari penyusunan Tugas Akhir (skripsi) ini adalah sebagai salah satu syarat untuk kelulusan pada Program Strata-1 di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Tentunya keberhasilan dalam menyusun tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih serta rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta keluarga besar, yang telah mendukung, memberikan semangat, dan memberikan doa yang terbaik kepada saya.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc. selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Rahmad syah, S.Kom., M.Kom. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
4. Bapak Hermansyah, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area
5. Bapak Rudianto Surbakti, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing dan memberikan nasihat serta perhatiannya yang luar biasa dari awal Tugas Akhir ini di kerjakan hingga selesai

6. Seluruh dosen dan staf pegawai Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area, yang telah membantu seluruh prosedur Tugas Akhir
7. Bapak Ajar Fikri Tira Hamdani serta staf Karyawan PT. PP (persero) Tbk, yang telah memberikan tempat dan arahan kepada kami selama penelitian Tugas Akhir dilaksanakan
8. Seluruh teman-teman Program Teknik Sipil Angkatan 2018. Akhir kata saya mengucapkan maaf dan banyak terima kasih dan berharap Tugas Akhir (skripsi) ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Medan, Februari 2023

Maykel Thomson Sitorus  
Npm: 188110063



## ABSTRAK

Terowongan adalah suatu bangunan yang berada dibawah permukaan tanah ataupun pegunungan. 1. Bagaimana mengetahui lama waktu tunggu bebatuan akan mengalami keruntuhan dengan metode *rock mass rating system (RMR)* 2. Bagaimana menganalisa pengaruh kekuatan geser massa batuan terhadap stand-up time adapun metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode manual serta pada penentuan kekuatan geser massa batuan menggunakan metode 1. Dari hasil Analisa kekuatan massa batuan pada terowongan bendungan lau simeme menggunakan metode *rock mass rating system (RMR)* pada Sta 0+177 sebesar 55,5 dengan kelas batuan golongan ke III dengan waktu tunggu (*Stand-up time*)  $\pm 624$  jam, Sta 0+327 sebesar 60 dengan kelas batuan golongan ke III dengan waktu tunggu (*Stand-up time*)  $\pm 840$  jam, Sta 0+527 sebesar 71,5 dengan kelas batuan golongan ke II dengan waktu tunggu (*Stand-up time*)  $\pm 5040$  jam, Sta 0+597 sebesar 58,5 dengan kelas batuan golongan ke III dengan waktu tunggu (*Stand-up time*)  $\pm 336$  jam 2. Dari hasil kuat geser massa batuan kuat geser massa batuan terbesar yaitu pada sta 0+177 dengan nilai 22,84 Mpa dan kekuatan geser terkecil pada Sta 0+597 dengan nilai 10,017 Mpa 3. Berdasarkan nilai faktor keamanan pada setiap lokasi penelitian terowongan berdasarkan pada kriteria Mohor-coulumb, nilai faktor keamanan pada terowongan sebesar 1,0 sehingga masuk dalam kategori relative stabil 1.

**Kata kunci:** *Stand-up time*, Kekuatan geser massa batuan, terowongan pengelak, *Rock Mass Rating System (RMR)*



## ABSTRACT

*Tunnel is a building that is below ground level or mountains. 1. How to know the waiting time the rocks will experience collapse using the rock mass rating system (RMR) method 2. How to analyze the influence of the shear strength of the rock mass on the stand-up time as for the method used in this study using the manual method as well as on the determination of mass shear strength rocks using the Rock mass rating system (RMR) method. From the results of the strength analysis rock mass in the simeme lau dam tunnel using the rock mass rating method system (RMR) at Sta 0+177 of 55.5 with class III rock class with time wait (Stand-up time)  $\pm 624$  hours, Sta 0+327 of 60 with class III rock class with waiting time (Stand-up time)  $\pm 840$  hours, Sta 0+527 of 71.5 with rock class group II with a waiting time (Stand-up time)  $\pm 5040$  hours, Sta 0+597 of 58.5 with class III rocks with a stand-up time of  $\pm 336$  hours 2. From shear strength results of the rock mass shear strength of the largest rock mass shear is at sta 0+177 with value of 22.84 Mpa and the smallest shear strength at Sta 0+597 with a value of 10.017 Mpa 3. Based on the value of the safety factor at each research location based tunnel on the Mohr-Coulumb criteria, the value of the safety J factor in the tunnel is 1.0 so included in the relatively stable category 1.*

**Keywords:** *Stand-up time strength, Shear of rock masses, tunnel circumvention, Rock Mass Rating System (RMR)*



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I_PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan tujuan .....	2
1.2.1 Maksud.....	2
1.2.2 Tujuan .....	2
1.3 Rumusan masalah.....	3
1.4 Batasan masalah .....	3
1.5 Manfaat penelitian.....	3
<b>BAB II_TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian derdahulu .....	5
2.2 Umum .....	6
2.3 Morfologi.....	6
2.4 Struktur geologi.....	7
2.5 Jenis jenis batuan.....	8
2.6 Bentuk bentuk terowongan.....	10
2.7 Metode Penggalian Terowongan.....	12
2.8 Klasifikasi Massa Batuan .....	16
2.9 Kriteria runtuh batuan.....	17

2.10	Kriteria Mohr-Coulomb.....	17
2.11	Kriteria keruntuhan Hoek-Brown.....	20
2.12	Tegangan Batuan di Sekeliling Terowongan .....	22
2.13	Rock Mass Rating (RMR) System .....	23
2.14	Sistem penyangga terowongan dalam RMR .....	30
2.15	Stand-up time.....	31
2.16	Geological Strength Index (GSI).....	32
2.17	Q-System .....	33
2.18	Hubungan antara Rock Mass Rating (RMR), Geological Strength Index (GSI) dan Q-System .....	38
2.19	Faktor keamanan (Safety Factor) .....	38
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>40</b>
3.1	Lokasi penelitian .....	40
3.2	Pengumpulan data .....	40
3.3	Satuan batuan pada daerah penelitian.....	44
3.3.1	batuan tufa pasiran.....	44
3.3.2	batuan konglomerat .....	44
3.3.3	batuan tufa breksi pumice.....	45
3.3.4	batuan tufa breksi.....	46
3.4	Analisa data .....	46
3.5	Analisa waktu tunggu pada terowongan.....	47
3.6	Kerangka berpikir penelitian .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>48</b>
4.1	Hasil analisa rock mass rating (RMR).....	48

4.2	Stand-up time.....	53
4.3	Kekuatan massa batuan utuh .....	56
4.4	Kohesi dan sudut geser dalam .....	62
4.5	Tegangan pada daerah sekitar terowongan.....	66
4.6	Tegangan Normal .....	71
4.7	Kekuatan geser massa batuan.....	74
4.8	Q-system .....	76
4.9	Rekomendasi system penyangga.....	79
4.10	Faktor keamanan .....	80
4.11	Pembahasan .....	82
<b>BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>84</b>
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran .....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>86</b>
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Nilai parameter mi batuan utuh hoek dan marinos 2002 .....	20
Tabel 2. 2: Kuat tekan uniaksial.....	24
Tabel 2. 3: Klasifikasi teknik batuan utuh .....	24
Tabel 2. 4: Kualitas massa batuan.....	26
Tabel 2. 5: Klasifikasi jarak antar kekar .....	26
Tabel 2. 11: Klasifikasi Nilai kondisi air tanah .....	27
Tabel 2. 12: Jurus/kemiringan bidang diskontinuitas .....	28
Tabel 2. 13: Klasifikasi rock mass rating system (RMR).....	29
Tabel 2. 14: Petunjuk Untuk Penggalian dan Penyangga Terowongan Dengan Klasifikasi RMR.....	30
Tabel 2. 15: Arti kelas massa batuan .....	32
Tabel 2. 16: nilai rating pasang kekar (jn) .....	34
Tabel 2. 17: nilai rating tingkat kekasaran.....	35
Tabel 2. 18: Nomor perubahan bersama Ja.....	36
Tabel 2. 19: Faktor tekanan air .....	36
Tabel 2. 20: Nilai rasio klasifikasi massa batuan Q-system.....	37
Tabel 4. 1: Analisa RMR Sta 0+177 .....	49
Tabel 4. 2: Analisa RMR Sta 0+327 .....	50
Tabel 4. 3: Analisa RMR Sta 0+527 .....	51
Tabel 4. 4: Analisa RMR Sta 0+597 .....	52
Tabel 4. 5: Nilai Geological Strength Index (GSI) .....	56
Tabel 4. 6: Nilai kuat geser massa batuan utuh terowongan.....	61
Tabel 4. 7: Nilai kohesi dan sudut geser dalam terowongan .....	66



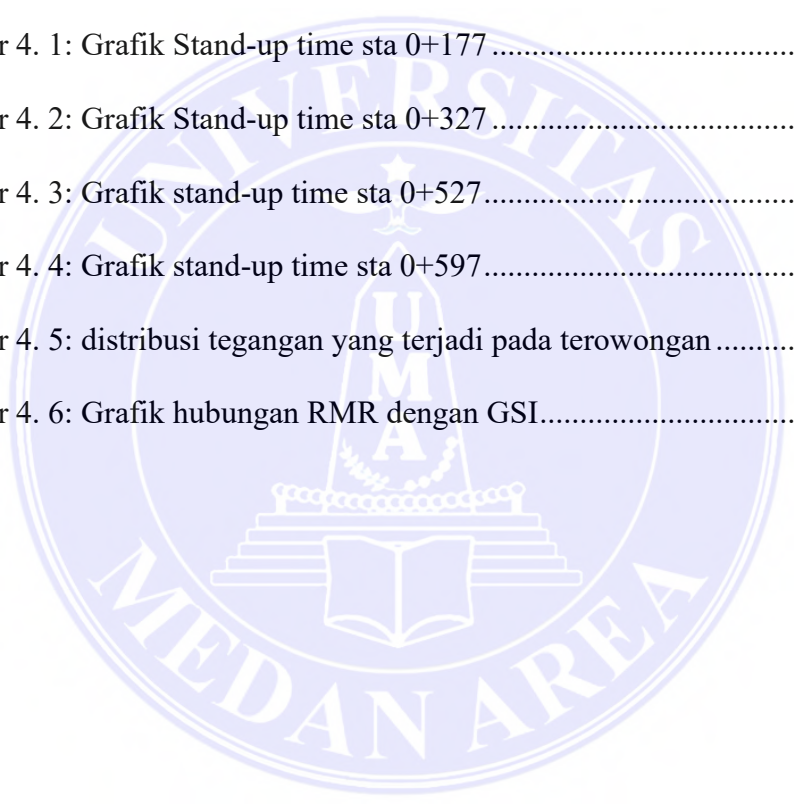
Tabel 4. 8: Tegangan geser massa batuan.....	71
Tabel 4. 9: Tegangan normal massa batuan.....	74
Tabel 4. 10: Kekuatan geser massa batuan .....	76
Tabel 4. 11: nilai hasil pengamatan pada parameter $j_n$ , $j_r$ , $j_a$ , $j_w$ .....	76
Tabel 4. 12: hasil rangkuman perhitungan Q-system.....	78
Tabel 4. 13: rekomendasi sistem penyangga terowongan bendungan lau simeme .....	80
Tabel 4. 14: Hasil keseluruhan perhitungan kekuatan geser massa batuan .....	81



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Peta geologi regional bendungan lau simeme .....	8
Gambar 2. 2: Batuan tufa pasiran.....	9
Gambar 2. 3: Batuan tufa breksi pumice.....	9
Gambar 2. 4: Batuan tufa breksi .....	10
Gambar 2. 5: terowongan lingkaran.....	11
Gambar 2. 6: Terowongan tapal kuda .....	11
Gambar 2. 7: Terowongan bentuk D.....	12
Gambar 2. 8: Metode Cut and Cover system .....	13
Gambar 2. 9: Metode galian full face .....	14
Gambar 2. 10: Tahapan galian dengan metode Heading dan bench .....	14
Gambar 2. 11: Tahapan galian dengan metode top drift.....	15
Gambar 2. 12: Metode bottom .....	16
Gambar 2. 13: Metode slide drift .....	16
Gambar 2. 14: Tegangan dengan prinsip traksial.....	17
Gambar 2. 15: Hubungan kuat geser.....	18
Gambar 2. 16: Hubungan antara tegangann utama mayor dan minor .....	19
Gambar 2. 17: penilaian kualitas massa batuan .....	25
Gambar 2. 18: grafik stand-up time terowongan .....	32
Gambar 2. 19: Estimasi berdasarkan visual kondisi geologi .....	33
Gambar 2. 20: Grafik desain dukungan shotcrete (SFRS) diperkuat serat baja .....	38
Gambar 3. 1: Peta lokasi bendungan lau simeme .....	40
Gambar 3.2: Lokasi boring dan titik boring dilaksanakan.....	42
Gambar 3. 3: Denah terowongan pengelak bendungan lau simeme .....	42

Gambar 3. 4: Penampang geologi terowongan bendungan lau simeme .....	43
Gambar 3. 5: Tipe terowongan bendungan lau simeme.....	43
Gambar 3. 6: batuan tufa pasiran .....	44
Gambar 3. 7: batuan konglomerat.....	45
Gambar 3. 8: batuan tufa pumice .....	45
Gambar 3. 9: batuan tufa breksi .....	46
Gambar 3. 10: Bagan alir penelitian .....	47
Gambar 4. 1: Grafik Stand-up time sta 0+177 .....	53
Gambar 4. 2: Grafik Stand-up time sta 0+327 .....	54
Gambar 4. 3: Grafik stand-up time sta 0+527.....	55
Gambar 4. 4: Grafik stand-up time sta 0+597.....	55
Gambar 4. 5: distribusi tegangan yang terjadi pada terowongan.....	67
Gambar 4. 6: Grafik hubungan RMR dengan GSI.....	82



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Terowongan adalah suatu bangunan yang berada dibawah permukaan tanah ataupun pegunungan. Terowongan pada umumnya tertutup diseluruh sisi terkecuali pada kedua ujungnya yang terbuka. Terowongan memiliki berbagai macam fungsi seperti keperluan lalu lintas, pertambangan dan keperluan saluran air. Bangunan terowongan pengelak merupakan bangunan konstruksi yang bertujuan untuk memindah aliran air dari sungai secara sementara agar pelaksanaan kegiatan pembangunan dapat dimulai pada proyek Bendungan Lau Simeme Kab. Deli Serdang. Konstruksi bangunan terowongan pengelak membujur dari hulu menuju hilir terowongan. Terowongan pengelak bendungan dibuat dari konstruksi beton yang terletak disisi sungai yang tentu bangunan ini dapat digunakan pula untuk, pembangkit listrik.

Dalam perencanaan terowongan perlu diperhatikan material penyusunnya, Adapun material penyusun nya terdiri dari tanah dan bebatuan yang memiliki perilaku dan sifat-sifat tertentu. Perilaku dan sifat bebatuan akan mempengaruhi terowongan tersebut dalam menerima beban dan gaya yang bekerja terhadapnya. Sifat yang mempengaruhi penentuan galian dan desain terowongan adalah kekuatan batuan seperti kuat geser massa batuan pada setiap sisi dinding terowongan. Kuat geser massa batuan ialah suatu sifat bebatuan yang sangat berperan pemilihan dan metode galian yang akan digunakan pada proses pembukaan terowongan menurut Andinata & Murad, (2017). *Stand-up time* merupakan suatu kurva yang berfungsi untuk menentukan waktu yang tepat dalam



pemasangan penyangga pada terowongan serta mengetahui lamanya waktu tunggu bebatuan bertahan terhadap keruntuhan secara alami. Pada salah satu konstruksi utama pembangunan bendungan lau simeme yang terpenting adalah pembangunan terowongan pengelak yang dimana berfungsi untuk mengalihkan air dari sungai utama agar pekerjaan badan bendungan dapat di laksanakan.

Maka dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa diperlukan perhitungan untuk mengetahui kekuatan geser massa batuan sebagai parameter kekuatan batuan (*stand-up time*), maka dilakukan studi kasus mengenai “Analisa Kekuatan Geser Massa Batuan terhadap (*Stand-Up Time*) menggunakan Metode *Rock Mass Rating System* Terowongan Pengelak Bendungan Lau Simeme Sibiru-biru Kabupaten Deli Serdang”. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk selanjutnya serta menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan terowongan dengan memperhatikan aspek-aspek parameter kekuatan bebatuan.

## 1.2 Maksud dan tujuan

### 1.2.1 Maksud

Adapun maksud dari penelitian ini yaitu agar mengetahui lama waktu yang tunggu bebatuan sebelum mengalami keruntuhan secara alami pada terowongan pengelak bendungan lau simeme.

### 1.2.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa kekuatan geser massa batuan terhadap (*stand-up time*) terowongan pengelak Bendungan Lau Simeme.

1. Memperoleh *stand-up time* terowongan pengelak Bendungan Lau simeme dengan metode *rock mass rating system* (RMR).

2. Menganalisa pengaruh kekuatan geser massa batuan terhadap (stand-up time)
3. Memperoleh angka aman terowongan terhadap tegangan geser.

### 1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di ambil pada proses penelitian maka dirumuskan beberapa permasalahan berikut ini:

1. Bagaimana mengetahui lama waktu tunggu bebatuan akan mengalami keruntuhan dengan metode *rock mass rating system (RMR)*?
2. Bagaimana menganalisa pengaruh kekuatan geser massa batuan terhadap *stand-up time*?

### 1.4 Batasan masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek dievaluasi adalah terowongan pengelak Bendungan Lau Simeme pada STA 0+177, STA 0+327, STA 0+527, STA 0+597
2. Data yang digunakan merupakan data laboratorium bebatuan dan data di lapangan.
3. Penelitian ini menganalisis kekuatan geser massa batuan *stand-up time* terowongan dengan metode *rock mass rating sytem (RMR)*.

### 1.5 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kekuatan geser massa batuan terowongan pengelak Bendungan Lau Simeme.
2. Mengetahui (*stand-up time*) terowongan pengelak Bendungan Lau Simeme

dalam upaya meningkatkan keamanan selama proses konstruksi.

3. Mengetahui angka aman terowongan terhadap tegangan geser serta rekomendasi penyangga terowongan pengelak Bendungan Lau Simeme.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian derdahulu

Danu Pratama Nugraha (2018), melaksanakan penelitian terhadap lubang tambang CV. Bara Mitra kencana 14 kota sawahlunto mengenai penggunaan metode *rock mass rating system* dan faktor keamanan menggunakan metode *finite element* sebagai alat bantu untuk mengetahui waktu tunggu (*stand-up time*) berdasarkan klasifikasi massa batuan dari bieniawski (1989). Hasil analisis yang di dapatkan berdarkan parameter *rock mass rating system* menggunakan grafik RMR batuan dapat menahan tekanan dirinya sendiri tanpa adanya bantuan dari penyangga seperti steel rip. Lubang tambang memiliki nilai RMR 55 dengan waktu bertahan selama 700 jam.

Indah Sulistia Ningsih (2017), melaksanakan penelitian terhadap analisa kuat tekan batuan terhadap waktu tunggu (*stand-up time*) lubang tambang bawah tanah CI-G PT. Nusa Alam Lestari Sumatera Barat. Untuk mengetahui nilai *rock mass rating system*, *rock quality designation*. Hasil Analisa pada lubang tambang mempunyai nilai UCS sebesar 8,835 Mpa untuk batu pasir, 13,367 Mpa untuk batu lanau dan sebesar 4,620 Mpa untuk batubara. Analisa geomekanik dengan nilai RMR kualitas massa batuan kelas II dengan waktu tunggu 2500 jam (3 bulan 12 hari) dengan span 8 m, batu lanau 2000 jam (2 bulan 21 hari) berdasarkan table dari Bieniawski (1989).



## 2.2 Umum

Terowongan pengelak adalah suatu struktur bangunan bawah tanah yang mempunyai gradien memanjang kurang dari 15%. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan di bawah permukaan yang memiliki panjang minimal 0,1 mil (160,9 meter), dan yang lebih pendek dari itu dinamakan *underpass* Rahardjo, (2004).

Pada umumnya bangunan terowongan dibangun akibat kondisi alam yang tidak memungkinkan untuk dibuat di atas permukaan tanah. Yang dimaksud yaitu seperti untuk irigasi, kereta api, PLTA ataupun untuk keperluan bendungan.

Dalam perencanaan terowongan terdapat beberapa metode konstruksi pembuatan terowongan. Metode konstruksi yang digunakan pada pembuatan terowongan yaitu, *Cut and Cover System*, *Pipe Jacking System (Micro Tunneling)*, *Tunneling Bor Machine (TBM)*, *New Austrian Tunneling Method (NATM)*, dan *Immersed-Tube Tunneling System*.

## 2.3 Morfologi

Lokasi rencana waduk dan bendungan Lau Simeme terutama merupakan perbukitan terjal yang sebagian besar pada permukaannya ditempati oleh batuan gunung api yang masuk dalam Kelompok Satuan Mentar (QTvm) dan Tufa Toba (Qvt) sedang pada bagian atasnya tertutupi oleh tanah pelapukan dan sebagian endapan longsor (koluvial) serta pada aliran sungai oleh endapan sungai yang berupa pasirlepas sampai bongkah.

Sungai Percut yang dimanfaatkan untuk lokasi as bendungan, mempunyai lembah yang rata-rata sempit, dengan lebar palung sungai berkisar antara 20 – 30

m yang cukup ideal sebagai pilihan untuk penempatan as bendungan dengan kemiringan lereng 400-600, dan ketinggian elevasi disekitar rencana bendungan dari + 325 m dpl sampai + 330 m dpl di bukit tumpuan kiri dan di bukit tumpuan kanan. Kondisi topografi daerah rencana genangan relatif sempit, satuan geomorfologi bergelombang sedang-kuat dan dibatasi pegunungan terjal disekelilingnya. Bentuk lembah Sungai Percut untuk bukit tumpuan kiri dan kanan memberikan kesan semitris sempit dan dalam menyerupai huruf "V" dengan sudut kelerengan terjal.

Secara morfologi daerah lokasi Bendungan Lau Simeme dan daerah genangan dapat dibagi menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu :

1. Satuan Morfologi Dataran yang menempati pada alur dan bantaran sungai.

Morfologi ini ditempati oleh lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah. Pada bantaran sungai sebagian besar pada permukaannya sudah mengalami pelapukan menjadi tanah lempung.

2. Satuan Morfologi Perbukitan Bergelombang.

Satuan morfologi ini ditempati oleh batuan dasar lapuk yang terdiri dari batupasir tufan, tuf lapili dan dibeberapa tempat endapan koluvial.

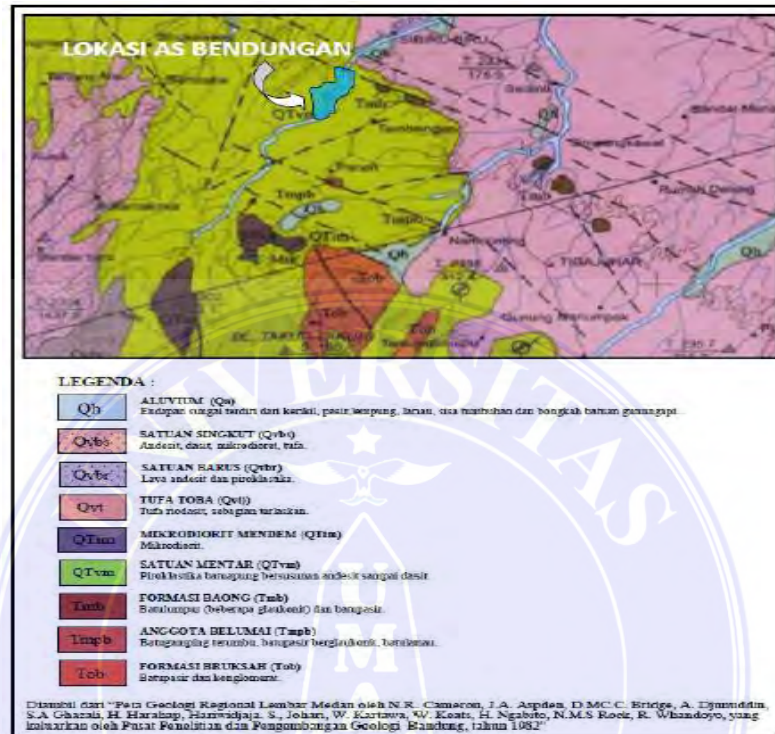
3. Satuan Morfologi Perbukitan Terjal.

Satuan morfologi ini menempati daerah disekeliling kolam waduk bagian tengah sampai hulu yang sebagian besar ditempati oleh Ignimbrit dan breksi tufa.

## 2.4 Struktur geologi

Berdasarkan peta geologi regional tidak ada struktur geologi yang dominan yang berupa sesar yang memotong as bendungan dan daerah genangan yang dapat

mengakibatkan perlemahan diskontinuitas, yang ada hanya sesar diperkirakan yang terdapat dihilir bendungan sejajar dengan as bendungan, dapat di perhatikan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1: Peta geologi regional bendungan lau simeme  
Sumber: N.R. Cameron, dkk 1982

## 2.5 Jenis-jenis batuan

Berdasarkan peta geologi regional lembar medan, yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, tahun 1982, lokasi bendungan Lau Simeme dan sekitarnya disusun oleh endapan breksi dan batu pasir tufa yang merupakan batuan hasil vulkanisme.

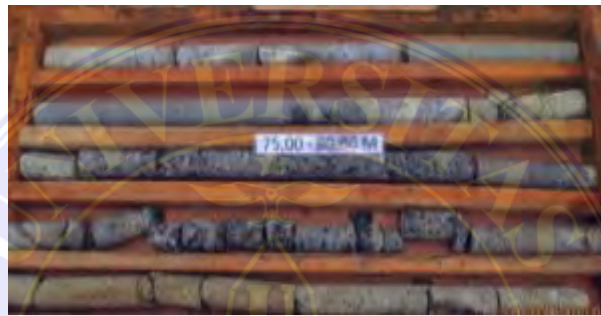
Terdapat 3 jenis batuan yang ada pada lapisan tanah/batuan di daerah bendungan lau simeme, diantara lain sebagai berikut:





### 3. Batuan tufa breksi

Batuan tufa breksi merupakan batuan yang terdiri dari fragmen-fragmen bersudut yang memiliki diameter 2 sampai dengan 256 mm, bentuk dari batu breksi sendiri tidak teratur yang dimana batuan tersebut dihasilkan dari hancuran mineral yang terlihat menumpuk perhatikan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 4: Batuan tufa breksi  
Sumber: Bendungan lau simeme

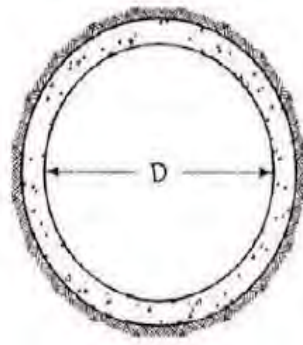
### 2.6 Bentuk bentuk terowongan

Ada 3 bentuk terowongan yang digunakan pada konstruksi di berbagai dunia, antara lain sebabagai berikut :

#### 1. Terowongan lingkaran.

Terowongan berbentuk lingkaran biasanya digunakan untuk menahan efek tekanan internal dan eksternal yang tinggi serta cocok untuk saluran air atau terowongan air perhatikan pada gambar 2.5 dibawah ini.

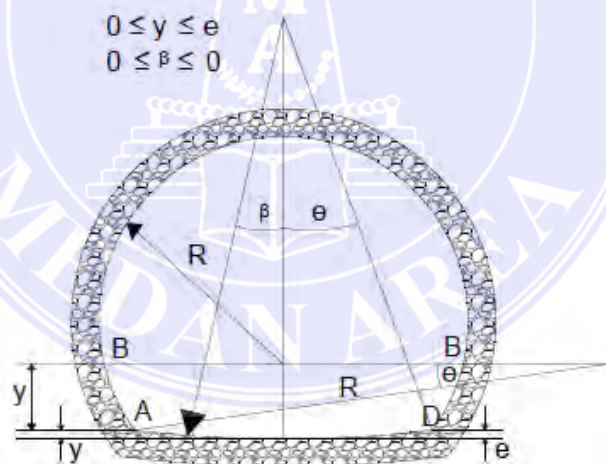




Gambar 2. 5: terowongan lingkaran  
Sumber: Balasubramanian, 2017

## 2. Terowongan tapal kuda

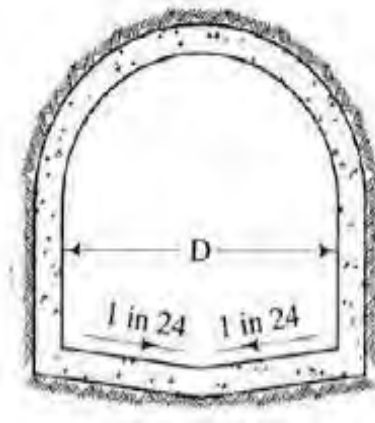
Terowongan tapal kuda biasanya digunakan pada lapisan tanah berjenis *soft soils*, dan batuan cocok untuk terowongan kereta api serta terowongan digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) perhatikan pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2. 6: Terowongan tapal kuda  
Sumber: Ahmanikashkooli, 2013

## 3. Terowongan bentuk “D”

Terowongan bentuk D biasanya dibangun sebagai terowongan kereta bawah tanah (*sub ways*) serta terowongan navigasi perhatikan pada gambar 2.7 dibawah ini.



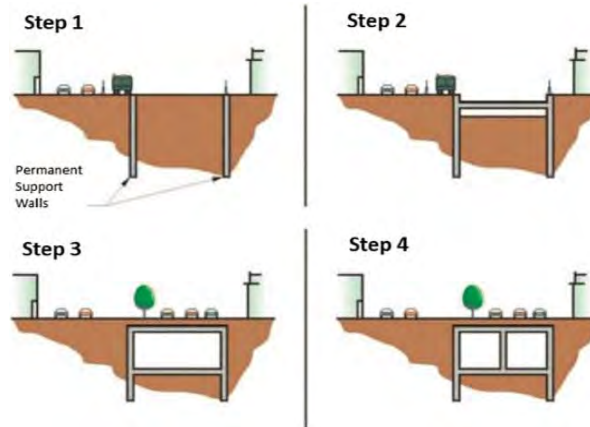
Gambar 2. 7: Terowongan bentuk D  
Sumber: Balasubramanian, 2017

## 2.7 Metode Penggalian Terowongan

Menurut Rai, dkk 2010, ada macam-macam metode penggalian terowongan yang biasanya digunakan di lapangan. Adapun metode tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. *Cut dan cover system*

Metode ini dilakukan dengan cara menggalian sebuah *trench* pada tanah, selanjutnya dinding beserta atap terowongan dilakukan konstruksi didalam galian. Selanjutnya galian di timbun kembali seluruh struktur yang berada dibawah timbunan tanah. Metode pembuatan terowongan dengan menggunakan *system cut and cover* adalah metode yang tercepat dan termurah dapat di lihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2. 8: Metode *Cut and Cover system*

Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

## 2. *full face*

Metode "*full face*" adalah metode yang dimana seluruh penampang terowongan digali secara bersamaan yang mempunyai ukuran penampang melintang kecil hingga diameter 3 meter, dengan menggunakan alat drill jumbo hingga dapat membentuk terowongan berukuran besar dapat di lihat pada gambar 2.9.

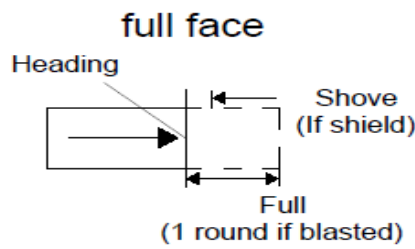
Adapun keuntungan dan kekurangan dari metode ini sebagai berikut.

### 1. Keuntungan

- a. Dalam proses pekerjaan akan lebih efisien/cepat karena penampang permukaan terowongan digali ataupun di bor secara bersamaan.
- b. Proses *tunneling* dapat dilakukan dengan kontinyu

### 2. Kekurangan

- a. Metode tidak dapat digunakan pada kondisi tanah tidak stabil
- b. Banyak membutuhkan alat-alat mekanis



Gambar 2. 9: Metode galian *full face*  
Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

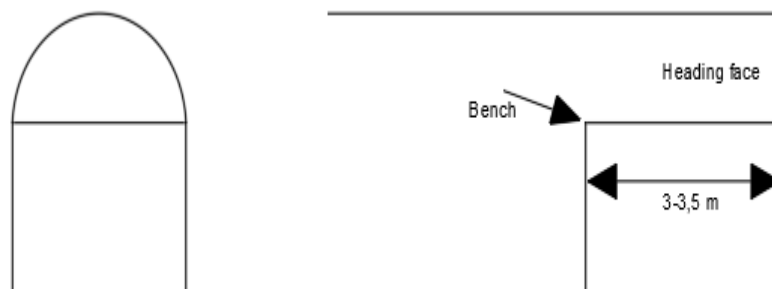
### 3. *Heading* dan *Bench*

Metode *Heading* adalah cara pemenggalian bagian atas penampang terowongan terlebih dahulu hingga mencapai 3-3,5 meter. Dilanjutkan dengan penggalian penampang bawah "*bench*" yang dikerjakan sampai membentuk penampang terowongan yang diinginkan yang dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah lini.

Keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan metode tersebut sebagai berikut:

#### 3. Keuntungan:

- a. Pekerjaan pengeboran dan pembuangan sisa peledakan dilakukan secara simultan,
- b. Efektif untuk pekerjaan terowongan dengan penampang besar dan dengan lintasan yang relative panjang



Gambar 2. 10: Tahapan galian dengan metode *Heading* dan *bench*  
Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

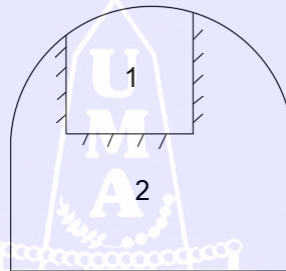
#### 4. *drift*

Metode “*drift*” adalah metode penggalian dengan cara melakukan penggalian terlebih dahulu sebuah lubang bukaan berukuran kecil sepanjang lintasan terowongan, kemudian diperbesar sampai membentuk penampang yang direncanakan perhatikan pada Gambar 2.11 dibawah ini.

Metode penggalian terowongan terdiri dari 3 bagian yaitu sebagai berikut:

##### a. *Top drift*

Metode ini digunakan pada proses penggalian endapan terowongan. Ini mirip dengan *heading and bench*.



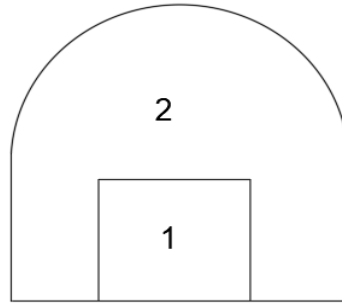
Gambar 2. 11: Tahapan galian dengan metode *top drift*

Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

##### b. *Bottom drift*

Metode *bottom drift* adalah metode yang dilaksanakan dengan membuka bagian bawah penampang. Pembuatan lubang-lubang bahan peledak untuk membuka bagian atas penampang dilakukan dengan cara mem-bor dari *bottom drift vertikal* ke atas.





Gambar 2. 12: Metode *bottom*  
Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

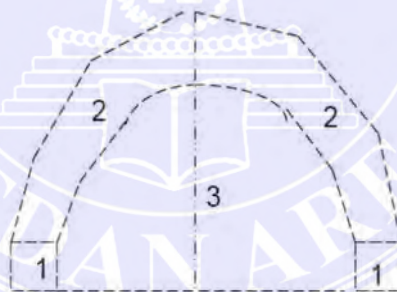
c. *Slide Drift*

Metode slide drift adalah metode dengan cara penggalian secara keseluruhan pada sisi-sisi penampang lintasan terowongan.

Adapun keuntungan dengan menggunakan metode *slide drift*:

1. Keuntungan

Dapat digunakan pada penggalian terowongan besar dan dengan kondisi tanah tidak baik.



Gambar 2. 13: Metode *slide drift*  
Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

## 2.8 Klasifikasi Massa Batuan

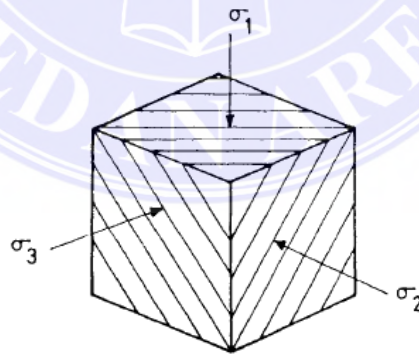
Klasifikasi massa batuan merupakan proses pengelompokan massa batuan dengan melakukan pengamatan yang berkaitan dengan kuat tekan uniaksial dan kondisi bidang-bidang diskontinuitas (Santoso, dkk, 2016).

Ada beberapa macam klasifikasi massa batuan pada terowongan seperti berikut ini:

1. Klasifikasi massa batuan Terzaghi (1946)
2. *Stand-Up time*
3. *Rock mass rating system (RMR)*

## 2.9 Kriteria runtuh batuan

Kriteria runtuh batuan (failure) ditentukan berdasarkan hasil-hasil percobaan atau eksperimen. Rai, dkk, (2010) pada kriteria ini memiliki satu atau lebih parameter sifat mekanik dari batuan dan menjadi sederhana jika diperhitungkan dalam 2 dimensi, dengan asumsi regangan bidang (*plane strain*) atau tegangan bidang (*plane stress*). Pada tegangan bidang, dua tegangan prinsipal (*principal stresses*) saja yang sangat berpengaruh karena 1 tegangan utama sama dengan nol. Pada kondisi regangan bidang  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ , maka tegangan prinsipal menengah (*intermediate principal stress*)  $\sigma_2$  merupakan fungsi dari 2 tegangan utama lainnya atau kriteria runtuh hanya berfungsi pada 2 tegangan utama tersebut ( $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$ ) dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini.

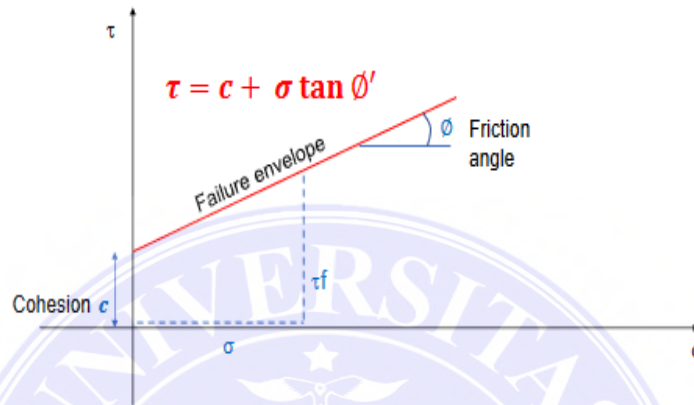


Gambar 2. 14: Tegangan dengan prinsip traksial  
Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

## 2.10 Kriteria *Mohr-Coulomb*

Menurut *Coulomb* (1980) kuat geser bidang massa batuan ( $\tau$ ) dapat dimodelkan dengan konsep *Coulomb* yang terdiri dari parameter-parameter

kohesi ( $c$ ), tegangan normal ( $\sigma$ ) dan sudut kuat geser ( $\phi$ ), serta keruntuhan sebagai akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum dapat dilihat pada gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2. 15: Hubungan kuat geser  
Sumber: mekanika batuan Rai, ddk

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2-1)$$

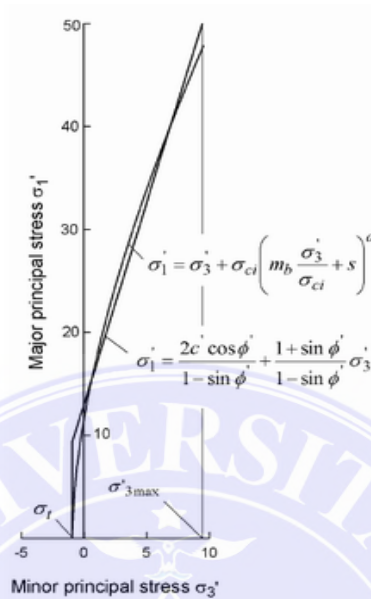
Keterangan:

- $\tau$  = kuat geser bidang massa batuan
- $c$  = kohesi
- $\sigma$  = tegangan normal
- $\phi$  = sudut geser dalam

Keruntuhan *Mohr-Coulomb*, untuk mengetahui nilai kuat geser diperlukan nilai kohesi ( $c$ ) serta sudut geser dalam ( $\phi$ ). Hoek et al. (2002) berdasarkan hubungan antara kriteria *Mohr-Coulomb*.

Penentuan nilai kohesi dan sudut geser dalam ditentukan dengan cara mencocokkan hubungan linear rata-rata terhadap kurva yang dihasilkan dari hasil perhitungan Persamaan (2-1) untuk beberapa nilai tegangan utama minor yang

didefinisikan oleh  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_3 \text{ max}$ , yang dapat dilihat pada Gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2. 16: Hubungan antara tegangann utama *mayor* dan *minor*  
 Sumber: Engineering rock mass classification Hoek et al., 2002

Untuk menentukan nilai  $\sigma_3n$  dibutuhkan nilai  $\sigma'_{3max}$ . Nilai  $\sigma'_{3max}$  untuk perencanaan terowongan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0,72 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0,91} \quad (2-5)$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (2-6)$$

Keterangan:

$\sigma'_{3max}$  = tegangan utama minor maksimum

$\sigma'_{cm}$  = kuat tekan batuan

$\gamma$  = berat jenis massa batuan

$H$  = kedalaman terowongan

$s$ ,  $a$ , dan  $m_b$  = konstanta massa batuan.

## 2.11 Kriteria keruntuhan *Hoek-Brown*

*Hoek Brown* (1980) merupakan suatu cara yang digunakan untuk mengetahui kekuatan massa batuan. Kriteria keruntuhan *HoekBrown* digunakan untuk mengetahui massa batuan keras, dengan berbagai pengembangan kriteria *Hoek Brown* dapat digunakan untuk mengetahui seluruh tipe massa batuan.

*Hoek Brown* menyampaikan kriteria keruntuhan untuk menyediakan input data atau analisa yang dibutuhkan dalam proses penggalian tanah pada batuan keras. Kriteria tersebut didapatkan dari hasil penelitian terhadap keruntuhan dari batuan utuh oleh Hoek dan penyelidikan perilaku massa batuan yang berdiskontinuitas oleh *Hoek Brown* (Hoek et al 2002) lihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1: Nilai parameter  $m_i$  batuan utuh hoek dan marinos 2002

Tipe batuan	Kelompok	Batuan	Nilai $m_i$
		<i>Breccia</i>	19
Sedimen	Klastik	<i>Sandstone</i>	17
		<i>Siltstone</i>	7
		<i>Claystone</i>	4
Metamorf	Foliasi	<i>Gneiss</i>	28
		<i>Schists</i>	12
		<i>Phyllites</i>	7
Beku	Piroklastik	<i>Breccia</i>	19
		<i>Lapilli</i>	13
		<i>Tuffa</i>	8

Sumber: Rock mechanis Hoek Brown (*Hoek et al 2002*)

Pada perhitungan kuat massa batuan, terdapat konstanta yang diketahui yaitu  $m_b$ ,  $s$  dan  $a$ . Adapun  $m_b$ ,  $s$  dan  $a$  konstanta yang digunakan untuk



memperhitungkan kuat massa batuan berdasarkan kriteria Hoek- Brown, yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

$$m_b = m_i \exp \left[ \frac{GSI-100}{28-14D} \right] \quad (2-7)$$

$$s = \exp \left[ \frac{GSI-100}{9-3D} \right] \quad (2-8)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \quad (2-9)$$

Keterangan:

$m_b$ ,  $s$ , dan  $a$  = konstanta massa batuan.

GSI = *Geological Strength Index*

D = faktor disturbance (0,9)

Hoek et al (1980), mengatakan perhitungan tegangan massa batuan secara empiris yang didasarkan pada kriteria keruntuhan *non-linear Griffith*. Adapun persamaan tersebut mengalami pengembangan sampai pada tahun 1995 ditetapkan sebagai persamaan yang digunakan untuk menghitung kekuatan massa batuan, yaitu sebagai berikut:

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma'_3 \quad (2-10)$$

Keterangan:

$\sigma'_1$  = tegangan utama mayor efektif

$\sigma'_3$  = tegangan utama minor efektif

$\sigma_c$  = kuat tekan uniaksial batuan

$\phi$  = sudut geser dalam

persamaan Hoek et al (2002) menentukan tegangan normal dari persamaan, sebagai berikut:

$$\text{Tegangan normal : } \sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \times \frac{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} - 1}{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} + 1} \quad (2-11)$$

dengan,

$$\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} = 1 + \left( \frac{m_b \sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{a-1} \quad (2-12)$$

Keterangan:

$\sigma'_n$  = tegangan normal efektif

$\sigma'_1$  = tegangan utama mayor efektif

$\sigma'_3$  = tegangan utama minor efektif

$\tau$  = kuat geser massa batuan

$s$ ,  $a$ , dan  $m_b$  = konstanta massa batuan.

## 2.12 Tegangan Batuan di Sekeliling Terowongan

Penggalian yang dilaksanakan untuk membuat lubang bukaan terowongan akan memberikan perubahan tegangan dan distribusi perpindahan di sekitar bukaan terowongan pada massa batuan dimana penggalian dilaksanakan. Adapun tegangan-tegangan yang terjadi pada sekitar terowongan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tegangan geser ( $\tau_{r\theta}$ ) yang merupakan hasil interaksi dari tegangan radial dan tegangan tangensial.

B.H.G. Brady dan E.T. Brown (1985) memperkenalkan persamaan untuk menghitung tegangan-tegangan yang terjadi di sekitar terowongan yaitu sebagai berikut:

$$\tau_{r\theta} = \frac{p}{2} \left[ (1 - K) \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right] \quad (2-15)$$

Keterangan:

$P$  = tekanan vertikal

=  $\gamma$  (berat isi massa batuan) x  $H$  (kedalaman titik as dari permukaan)

$$K = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$\theta$  = sudut tinjau pada terowongan

$a$  = jari-jari terowongan

$r$  = jarak dari pusat terowongan ke titik pengamatan

### 2.13 *Rock Mass Rating (RMR) System*

Klasifikasi geomekanika atau system peringkat massa batuan (*rock mass rating/RMR*) pertama kali dikembangkan di dewan penelitian ilmiah dan industri Afrika selatan (CSIR), oleh Bieniawski (1989) berdasarkan pengalamannya di terowongan dangkal di batuan sedimen (Kaiser, MasKay dan Gale, 1986). Untuk menerapkan system kalsifikasi geomekanika harus dibagi menjadi sejumlah unit struktur geologi sedemikian rupa sehingga setiap jenis massa batuan di wakili oleh unit struktur geologi terpisah

Untuk klasifikasi massa batuan, Rock Mass Rating memiliki 6 parameter, yaitu:

1. Kuat tekan uniaksial (UCS) dari material batuan utuh

Nilai kuat tekan dapat diketahui dari pengeboran berdasarkan hasil uji laboratorium, yaitu pengujian *uniaxial unconfined compressive strength (UCS)*. Hasil pengeboran batuan diambil berdasarkan kondisi yang masih utuh tanpa gangguan diskontinuitas yang di pilih mewakili daerah pengerjaan. Sampel diuji dalam bentuk silinder yang dimana memiliki perbandingan

tinggi dan diameter tertentu, perbandingan ini akan sangat berpengaruh pada nilai UCS yang di hasilkan. Sampel akan di uji melui mesin tekan (*uniaksial*).

Tabel 2. 2: Kuat tekan uniaksial

Deskripsi Kualitatif	Kuat tekan (Mpa)	Point Load Strength (Mpa)	Rating
Sangat sangat kuat	> 200	8	15
Sangat kuat	100 – 200	4 – 8	12
Kuat	50 – 100	2 – 4	7
Sedang	25 – 50	1 – 2	4
Lemah	10 – 25	disarankan menggunakan nilai kuat tekan	2
Sangat lemah	3 – 10		1
Sangat sangat lemah	1 – 3		0

Sumber : Rock mass classification Bieniawski 1989

Tabel 2. 3: Klasifikasi teknik batuan utuh

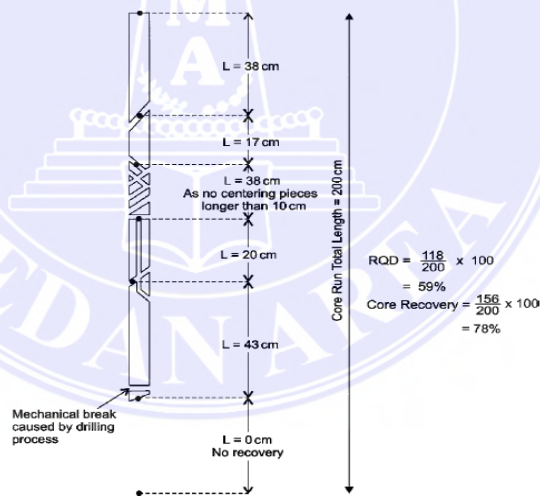
Bobot	Diskripsi	Uji Lapangan	UCS (Mpa)	Index Point Load (Mpa)
1	Sangat lemah	Bisa ditekan dengan paku	1-5	-
2	Lemah	Hancur bila dipukul dengan palu/dapat digores dengan pisau	5-25	-
4	Sedang	Tidak dapat digores dengan pisau	25-50	<1
7	Kuat	Dapat hancur dengan memukul lebih dari satu kali	50-100	2-4
12	Sangat kuat	Hancur dengan memukul berkali-kali	100-250	4-10

Bobot	Diskripsi	Uji Lapangan	UCS (Mpa)	Index Point Load (Mpa)
15	Sangat kuat sekali	Sulit pecah dipukul dengan palu	>250	>10

Sumber : Rock mass classification Bieniawski 1989

## 2. Rock Quality Designation (RQD)

RQD adalah metode untuk menampilkan kualitas massa batuan berdasarkan bidang-bidang diskontinuitas melalui contoh inti pengeboran (*core*) sebagai indeks penilaian batuan secara kuantitatif, kemudian diukur panjangnya setelah periode pemboran, maka RQD adalah rasio panjang contoh inti batuan terhadap kedalaman 1 periode pemboran. Dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. 17: penilaian kualitas massa batuan  
Sumber : Rock mass classification Bieniawski 1989

Perhitungan RQD dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik perlapisan batuan maupun kekar atau sesar) dengan persamaan oleh Bienawski dalam (Singh dan Goel, 1999):

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (2-16)$$



dimana  $\lambda$  adalah jumlah diskontinuitas per meter.

Tabel 2. 4: Kualitas massa batuan

Deskripsi Kualitatif	RQD (%)	Rating
Sangat Baik ( <i>Excellent</i> )	90-100	20
Baik ( <i>Good</i> )	75-90	17
Sedang ( <i>Fair</i> )	50-75	13
Buruk ( <i>Poor</i> )	25-50	8
Sangat buruk ( <i>Very Poor</i> )	<25	3

Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

### 3. Jarak bidang diskontinuitas (*Spacing of Discontinuities*)

Diskontinuitas meliputi kondisi kekar, lapisan atau foliasi, zona geser, sesar minor, dan permukaan kelemahan lainnya. Secara signifikan sangat penting untuk mengetahui nilai struktur massa batuan. Jika terdapat lebih dari satu himpunan diskontinuitas dan jarak diskontinuitas setiap set bervariasi, pertimbangan berorientasi tidak menguntungkan ditetapkan dengan peringkat terendah. ISO 14689 menggunakan istilah "sangat dekat" untuk jarak sambungan kurang dari 0,02 m.

Tabel 2. 5: Klasifikasi jarak antar kekar

Deskripsi	Spasi (m)	Rating
Sangat lebar ( <i>Very wide</i> )	>2	20
lebar ( <i>Wide</i> )	0,6-2	15

Deskripsi	Spasi (m)	Rating
Sedang (Moderate)	0,2-0,6	10
rapat (Close)	0,06-0,2	8
Sangat rapat (Very close)	<0,06	5

Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

4. Kondisi bidang diskontinuitas (*Condition of Discontinuities*)

Parameter ini meliputi kekerasan permukaan diskontinuitas, pemisahannya, panjang atau kontinuitasnya, pelapukan batuan disekitar dinding atau bidang kelemahannya, material pengisi (*gouge*).

5. Kondisi air tanah

Pada perencanaan terowongan, laju aliran air tanah (*inflow*) dalam liter per menit per 10 m panjang terowongan harus ditentukan, atau kondisi umum dapat digambarkan sebagai benar-benar kering, lembab, basah, menetes, atau mengalir. Jika data tekanan air aktual tersedia, ini harus dinyatakan dan dinyatakan dalam rasio tekanan air rembesan terhadap besar aliran utama.

Tabel 2. 6: Klasifikasi Nilai kondisi air tanah

Kondisi umum	kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
<i>Inflow</i> per 10 m panjang (liter/menit)	tidak ada	<10	<25	25 - 125	>125
Rasio tekanan air pada bidang diskontinuitas	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
rating	15	10	7	4	0

Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

6. Orientasi bidang diskontinuitas

Orientasi Diskontinuitas merupakan penurunan diskontinuitas yang mengacu pada arah utara. Sudut kemiringan adalah sudut antara bidang horizontal dan bidang diskontinuitas yang di ambil dalam arah kemiringan bidang. Nilai *dip* dan *strike* lurus dengan sumbu terowongan. Pengaruh *strike* dan *dip* dari diskontinuitas dipertimbangkan sehubungan dengan arah alur terowongan, orientasi muka lereng. Untuk memutuskan apakah *strike* dan *dip* menguntungkan atau tidak, yang memberikan penilaian kuantitatif efek orientasi sendi kritis mengenai terowongan dan bendungan.

Tabel 2. 7: Jurusan/kemiringan bidang diskontinuitas

Arah Jurusan Tegak Lurus Sumbu Terowongan				Arah Jurusan Sejajar Sumbu Terowongan		Mengabaikan Jurusan
Maju Searah Kemiringan		Maju Melawan Kemiringan				
Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip
45 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup> -20 <sup>0</sup>
Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan	sedang	sedang

Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

Klasifikasi *Rock Mass Rating system (RMR)* berfungsi sebagai parameter untuk mengetahui struktur batuan geologi di sekitar terowongan. Dengan 6 parameter pada *rock mass rating system* yang berfungsi sebagai pengontrol koreksi orientasi/arah bidang diskontinuitas, sehingga jumlah akhir pembobotan dapat di ketahui melalui tabel Parameter klasifikasi massa batuan dan bobot (Bieniawski, 1989).

Tabel 2. 8: Klasifikasi *rock mass rating system (RMR)*

Parameter		Interval Nilai							
1	<b>Kuat tekan</b>	PLI (MPa)	> 10	4-10	2-4	1-2	Gunakan nilai UCS		
	<b>batuan utuh</b>	UCS (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
		Bobot	15	12	7	4	2	1	0
2	<b>RQD (%)</b>		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
		Bobot	20	17	13	8	3		
3	<b>Jarak kekar</b>		> 2 m	2 - 0,6 m	0,6 - 0,2 m	0,2 - 0.06 m	< 0.06 m		
		Bobot	20	15	10	8	5		
	<b>Kemenerusan kekar</b>		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Bobot	6	4	2	1	0		
	<b>Kekasaran kekar</b>		Sangat kasar	kasar	Sedikit kasar	halus	Slickensided		
		Bobot	6	5	3	1	0		
4	<b>Bukaan kekar</b>		Tidak ada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Bobot	6	5	4	1	0		
	<b>Material pengisi</b>		Tidak ada	Keras < 5 mm	Keras > 5 mm	Lunak < 5 mm	Lunak > 5 mm		
		Bobot	6	4	2	2	0		
	<b>Pelapukan</b>		Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Hancur		
		Bobot	6	5	3	1	0		
5	<b>Kondisi air tanah</b>		Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
		Bobot	15	10	7	4	0		

Strike & dip		Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tak menguntungkan	Sangat tak menguntungkan
6	Tunnel	0	-2	-5	-10	-12
Bobot	Pondasi	0	-2	-7	-15	-25
	Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

### 2.14 Sistem penyangga terowongan dalam RMR

Sistem dan penyangga terowongan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) menurut (Bieniawski, 1989) bertujuan untuk terowongan dibatuan dengan lebar 10 meter, dengan bentuk tapal kuda, tegangan vertical lebih kecil dari pada 25 MPa, serta metode penggalian yang digunakan dengan pengeboran dan peledakan.

Tabel 2. 9: Penggalian dan Penyangga Terowongan Dengan system Klasifikasi massa batuan

Kelas Massa Batuan	Penggalian	Penyangga		
		Rock Bolt	Shotcrete	Steel Sets
Batuan sangat bagus(kelas I) RMR 81 – 100	Full face, dengan kemajuan 300 cm	Umumnya tanpa menggunakan system penyangga, adakalanya pengukuran dilakukan untuk memakai “spot bolting”		
Batuan baik (Kelas II) RMR 61 – 80	Full face, dengan kemajuan 1- 1,5 m. dukungan komplet 20 m dari face.	Lokalisasi, rocbolt pada atap sepanjang 300 cm adakalanya dengan wire mesh	5 cm dibagian atap	-
Batuan sedang (Kelas III) RMR 41 – 60	heading dan bench, dengan kemajuan 150 - 300 cm. Penyanggaan dimulai setelah	Bolt sistematis panjang 400 cm dengan spasi 150 – 200 cm dibagian atap serta dinding.	50 – 100 mm di atap dan 30 mm di dinding (sides)	-



Kelas Massa Batuan	Penggalian	Penyangga		
		Rock Bolt	Shotcrete	Steel Sets
	peledakan dan 10 m dari face	Pada bagian atap dibuat dengan wire mesh.		
Batuan buruk (kelas IV) RMR 21 – 40	Top heading dan bench, dengan kemajuan 100 – 150 cm heading. Lakukan penyanggaan setiap 10 cm penggalian dari face	rocbolt sistematis panjang 400 – 100 cm dengan jarak 100 – 150 cm dibagian atap serta dinding dengan wire mesh.	10 – 15 cm di bagian atap dan 10 cm dibagian dinding	Ribs ringan – sedang dengan spasi 150 cm
Batuan sangat buruk (Kelas V) RMR <20	Multiple drifts dengan kemajuna 0,5 – 1,5 m di top heading. Buat penyangga setiap penggalian. Shotcrete segera dipasang penyangga setelah peledakan dilakukan	Bolt sistematis panjang 5 – 6 m dengan spasi 1 – 1,5 m di atap dan di dinding dengan wire mesh. Buat rocbolt di lantai (invert)	15 – 20 cm di bagian atap, 15 cm di bagian dinding dan 5 cm pada face	Ribs sedang – berat dengan spasi 0,75 m dengan steel lagging dan forepoling

Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

## 2.15 Stand-up time

Menurut Luffer (1958), *stand-up time* adalah jarak waktu tunggu kondisi massa batuan terowongan sebelum mengalami keruntuhan secara alami. Menurut Hoek dan Brown (1980), *stand up time* didefinisikan sebagai bagian terowongan yang belum dipasang penyangga atau jarak antara muka terowongan.

Lauffer dalam (Hoek dan Brown, 1980) menyatakan hubungan antara *stand-up time* pada *span* tanpa bantuan penyangga (*unsupported span/active span*) terhadap kualitas massa batuan dimana *span* tersebut digali.

Lauffer mengusulkan bahwa *stand-up time* terhadap *active span* berhubungan dengan karakteristik massa batuan.

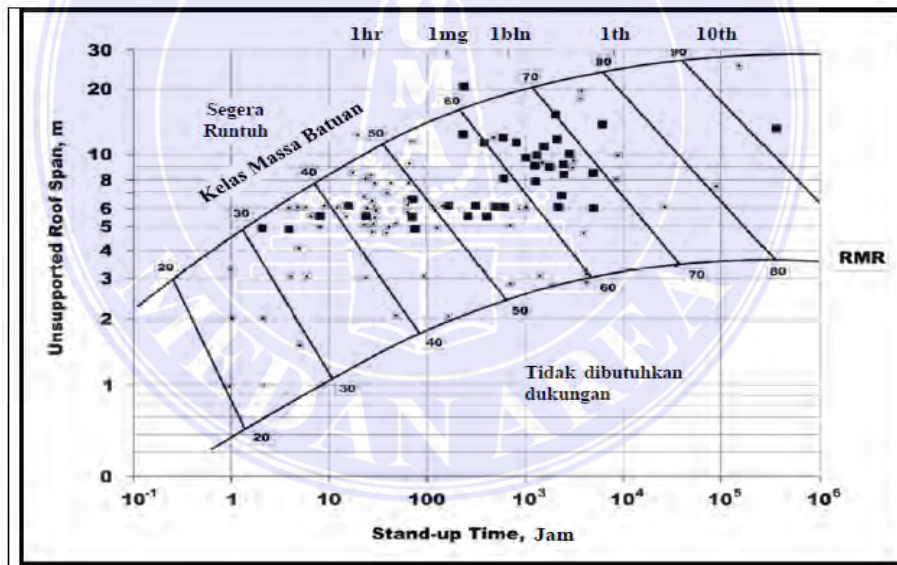
Tabel 2. 10: Arti kelas massa batuan

kelas massa batuan					
rating	81-100	61-80	41-60	21-40	<21
No. kelas	I	II	III	IV	V
deskripsi	batuan sangat baik	batuan baik	batuan sedang	batuan jelek	batuan sangat buruk

arti kelas batuan					
No. kelas	I	II	III	IV	V
Waktu tunggu rata-rata	20 th, jangkauan 15 m	1 th, jangkauan 10 m	1 mg, jangkauan 5 m	10 jam, jangkauan 2,5 m	30 menit, jangkauan 1 m

Sumber: Rock mass classification Bieniawski, Z.T, 1989









Gambar 2. 18: grafik stand-up time terowongan  
 Sumber: Rock mass classification Bieniawski 1989

### 2.16 Geological Strength Index (GSI)

Hoek dan Brown (1997) memperkenalkan Geological Strength Index (GSI) untuk kedua *hard* dan massa batuan yang lemah. Sistem klasifikasi harus non-linier untuk batuan yang buruk sebagai kekuatan memburuk

dengan cepat dengan pelapukan. GSI didasarkan pada dua faktor yang di nilai memiliki pengaruh penting terhadap sifat mekanik dari massa batuan.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes			30	20	
					10	
		N/A	N/A			

Gambar 2. 19: Estima visual kondisi geologi  
 Sumber: Engineering rock mass classification Roclab, 2006  
 Marinos dan Hoek, 2000

### 2.17 Q-System

Barton, Lien, dan Lunde (1974) di Institut Geoteknik Norwegia (NGI) sistem Q klasifikasi massa batuan berdasarkan sekitar 200 kasus terowongan Mereka mendefinisikan kualitas massa batuan Q sebagai berikut dibawah ini:

$$Q = \left[ \frac{RQD}{J_n} \right] \cdot \left[ \frac{J_r}{J_a} \right] \cdot \left[ \frac{J_w}{SRF} \right] \quad (2-17)$$

Dimana:

RQD = Penunjuk kualitas massa batuan

$J_n$  = Nomor set bersama

$J_r$  = Nomor kekasaran sambungan untuk set sambungan diskontinuitas

$J_a$  = Nomor perubahan Bersama untuk set bersama orientasi kritis

$J_w$  = Faktor reduksi air

SRF = Faktor pengurangan stress

Untuk mengetahui kondisi struktur batuan diterapkan 6 parameter yang di defenisikan sebagai berikut ini:

2. *Rock Quality Designation (RQD)*

RQD berfungsi untuk mengetahui kualitas massa batuan berdasarkan indek penilaian peringkat *rock quality designation pada Q-system*.

3. Joint set number ( $J_n$ )

$J_n$  adalah himpunan sambungan yang digunakan sebagai parameter yang dipengaruhi oleh foliasi, schistocity. Parameter diskontinuitas  $J_n$  dihitung sebagai himpunan gabungan lengkap.

Tabel 2. 11: nilai rating pasang kekar ( $J_n$ )

kondisi		$J_n$
A	masif, tidak ada atau sedikit kekar	0,5-1,0
B	satu set gabungan	2
C	satu bentuk kekar ditambah acak	3
D	dua bentuk kekar	4
E	dua bentuk kekar ditambah acak	6
F	tiga bentuk kekar	9



kondisi		$J_n$
G	tiga bentuk kekar ditambah acak	12
H	empat atau lebih bentuk kekar, acak sangat kekar, dll	15
I	batu hancur	20

Sumber: Engineering rock mass classification Barton et,al 1974

4. Kekasaran sambungan dan perubahan sambungan ( $J_r$  and  $J_a$ )

$J_r$  dan  $J_a$  adalah parameter yang mewakili kekasaran dan tingkat perubahan dinding sambungan atau bahan pengisi. Parameter  $J_r$  dan  $J_a$  diperoleh untuk sambungan kritis terlemah atau diskontinuitas di zona tertentu. Maka gabungan atau diskontinuitas digunakan untuk mengevaluasi Q-system.

Tabel 2. 12: nilai rating tingkat kekasaran

kondisi		$J_r$
(a) kontak dinding batu		
(b) kontak dinding batu sebelum geser 10 cm		
A	Sambungan terputus	4
B	kasar atau tidak beraturan, gelombang	3
C	halus, bergelombang	2,0
D	sisi licin, bergelombang	1,5
E	kasar atau tidak beraturan, rata	1,5
F	halus, rata	1,0
G	sisi licin, rata	0,5
(c) tidak ada kontak dinding batu saat geser		
H	zona mengandung mineral lempung yang cukup tebal untuk mencegah kontak dinding batuan	1,0
I	zona berpasir, berkerikil, atau hancur cukup tebal untuk mencegah kontak dinding batu	1,0

Sumber: Engineering rock mass classification Barton et,al 1974



Tabel 2. 13: Nomor perubahan bersama Ja

kondisi	Derajat	$J_a$
(a) kontak dinding batu		
A	sangat baik, keras, tidak lunak, pengisi kedap air, kuarsa, atau epidot	0,75
B	dinding sambungan tidak berubah, hanya pewarnaan permukaan	25-35 1,0
C	dinding sambungan sedikit berubah. Lapisan mineral yang tidak melunak, partikel berpasir, batuan hancur bebas tanah liat, dll	25-30 2,0
D	lapisan tanah liat atau berpasir, fraksi pelunakan atau lapisan mineral tanah	20-25 3,0
E	liat gesekan rendah ketebalan 1-2 mm atau kurang	Aug-16 4,0

Sumber: Engineering rock mass classification Barton et al 1974

#### 5. Joint Water Reduction Factor ( $J_w$ )

Parameter  $J_w$  adalah ukuran tekanan air, yang memiliki efek buruk pada kekuatan geser sambungan. Hal ini disebabkan pengurangan tegangan normal efektif.

Tabel 2. 14: Faktor tekanan air

kondisi	tekanan air (Mpa)	$J_w$
A	penggalan kering atau aliran masuk kecil, yaitu, 5 lt/ mnt secara lokal	<0,1 1,0
B	aliran masuk sedang atau tekanan keluar sesekali dari tambalan retakan	0.1-0,25 0,66

C	aliran masuk yang besar atau tekanan tinggi pada batuan yang kompeten dengan sambungan yang tidak terisi	0,25-1,0	0,5
D	aliran masuk yang besar atau tekanan tinggi, tambalan batuan yang cukup besar	0,25-1,0	0,33
E	aliran masuk atau tekanan air yang sangat tinggi pada peledakan, membusuk seiring waktu	>0,1	0,2-0,1
F	aliran masuk yang sangat tinggi atau tekanan air berlanjut	>0,1	0,1-0,005

Sumber: Engineering rock mass classification Barton et,al 1974

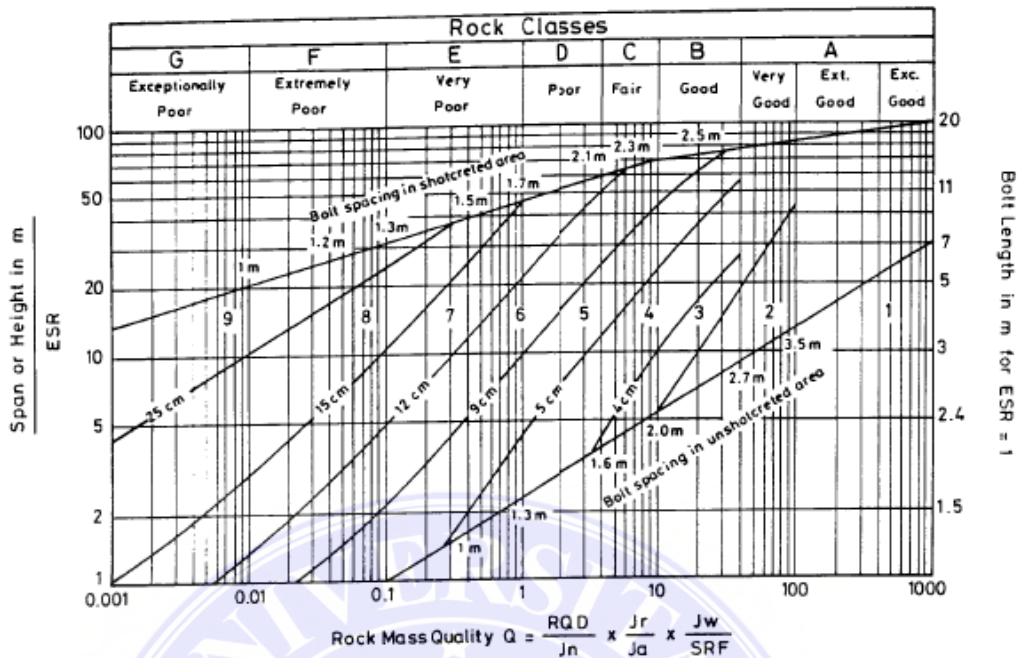
#### 6. Stress Reduction Factor (SRF)

Parameter SRF adalah ukuran dari (i) tekanan longgar dalam penggalian melalui zona geser dan massa batuan, tegangan batuan  $\sigma_c / \sigma_1$  pada massa batuan dimana  $\sigma_c$  adalah kuat tekan uniaksial material batuan dan  $\sigma_1$  adalah tegangan tegangan utama sebelum penggalian. SRF juga dapat dianggap sebagai parameter tegangan total.

Tabel 2. 15: Nilai rasio klasifikasi massa batuan *Q*-system

	Jenis penggalian	ESR
A	Bukaan tambang sementara	3-5
B	Bukaan tambang permanen, terowongan air dan <i>pilot Tunnel</i>	1.6
C	Terowongan untuk pemeriksaan pipa air, terowongan jalan minor dan terowongan kereta api, dan terowongan akses	1.3
D	Pembangkit listrik, terowongan jalan dan kereta api major	1.0
E	Pembangkit listrik nuklir bawah tanah, stasiun kereta api, fasilitas olahraga dan publik, pabrik	0.8

Sumber: Engineering rock mass classification Barton 2008



Gambar 2. 20: Grafik desain dukungan shotcrete (SFRS) diperkuat serat baja  
 Sumber: Engineering rock mass classification Grimstad and Barton, 1993

### 2.18 Hubungan antara *Rock Mass Rating (RMR)*, *Geological Strength Index (GSI)* dan *Q-System*

Hoek dan Brown 1997 memberikan korelasi hubungan antara GSI dan RMR sebagai berikut:

$$GSI = RMR - 5 \tag{2-18}$$

Keterkaitan antara dua indeks klasifikasi yang paling banyak digunakan, RMR dari Bieniawski (1976) dan Q dari Barton et al. (1974).

### 2.19 Faktor keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan menurut Mohr-Coulomb adalah acuan dalam mengoptimalkan perbandingan antara kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan. Menurut Bieniawski 1989 nilai  $SF > 1,25$  mengatakan massa batuan stabil,  $SF < 1$  mengatakan massa batuan dalam

keadaan tidak stabil. Faktor keamanan dinyatakan sebagai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya geser.

$$FK = \frac{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right) \sin \phi + c \cos \phi}{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}} \quad (2-19)$$

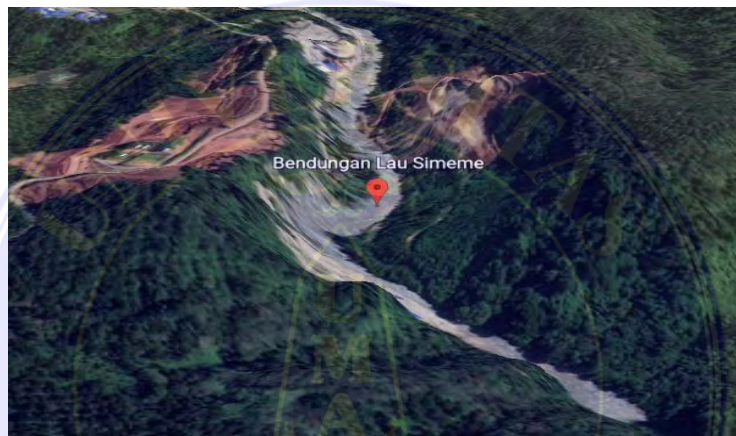


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian pembangunan terowongan bendungan Lau Simeme, terletak di Desa Kuala Dekah Kecamatan Sibiru-biru Kabupaten Deli Serdang yang secara administratif terletak di Wilayah Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara.



Gambar 3. 1: Peta lokasi bendungan lau simeme  
Sumber: Google Earth, 2022

#### 3.2 Pengumpulan data

Pada penelitian ini, data yang digunakan penulis hanya data sekunder. Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari instansi perusahaan berupa data geologi, data topografi, *layout* penampang melintang dan memanjang terowongan, gambar kerja, serta data tanah sebagai berikut :

Titik dan lokasi pengujian tanah

Lokasi pengujian tanah dilakukan pada titik sebagai berikut :

- Lokasi pengujian terletak di terowongan bendungan lau simeme

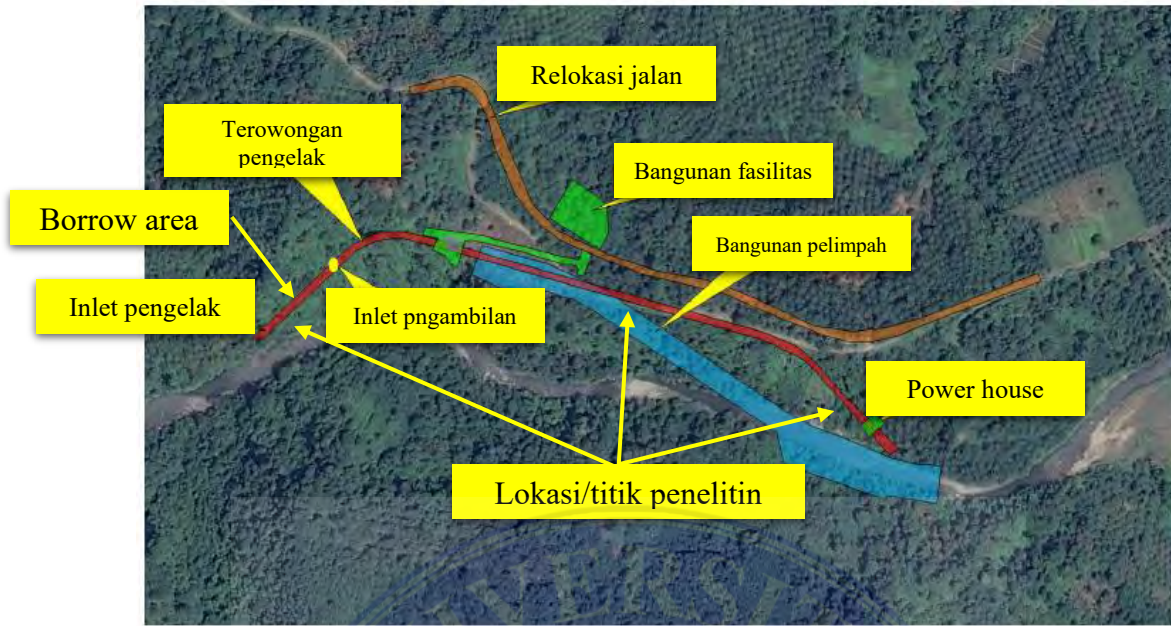


BALAI BANGUNAN HIDRAULIK DAN GEOTEKNIK KEAIRAN LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN DAN BATUAN Jl. Ir. H. Juanda No. 93 Bandung, 40135 Tlp/Fax : 022-2518374 Email : lab.batuan_pusair@yahoo.com	<h3 style="margin: 0;">Summary – Rock</h3> <h3 style="margin: 0;">Bendungan Lau</h3> <h3 style="margin: 0;">Simeme</h3>
--	---

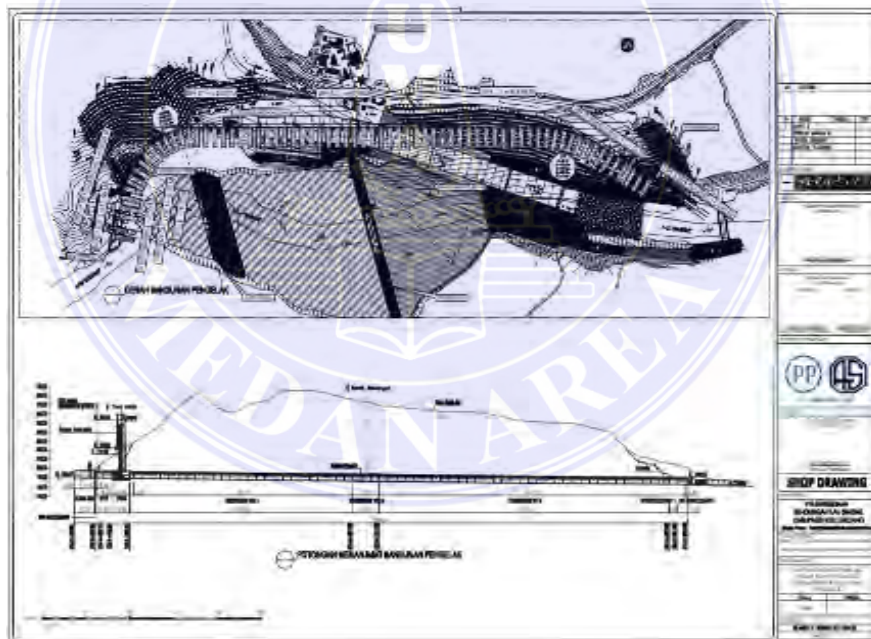
No.	SAMPLE			INDEX PROPERTIES									ULTRASONIC VELOCITY					UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH		TRIAXIAL		PERMEABILITY		
				Natural	Natural	Saturat.	Absorpt/	Dry	Deg. Of	Porosity	Ap.	TRUE	Void	COMPR. W	SHEAR. W	POIS. RAT.	YOUNG'S MOD.	MODULUS. RIG	Natural		C	φ	K	
	Density	Water	Density	ST. Water	Density	Saturated	Spec.	Spec.	Ratio	P	S	(U)	(E)	(G)	σ <sub>c</sub>	E (Axial)								
	ID	DEPTH (m)		LITHOLOGY	gr/cm <sup>3</sup>	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	-	-	-	m/sec	m/sec	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	°	cm/sec
1	DH.1	17,00	18,00		-	2,209	8,14	2,292	12,20	2,043	66,67	24,93	2,0429	2,7214	0,332	3.603,55	1.478,16	0,3989	1,32E+05	4,73E+04	126,137	1,05E+04	23,79	30,66
2	DH.1	79,00	80,00	-	2,052	14,49	2,114	17,93	1,792	80,81	32,14	1,7922	2,6411	0,474	2.460,48	1.138,43	0,3638	7,44E+04	2,73E+04	123,114	9,07E+03	4,26	42,84	
3	DH.2	5,00	6,00	-	1,287	14,92	1,689	50,84	1,120	29,34	56,94	1,1200	2,6011	1,322	1.868,40	1.002,80	0,2977	4,58E+04	1,77E+04	64,053	4,96E+03	4,38	39,79	
4	DH.2	71,00	72,00	-	1,678	15,90	1,910	31,93	1,448	49,80	46,22	1,4475	2,6918	0,860	2.057,76	1.025,18	0,3349	5,84E+04	2,19E+04	150,204	8,85E+03	38,69	23,57	
5	DH.3	96,00	-	-	1,596	11,85	1,895	32,86	1,427	36,05	46,88	1,4266	2,6856	0,883	1.712,61	844,48	0,3394	3,69E+04	1,38E+04	56,894	4,11E+03	5,85	29,34	
6	DH.7	7,00	8,00	-	1,666	10,75	1,954	29,89	1,504	35,98	44,96	1,5042	2,7328	0,817	2.483,87	1.170,61	0,3572	6,04E+04	2,22E+04	101,948	6,74E+03	6,18	18,05	
7	DH.7	29,00	30,00	-	1,357	21,14	1,710	52,68	1,120	40,12	59,01	1,1201	2,7328	1,440	1.493,62	766,75	0,3211	2,44E+04	9,24E+03	43,877	3,03E+03	1,65	27,38	
8	DH.9	28,00	-	-	1,937	11,59	2,108	21,49	1,735	53,90	37,30	1,7354	2,7679	0,595	1.800,00	961,24	0,3005	4,34E+04	1,67E+04	74,544	6,46E+03	0,86	46,05	
9	DH.9	49,00	-	-	2,220	6,61	2,306	10,72	2,083	61,64	22,32	2,0826	2,6811	0,287	2.445,50	941,61	0,4130	5,01E+04	1,77E+04			50,78	9,20	
10	DH.9	51,00	-	-	1,670	10,98	1,942	29,08	1,504	37,76	43,75	1,5045	2,6746	0,778	2.824,19	1.145,66	0,4015	7,92E+04	2,82E+04	128,567	8,44E+03			
11	DH.9	79,00	-	-	2,077	12,22	2,176	17,52	1,851	69,72	32,44	1,8512	2,7401	0,480	3.590,00	1.329,63	0,4205	1,20E+05	4,22E+04	268,764	1,55E+04	65,87	19,26	
12	DH.9	80,00	-	-	2,041	14,44	2,095	17,48	1,783	82,61	31,17	1,7832	2,5906	0,453	2.421,26	1.191,86	0,3401	8,35E+04	3,12E+04	169,987	1,27E+04			
<b>Total Testing</b>					<b>12</b>									<b>1</b>					<b>11</b>		<b>10</b>		<b>0</b>	

REMARK : Penyelia Lab. Mekanika Batuan & Bahan

( Iwan Prasetya, ST )



Gambar 3.2: Lokasi boring dan titik boring dilaksanakan  
Sumber: Google earth



Gambar 3. 3: Denah terowongan pengelak bendungan lau simeme  
Sumber: Data lapangan PT.PP



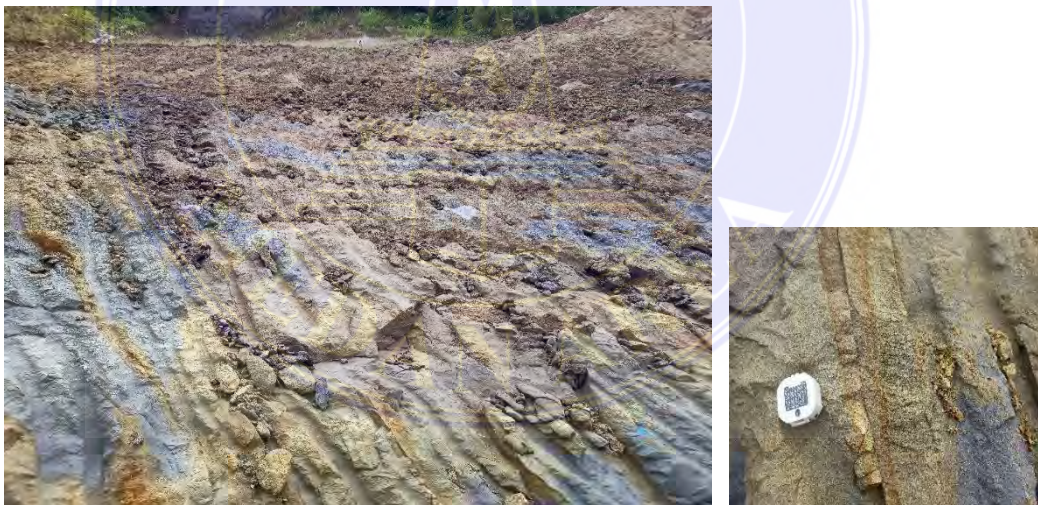


### 3.3 Satuan batuan pada daerah penelitian

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan bsecara langsung di lapangan, pada daerah penelitian terdapat 4 jenis satuan batuan yang dimana yaitu batuan tufa pasiran, batuan konglomerat, batuan tufa breksi pumice, dan batuan tufa breksi

#### 3.3.1 batuan tufa pasiran

Berdasarkan struktur geologi daerah penelitian, didapatkan hasil pengamatan secara langsung terdapat satuan batuan tufa pasiran. Dimana pengamatan secara langsung dilapangan batuan tufa pasiran dicirikan dengan warna abu-abu kehitaman. Dimana hasil pengamatan terdapat 30 % tufa pasiran pada daerah penelitian, perhatikan pada gambar 3.6 dibawah ini:



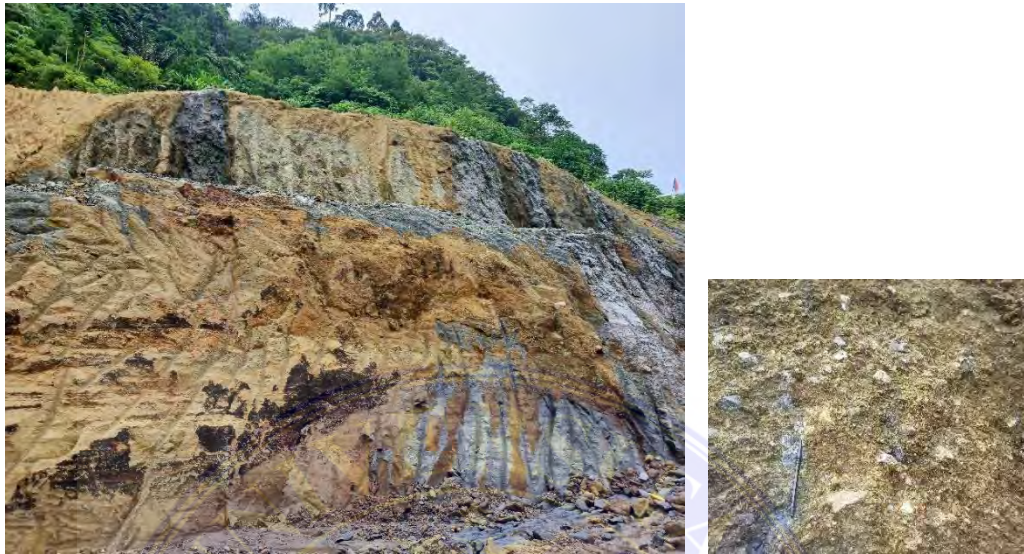
Gambar 3. 6: batuan tufa pasiran  
Sumber: bendungan lau simeme

#### 3.3.2 batuan konglomerat

Berdasarkan struktur geologi daerah penelitian, didapatkan hasil pengamatan secara langsung terdapat satuan batuan konglomerat. Dimana pengamatan secara langsung dilapangan batuan konglomerat dicirikan dengan



warna abu-abu kehitaman dengan tekstur bentukan fragmen berbutir kasar, terdiri dengan bentuk kebulungan dengan ukuran lebih besar dari 2 mm.



Gambar 3. 7: batuan konglomerat  
Sumber: bendungan lau simeme

### 3.3.3 batuan tufa breksi pumice

Berdasarkan struktur geologi daerah penelitian, didapatkan hasil pengamatan secara langsung terdapat satuan batuan tufa breksi pumice atau disebut batu apung. Dimana pengamatan secara langsung dilapangan batuan tufa breksi pumice dicirikan berwarna coklat terang.



Gambar 3. 8: batuan tufa pumice  
Sumber: bendungan lau simeme



### 3.3.4 batuan tufa breksi

Berdasarkan struktur geologi daerah penelitian, didapatkan hasil pengamatan secara langsung terdapat satuan batuan tufa breksi, yang pada daerah penelitian dengan jenis batuan tersebut. Batuan tufa breksi memiliki ciri-ciri yang pada saat dilihat dilapangan yaitu berwarna putih keabu-abuan.



Gambar 3. 9: batuan tufa breksi  
Sumber: bendungan lau simeme

### 3.4 Analisa data

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh, Analisa data dapat dilaksanakan sebagai berikut:

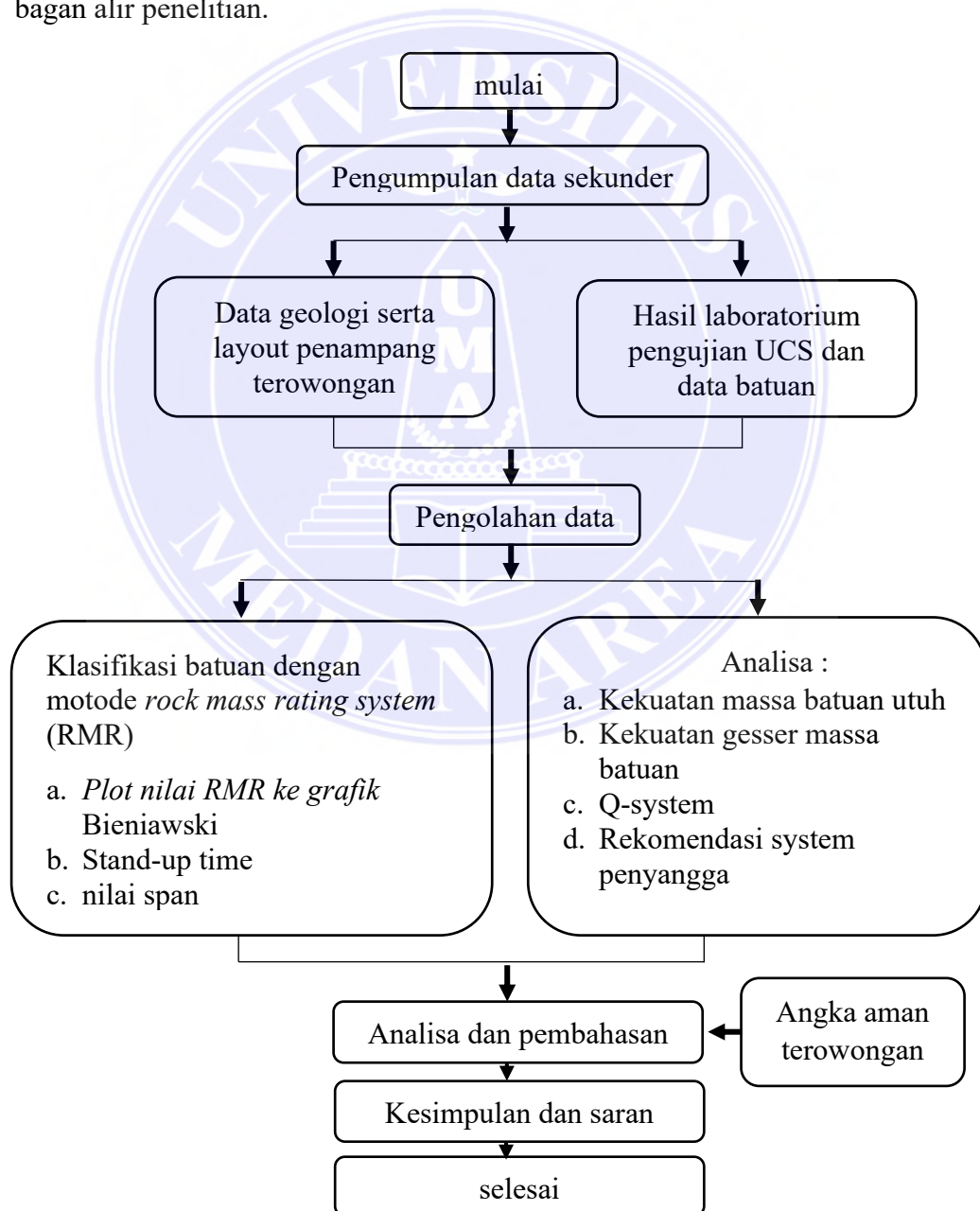
- a. Menghitung nilai RMR sebagai klasifikasi massa batuan
- b. Menentukan nilai ( $m_1$ )
- c. Menghitung konstanta massa batuan
- d. Mengkonversi nilai RMR menjadi GSI
- e. Menghitung nilai  $\sigma'_{cm}$  dan  $\sigma'_{3max}$
- f. Menghitung nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ )
- g. Menghitung tegangan normal ( $\sigma'_n$ )
- h. Menghitung kuat geser

### 3.5 Analisa waktu tunggu pada terowongan

- a. Menghitung nilai parameter *Rock Mass Rating (RMR)*
- b. Menentukan rekomendasi system penyanggan dengan menggunakan klasifikasi RMR dan *Q-system*

### 3.6 Kerangka berpikir penelitian

Untuk mempermudah tahapan proses pengerjaan tugas akhir, maka dibuat bagan alir penelitian.



Gambar 3. 10: Bagan alir penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

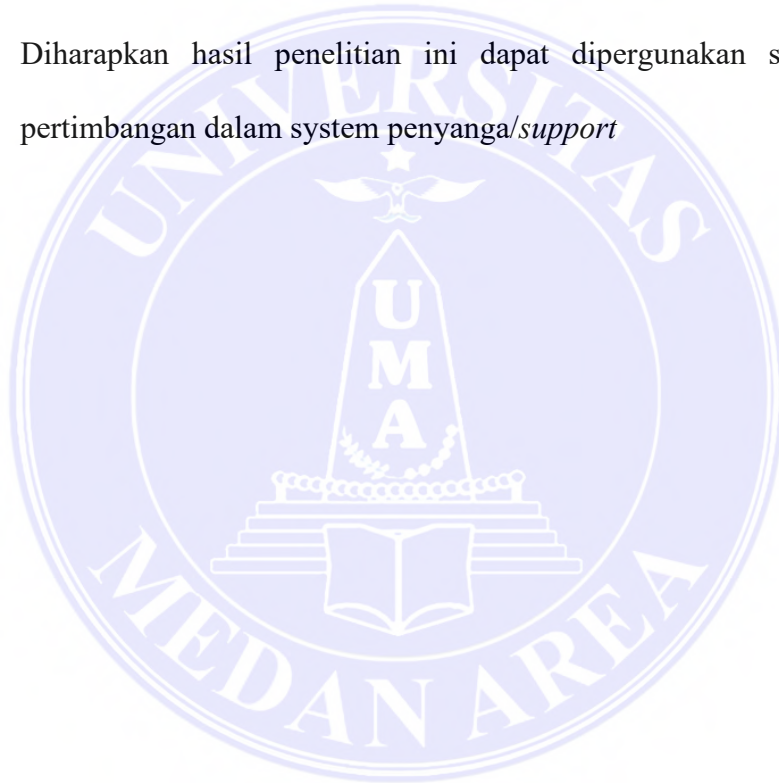
#### 5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil Analisa kekuatan massa batuan pada terowongan bendungan lau simeme menggunakan metode *rock mass rating system (RMR)* pada Sta 0+177 sebesar 55,5 dengan kelas batuan golongan ke III dengan waktu tunggu (*Stand-up time*) ±624 jam atau 3 minggu 5 hari dengan *span* 5 meter, Sta 0+327 sebesar 60 dengan kelas batuan golongan ke III dengan waktu tunggu (*Stand-up time*) ±840 jam atau 1 bulan 1 minggu dengan *span* 8 meter, Sta 0+527 sebesar 71,5 dengan kelas batuan golongan ke II dengan waktu tunggu (*Stand-up time*) ±5040 jam atau 7 bulan 2 minggu dengan *span* 10 meter, Sta 0+597 sebesar 58,5 dengan kelas batuan golongan ke III dengan waktu tunggu (*Stand-up time*) ±336 jam atau 2 minggu dengan *span* 5 meter.
2. Dari hasil kuat geser massa batuan pada terowongan bendungan lau simeme didapatkan nilai kuat geser massa batuan terbesar yaitu pada sta 0+177 dengan nilai 22,84 Mpa dan kekuatan geser terkecil pada Sta 0+527 dengan nilai 5,474 Mpa, dengan nilai kuat geser massa batuan digunakan sebagai parameter kekuatan batuan dalam menahan dinding terowongan terhadap keruntuhan pada waktu tunggu (*stand-up time*)
3. Berdasarkan nilai faktor keamanan pada setiap lokasi penelitian terowongan berdasarkan pada kriteria Mohr-coulumb, nilai faktor keamanan pada terowongan sebesar 1,0 sehingga masuk dalam kategori relative stabil sebelum dilakukan system perkuatan.

## 5.2 Saran

Pada penelitian yang dilakukan yaitu menggunakan metode analisa kualitas massa batuan berdasarkan *rock mass rating system (RMR)* pada terwongan bendungan lau simeme. Maka saran yang diharapkan pada penelitian ini yaitu:

1. Dilakukan pemasangan system penyangga berdasarakan rekomendasi hasil dari *rock mass rating system (RMR)* serta dilakukan perhitungan lebih mendetail terhadap system penyangga
2. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan dalam system penyangga/*support*





## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S.M. dan Konietzky, H., 2015, *Rock Mass Classification System*, Technical University Freiberg.
- Anonim, 2022, *Google Earth*, <http://www.googleearth.com/> (22 Mei 2022)
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Kuat Tekan Batu Uniaksial*. SNI No. 2825-2008. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Barton, N., Loset, F., Lien, R. and Lude, J. 1974. *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.
- Bieniawski, Z.T. (1976) *Rock Mass Classification in Rock Engineering*. In: Bieniawski, Z.T., Ed., *Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering*, Balkema, Cape Town, 97-106.
- Bieniawski, Z.T. (1973) *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. *Transactions of the South African Institution of Civil Engineers*, 15, 355-344.
- Brady B.H.G dan Brown E.T. 2005. *Rock Mechanics for Underground Mining*. Springer Science + Business Media, Inc., USA.
- (Cakrabuana, analisis kualitas dan perkuatan massa batuan terowongan eksplorasi uranium eko remaja kalan, 2020)
- Hoek, E., dan Brown, E.T., 1997, *Practical Estimates of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Elsevier.
- Hoek, E., Marinos, P., dan Benissi, M., 1998, *Applicability of The Geological Strength Index (GSI) classification for the very weak and sheared rock masses: the Cases of the Athens Schist Formation*, Elsevier.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1980) *Underground Excavations in Rock*. Institute of Mining and Metallurgy, London

Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). Practical Estimates of Rock Mass Strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34, 1165-1196.

Hudson, J. A. & Harrison, J. P., 1997. *Engineering Rock Mechanics: An Introduction to The Principles*. Oxford: Elsevier Science Ltd.

Kriteria Desain Terowongan 2005, Departemen Pekerjaan Umum Badan Pembinaan Konstruksi dan Sumber Daya Manusia Pusat Pembinaan Kompetensi dan Pelatihan Konstruksi, Indonesia.

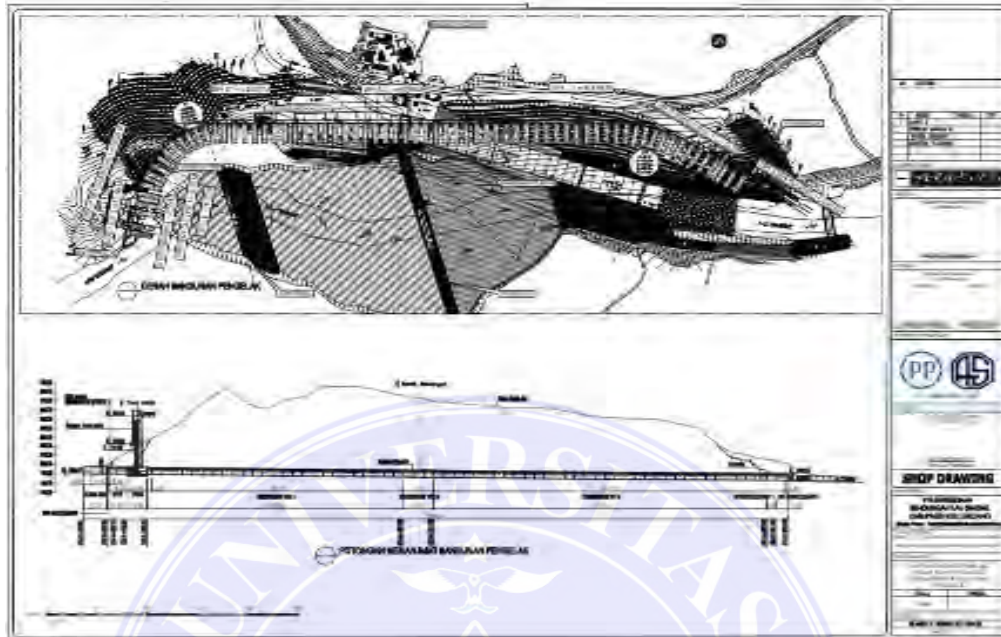
*Peraturan Pemerintah (PP) No. 37 Tahun 2010 tentang Bendungan.*

Rai, Made Astawa. 1988. *Perencanaan dan Pelatihan Teknik Terowongan*. Laboratorium Geoteknik Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung. Bandung.

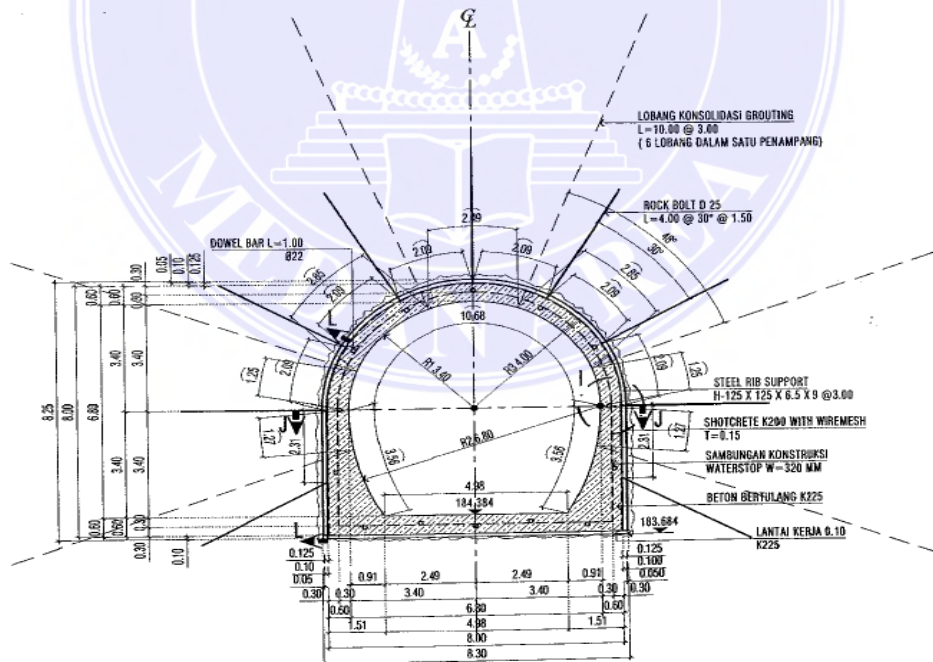
Singh, B., dan Goel, R.K., 2011, *Engineering Rock Mass Classification*, Elsevier,

Z. T. Bieniawski, "Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling," A.A. Balkema, Rotterdam, 1984.

## LAMPIRAN



Gambar 1. 1: Denah terowongan pengelak bendungan lau simeme



Gambar 1. 2: Tipe terowongan bendungan lau simeme





Gambar 1. 3: Satuan batuan tufa pasir

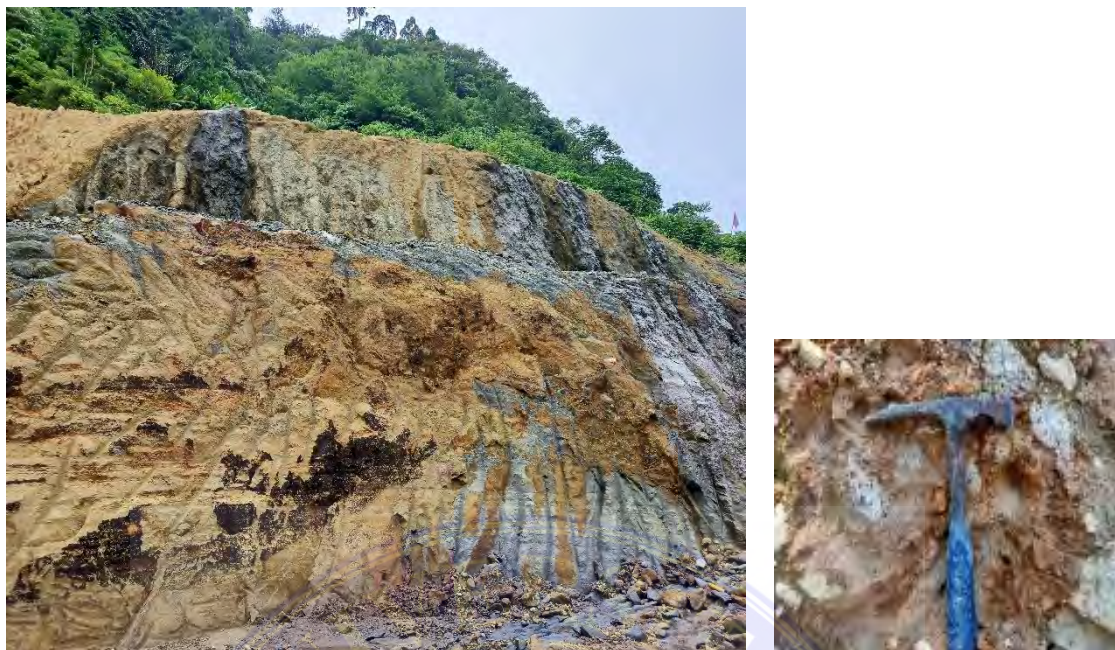


Gambar 1. 4: Satuan batuan tufa konglomerat

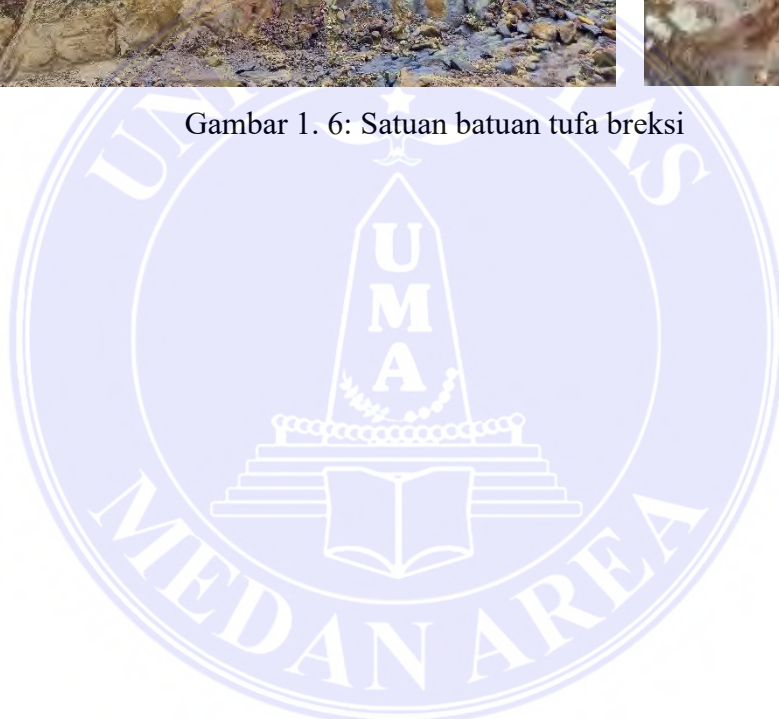


Gambar 1. 5: Satuan batuan tufa pumice





Gambar 1. 6: Satuan batuan tufa breksi



Data batuan									
1. STA 0+177									
No	scanline	jumlah kekar	rata rata jarak kekar	Panjang Kemenerusan (m)	Kekasaran	bukaan kekar	material pengisi	pelapukan	Kondisi air tanah
1	0 - 1	1	0,2-0,6 m	0.89	kasar	<0,1mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
2	1 - 2	1		0.5	kasar	1-5mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
3	2 - 3	0		0.81	kasar	1-5mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
4	3 - 4	3		0.69	kasar	1-5mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
5	4 - 5	1		0.43	kasar	1-5mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
6	5 - 6	0		0.45	kasar	1-5mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
7	6 - 7	3		1,2	kasar	<0,1mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
8	7 - 8	0		0.51	kasar	<0,1mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
9	8 - 9	4		0.59	kasar	<0,1mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
10	9 - 10	1		0.95	kasar	<0,1mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
RQD=98,46%									

## PERHITUNGAN RQD

### 1. STA 0+177

$$1. RQD = 100 x e^{-0,1 x 1} (0,1 x 1 + 1) = 99,53$$

$$2. RQD = 100 x e^{-0,1 x 1} (0,1 x 1 + 1) = 99,53$$

$$3. RQD = 100 x e^{-0,1 x 0} (0,1 x 0 + 1) = 100$$

$$4. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$5. RQD = 100 x e^{-0,1 x 0} (0,1 x 0 + 1) = 100$$

$$6. RQD = 100 x e^{-0,1 x 0} (0,1 x 0 + 1) = 100$$

$$7. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$8. RQD = 100 x e^{-0,1 x 0} (0,1 x 0 + 1) = 100$$

$$9. RQD = 100 x e^{-0,1 x 4} (0,1 x 4 + 1) = 93,84$$

$$10. RQD = 100 x e^{-0,1 x 1} (0,1 x 1 + 1) = 99,53$$

$$\frac{99,53 + 99,53 + 100 + 96,3 + 100 + 100 + 96,3 + 100 + 93,84 + 99,53}{10} = 98,46\%$$

Data batuan									
2. STA 0+327									
No	scanline	jumlah kekar	rata rata jarak kekar	Panjang Kemenerusan (m)	Kekasaran	bukaan kekar	material pengisi kekar	pelapukan	Kondisi air tanah
1	0 - 1	0	0,2-0,6 m	0.75	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	sedikit lapuk	basah
2	1 - 2	0		0.31	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	sedikit lapuk	basah
3	2 - 3	1		0.86	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	sedikit lapuk	basah
4	3 - 4	0		0.49	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	lapuk	lembab
5	4 - 5	0		1,1	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	lapuk	lembab
6	5 - 6	1		0.31	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	lapuk	lembab
7	6 - 7	1		0.89	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	lapuk	lembab
8	7 - 8	1		0.89	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	lapuk	lembab
9	8 - 9	2		0.74	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	lapuk	lembab
10	9 - 10	0		0.29	kasar	<0,1 mm	keras<5 mm	sedikit lapuk	lembab
RQD=97,37%									



## PERHITUNGAN RQD

### 2. STA 0+327

$$1. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 0} (0,1 \times 0 + 1) = 100$$

$$2. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 0} (0,1 \times 0 + 1) = 100$$

$$3. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 1} (0,1 \times 1 + 1) = 99,53$$

$$4. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 0} (0,1 \times 0 + 1) = 100$$

$$5. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 0} (0,1 \times 0 + 1) = 100$$

$$6. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 1} (0,1 \times 1 + 1) = 99,53$$

$$7. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 3} (0,1 \times 3 + 1) = 96,3$$

$$8. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 1} (0,1 \times 1 + 1) = 99,53$$

$$9. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 2} (0,1 \times 2 + 1) = 98,25$$

$$10. RQD = 100 \times e^{-0,1 \times 0} (0,1 \times 0 + 1) = 100$$

$$\frac{100 + 100 + 99,53 + 100 + 100 + 99,53 + 96,3 + 99,53 + 98,25 + 100}{10} = 97,37\%$$

Data batuan									
2. STA 0+527									
No	scanline	jumlah kekar	rata rata jarak kekar	Panjang Kemenerusan (m)	Kekasaran kekar	bukaan kekar	material pengisi kekar	pelapukan	Kondisi air tanah
1	0 - 1	3	0,2-0,6 m	0.25	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
2	1 - 2	6		0.47	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
3	2 - 3	1		0.33	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
4	3 - 4	1		0.42	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
5	4 - 5	7		0.6	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
6	5 - 6	3		0.52	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
7	6 - 7	7		0.16	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
8	7 - 8	5		2.25	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
9	8 - 9	2		1.52	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
10	9 - 10	4		0.39	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	lembab
RQD=93,14%									

## PERHITUNGAN RQD

### 3. STA 0+527

$$1. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$2. RQD = 100 x e^{-0,1 x 6} (0,1 x 6 + 1) = 87,81$$

$$3. RQD = 100 x e^{-0,1 x 1} (0,1 x 1 + 1) = 99,53$$

$$4. RQD = 100 x e^{-0,1 x 1} (0,1 x 1 + 1) = 99,53$$

$$5. RQD = 100 x e^{-0,1 x 7} (0,1 x 7 + 1) = 84,42$$

$$6. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$7. RQD = 100 x e^{-0,1 x 7} (0,1 x 7 + 1) = 84,42$$

$$8. RQD = 100 x e^{-0,1 x 5} (0,1 x 5 + 1) = 90,98$$

$$9. RQD = 100 x e^{-0,1 x 2} (0,1 x 2 + 1) = 98,25$$

$$10. RQD = 100 x e^{-0,1 x 4} (0,1 x 4 + 1) = 93,84$$

$$\frac{96,3 + 87,81 + 99,53 + 99,53 + 84,42 + 96,3 + 84,42 + 90,98 + 98,25 + 93,84}{10} = 93,14\%$$

Data batuan									
2. STA 0+597									
No	scanline	jumlah kekar	rata rata jarak kekar	Panjang Kemenerusan (m)	Kekasaran	bukaan kekar	material pengisi bidang kekar	pelapukan	Kondisi air tanah
1	0 - 1	0	0,2-0,6 m	0.32	kasar	<0,1 mm	tidak ada	tidak lapuk	kering
2	1 - 2	1		0.62	kasar	<0,1 mm	tidak ada	tidak lapuk	kering
3	2 - 3	0		0.56	kasar	<0,1 mm	tidak ada	tidak lapuk	kering
4	3 - 4	1		0.45	kasar	<0,1 mm	tidak ada	tidak lapuk	kering
5	4 - 5	0		0.75	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
6	5 - 6	1		0.94	kasar	<0,1 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
7	6 - 7	1		2.07	kasar	1-5 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
8	7 - 8	1		0.44	kasar	1-5 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
9	8 - 9	1		0.95	kasar	1-5 mm	tidak ada	sedikit lapuk	basah
10	9 - 10	0		0.83	kasar	<0,1 mm	lunak<5 mm	sedikit lapuk	basah
RQD=90,19%									



## PERHITUNGAN RQD

### 4. STA 0+597

$$1. RQD = 100 x e^{-0,1 x 7} (0,1 x 7 + 1) = 84,42$$

$$2. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$3. RQD = 100 x e^{-0,1 x 5} (0,1 x 5 + 1) = 90,98$$

$$4. RQD = 100 x e^{-0,1 x 2} (0,1 x 2 + 1) = 98,25$$

$$5. RQD = 100 x e^{-0,1 x 5} (0,1 x 5 + 1) = 90,98$$

$$6. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$7. RQD = 100 x e^{-0,1 x 10} (0,1 x 10 + 1) = 73,58$$

$$8. RQD = 100 x e^{-0,1 x 4} (0,1 x 4 + 1) = 93,84$$

$$9. RQD = 100 x e^{-0,1 x 3} (0,1 x 3 + 1) = 96,3$$

$$10. RQD = 100 x e^{-0,1 x 8} (0,1 x 8 + 1) = 80,88$$

$$\frac{84,42 + 96,3 + 90,98 + 98,25 + 90,98 + 96,3 + 73,58 + 93,84 + 96,3 + 80,88}{10} = 90,19\%$$