

KAJIAN TEKNIK ROCK MASS RATING DAN Q SYSTEM PADA TEROWONGAN BATU LUBANG I DESA SIMANINGGIR KABUPATEN TAPANULI TENGAH PROVINSI SUMATERA UTARA

Adi Putra Tumanggor¹, Bungaran Tambun² Analiser Halawa³

Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains Dan Teknologi Pardede ^{1,2,3}
Jl. DR. TD. Pardede No. 8, Medan 20153, Sumatera Utara

³aditumanggor13@gmail.com, bungarantambun@istp.ac.id, analiserhalawa@istp.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai Klasifikasi massa batuan Rock Mass Rating dan Sistem Q pada Terowongan Batu Lubang I Desa Simaninggir Kabupaten Tapanuli tengah, proses untuk mendapatkan nilai kedua metode tersebut menggunakan analisis empiris dan numerik, untuk analisis empiris meliputi pengamatan langsung pada lokasi penelitian, analisis numerik menggunakan perangkat lunak, dari hasil analisis tersebut maka diperoleh nilai Rock Mass Rating sebesar 63 termasuk pada kategori II (baik), nilai sistem Q sebesar 12,79 termasuk dalam kategori "good", arah umum bidang diskontinuitas pada N 50° E / 6°, N 258° E / 84°, dan N 124° E / 64°, tegangan utama yang ada pada sudut kanan dan kiri bawah terowongan sebesar 0,570Mpa, strength factor tension 6.0, Faktor Keamanan pada bagian atap 3.0, pada lantai 2.9, dinding kiri bagian bawah 3.6, dinding kanan 2.9.

Kata kunci: *rock mass rating, Q System, klasifikasi, faktor keamanan*

ABSTRACT

This study was conducted to determine the value of Rock Mass Rating and Q System rock mass classification in the Batu Hole Tunnel I Simaninggir Village, Central Tapanuli Regency, the process to obtain the value of both methods uses empirical and numerical analysis, for empirical analysis includes direct observation at the research site, analysis numerically using software, from the results of the analysis, the Rock Mass Rating value of 63 is obtained including in category II (good), the system Q value of 12.79 is included in the "good" category, the general direction of the discontinuity field is at N 50° E / 6°, N 258° E / 84°, and N 124° E / 64°, the main stress in the lower right and left corners of the tunnel is 0.570Mpa, the strength factor tension is 6.0, the Safety Factor on the roof is 3.0, the floor is 2.9, the lower left wall is 3.6, right wall 2.9.

Keywords: *rock mass rating, Q System, classification, factor of safety*

1. Pendahuluan

Terowongan adalah lorong jalan, digali menembus bagian yang dikelilingi oleh tanah atau batuan di bawah permukaan bumi dan kelilingnya tertutup kecuali kedua bagian ujungnya. Sebuah terowongan umumnya relatif panjang dan sempit, panjangnya

biasanya dua kali daripada lebarnya, pembuatan terowongan digunakan untuk penambangan dan militer, definisi terowongan bervariasi dari sumber ke sumber yang lainnya. Dalam melakukan konstruksi untuk membangun sebuah terowongan dibutuhkan perencanaan dan investigasi lokasi pada

area yang ingin dilakukan pembukaan terowongan, pengetahuan tentang perilaku massa batuan perlu diketahui dalam pembukaan dan pelebaran terowongan. Dengan pengetahuan tersebut dapat diterapkan solusi optimal pada batuan keras dengan tekanan yang tinggi (Babar Khan, Dkk 2017). Klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* dan sistem Q digunakan untuk menilai kualitas dari massa batuan di sekitar dinding lubang bukaan terowongan dan juga untuk pemetaan lubang bawah tanah, artinya kedua sistem tersebut adalah metode empirik untuk mengetahui rekomendasi penyanggaan (*rock support*) pada suatu lubang bukaan atau terowongan. Pembangunan terowongan Batu lubang dilakukan sekitar tahun 1930 - 1942 (sibagariang, J., 2014) hasil program kerja paksa oleh kolonial hindia belanda, pembangunan memakan waktu 12 tahun. Terowongan ini merupakan penghubung antara kota Sibolga dan Tarutung, terowongan ini sudah berumur kurang lebih dari 80 tahun dan aktif digunakan hingga saat ini tanpa ada penguatan (*reinforcement / supported*) oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui kualitas massa batuan penyusun terowongan batu lubang, serta melakukan kajian teknis *rock mass rating* dan *sistem Q* untuk mengklasifikasikan massa batuan serta memperoleh nilai kekuatan dari terowongan batu lubang setelah diketahui kekuatan batuan penyusun terowongan maka akan didapatkan nilai faktor keamanan menggunakan perangkat lunak, serta mengetahui arah umum bidang diskontinuitas terowongan.

1.1. Maksud

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kelas massa batuan penyusun terowongan batu lubang desa simaninggir kabupaten Tapanuli Tengah Sumatera utara, dengan menggunakan sistem *Rock Mass Rating*, Sistem Q.

1.2. Tujuan

Dari latar belakang dan maksud penelitian, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai Rock Mass Rating,
2. Mengetahui nilai Sistem Q
3. Mengetahui nilai faktor keamanan

2. Dasar Teori

2.1. Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan adalah sistem yang digunakan untuk berbagai kegiatan design teknis dan analisa stabilitas. Didasarkan atas hasil pengamatan empiris dan parameter massa batuan dan menghasilkan aplikasi untuk keteknikan seperti, terowongan, lereng, fondasi, dan area bukaan tambang bawah tanah. Sistem yang sering digunakan

dalam klasifikasi massa batuan adalah Rock Mass Rating (RMR) dan sistem Q.

2.2. RMR (*Rock Mass Rating*)

Bieniawski (1973) mempublikasikan suatu metode klasifikasi massa batuan yang dikenal dengan *Geomechanics Classification* atau *Rock Mass Rating* (RMR). Klasifikasi geomekanik sistem RMR adalah suatu metode empiris untuk menentukan pembobotan dari suatu massa batuan, yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan massa batuan sebagai salah satu cara untuk menentukan kemiringan lereng maksimum yang bisa diaplikasikan dalam hal pembuatan terowongan. Klasifikasi ini mengalami banyak perbaikan hingga pada 1989 Bieniawski mempublikasikan kembali *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989). Klasifikasi ini didasarkan pada enam parameter, antara lain sebagai berikut :

- a) Kekuatan batuan utuh (*Rock strength*)
- b) *Rock Quality Designation* (RQD)
- c). Jarak diskontinuitas (*spacing of discontinuities*)
- d) Kondisi diskontinuitas (*condition of discontinuities*)
- e) Kondisi air tanah (*groundwater condition*)
- f) Orientasi diskontinuitas (*orientation of discontinuities*).

2.3. Q System

Sistem Q untuk klasifikasi massa batuan dikembangkan oleh Barton, Lien, dan Lunde. Sistem ini menyatakan kualitas dari massa batuan yang disebut nilai Q, yang digunakan sebagai dasar rekomendasi desain dan support untuk pembukaan bawah tanah. Nilai Q diperoleh dari:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

RQD = *Rock Quality Designation*

J_n = *Joint set number*

J_r = *Joint roughness number*

J_a = *Joint alteration number*

J_w = *Joint water parameter*

SRF = *Stress Reduction Factor*

3. Metode Pelaksanaan

Sebelum melakukan penelitian pada Terowongan Batu Lubang I peneliti harus melakukan observasi lapangan dalam menentukan hasil pengamatan dan penelitian serta menerapkan teori yang sudah dibaca pada Studi Literatur agar memudahkan proses penelitian.

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dibagi atas 2 data yaitu :

- a. Data primer yaitu data yang dikumpulkan secara langsung di lapangan, seperti
 - Geometri Terowongan
 - Nilai pembobotan kualitas massa batuan (*Rock Mass Rating*, *Geological Strength Index*, dan *Q-System*)
 - Data bidang diskontinuitas (*strike/dip* dan jarak antara bidang diskontinuitas)
- b. Data sekunder yaitu data yang dikumpulkan berdasarkan literatur dan berbagai referensi serta hasil dari pengujian :
 - Sifat fisik dan mekanik batuan
 - Peta geologi
 - Peta topografi
 - Peta kesampaian daerah

3.2. Kajian Kestabilan Terowongan

Pada tahap ini dilakukan kajian kestabilan terowongan secara empirik dan numerik. Secara empirik merupakan hasil dari pengamatan dengan bantuan klasifikasi kualitas massa batuan seperti RMR, GSI, dan *Q-System* untuk menentukan kualitas massa batuan serta rekomendasi penyanggaan pada terowongan. Secara numerik dilakukan dengan metode FEM (*Finite Element Method*) melalui *software*.

3.3. Mengkorelasi Rekomendasi Kestabilan Terowongan

Setelah melakukan kajian kestabilan terowongan baik itu secara empirik dan numerik kemudian dilakukan korelasi antara kedua metode tersebut untuk menjelaskan bagaimana kondisi kestabilan terowongan secara menyeluruh.

Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik penyelesaian permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan. Dalam metode numerik ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang banyak dan proses berulang. Sehingga dalam prakteknya perlu bantuan komputer untuk menyelesaikan hitungan tersebut. Tanpa Bantuan komputer, metode numerik tidak banyak memberikan manfaat.

Metode numerik merupakan alat yang sangat ampuh untuk menyelesaikan permasalahan dalam berbagai bidang. Metode numerik mampu menyelesaikan suatu sistem persamaan yang besar, persamaan yang tidak linier dan persamaan yang kompleks yang tidak mungkin diselesaikan secara analitis. Metode numerik bisa digunakan dalam berbagai bidang teknik, kedokteran, sosial, ekonomi dan bidang ilmu lainnya. Berbagai masalah yang ada dalam berbagai disiplin ilmu dapat digambarkan dalam bentuk matematik dari berbagai fenomena yang berpengaruh.

Dalam penerapan metode numerik untuk terowongan data yang digunakan adalah setiap nilai pembobotan dari 6 faktor dari sistem Q dan RMR.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Geometri Terowongan

Batuan penyusun terowongan I Batu Lubang di Desa Simaninggir secara *megaskopis* adalah Batuan Granit tersebar di daerah penelitian, Batuan ini memperlihatkan warna hitam dan abu - abu memiliki tekstur porfiri. Geologi daerah penelitian terdiri dari batuan batolit yang disebut sebagai Komplek Granit Sibolga dan memiliki beberapa fase intrusif dari permian hingga Trias (Aspen, dkk., 1982).

Seperti batuan beku lainnya, komposisi kimia batuan granitoid dipengaruhi oleh komposisi kimia magma asal, tekanan, temperatur, derajat pelelehan, serta proses alamiah dan proses lanjutan yaitu asimilasi dan difrensiasi (Silitonga., 2018). Tekanan yang besar dapat mengangkat, menekan batuan yang membeku dibawah permukaan dalam proses tersebut dapat menghasilkan bidang diskontinuitas, seperti patahan, kekar, dan lipatan (S.K.Haldar.,2014) permukaan batuan yang terangkat mengalami pelapukan oleh cuaca, dan bidang diskontinuitas yang salah satunya adalah kekar (*Joint*) dapat diisi berbagai macam material (Amin., Kassim.,2000).

Terowongan I Batu Lubang Desa Simaninggir memiliki geometri sebagai berikut:

- Panjang : 21, 60 meter
- Lebar : 4,30 meter
- Tinggi : 5,12 meter
- Tunnel axis : N 29° E
- *Overburden* : 9,24 meter



Gambar 4.1 Geometri Terowongan

Pengukuran bidang diskontinuitas pada terowongan I Batu Lubang meliputi bagian kekar yang dominan

pada dinding samping terowongan Batu lubang I berikut jumlah data kekar pada terowongan.

Tabel 4.1 data strike and dip

No	Strike (N°E)	Dip(°)
1	69	60
2	240	55
3	66	52
4	138	60
5	145	63
6	229	54
7	290	30
8	312	48
9	116	22
10	109	50
11	136	52
12	304	65
13	286	56
14	218	64
15	38	49
16	241	57
17	85	40
18	110	31
19	112	55
20	54	66
21	69	66
22	250	76
23	11	30
24	318	90
25	330	69
26	321	89
27	324	90
28	258	64
29	162	84
30	159	85

standard SNI 2825:2005, nilai yang diperoleh dari pengujian ini adalah nilai kuat tekan (σ_c), modulus young (E), *poisson ratio* (ν).

Tabel 4.2 Prepasi sampel

Hari /Tanggal	Kamis / 2 Juni 2022
No.contoh	UCS 1
Diameter	44.0 mm
Area	1519,76 mm ²
Height	94,0 mm
H/D	2,13
Hari /Tanggal	: Kamis / 2 Juni 2022
No.contoh	: UCS 2
Diameter	: 44,0 mm
Area	: 1519,76 mm ²
Height	: 92,0 mm
H/D	: 2,09



Gambar 4.2 Sampel Batuan

Dalam klasifikasi *Rock Mass Rating* ada 6 parameter yang menjadi acuan dalam metode ini yang diantaranya adalah:

- A. *Uniaxial compressive strength of rock material (UCS)*,
- B. *Rock Quality Designation (RQD)*,
- C. *Spacing of discontinuities*,
- D. *Condition of discontinuities*,
- E. *Groundwater conditions*,
- F. *Orientation of discontinuities*

A. Pengujian *Uniaxial Compressive Strength Of Rock Material (UCS)*

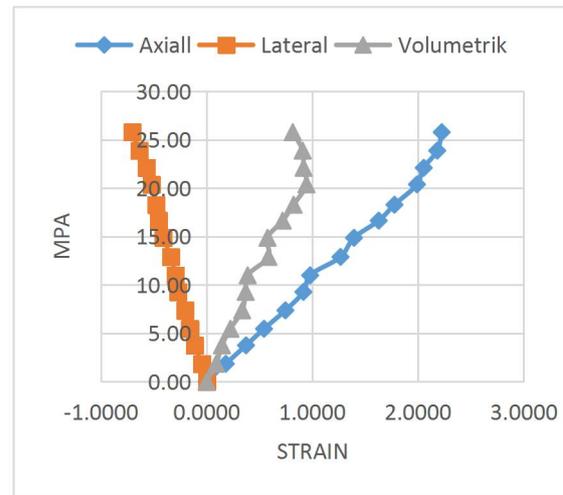
Dalam proses untuk mendapatkan hasil nilai UCS yang menjadi salah satu parameter RMR maka pengujian dilakukan dilaboratorium beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara berdasarkan



Gambar 4.3 Alat Uji UCS

Tabel 4.3 Hasil Uji Ucs

No	Axial Force F(kN)	Axial Stress (MPa)	Axial Strain (mm)	Lateral Strain (mm)	ε Axial (%)	ε Lateral (%)	ε Volumetrik (%)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
2	2.80	1.84	0.17	-0.02	0.1809	-	0.0899
3	5.70	3.75	0.35	-0.05	0.3723	-	0.1451
4	8.30	5.46	0.51	-0.07	0.5426	-	0.2244
5	11.20	7.37	0.70	-0.09	0.7447	-	0.3356
6	14.10	9.28	0.86	-0.12	0.9149	-	0.3694
7	16.70	10.99	0.92	-0.13	0.9787	-	0.3878
8	19.60	12.90	1.19	-0.15	1.2660	-	0.5841
9	22.60	14.87	1.31	-0.18	1.3936	-	0.5754
10	25.30	16.65	1.53	-0.20	1.6277	-	0.7186
11	27.80	18.29	1.67	-0.21	1.7766	-	0.8221
12	31.00	20.40	1.87	-0.23	1.9894	-	0.9439
13	33.60	22.11	1.93	-0.25	2.0532	-	0.9168
14	36.30	23.89	2.05	-0.28	2.1809	-	0.9081
15	39.20	25.79	2.09	-0.31	2.2234	-	0.8143



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan

Untuk nilai kuat tekan uniaksial yang digunakan pada penelitian ini adalah rata – rata dari kedua hasil uji kedua tekan uniaksial, nilai rata – rata uji uniaksial sebesar 32,20 MPa.

Nilai modulus elastisitas pada penelitian didapat dengan nilai rata – rata dari kedua sampel pengujian adalah sebesar 14044,5 MPa

Nilai poisson ratio yang didapatkan dari pengujian ini adalah sebesar 0,2065

Perhitungan nilai kohesi :

$$\frac{c}{\sigma_c} = 0,062$$

$$c = 0,062 \times 32,20 \text{ MPa}$$

$$c = 1,99 \text{ MPa}$$

Nilai sudut geser dalam didapatkan secara tidak langsung dengan mengestimasi nilainya berdasarkan grafik hubungan sudut geser dalam dengan *geological strength index*. nilai Sudut Geser Dalam (ϕ) yang didapatkan adalah sebesar 44°.

Nilai *tensile strength* (σ_t) didapatkan secara tidak langsung dengan persamaan UCS = 18,656 x BTS^{0,793}. Persamaan tersebut diperoleh dari jurnal “*Correlation Between Uniaxial Compressive Strength And Brazilian Tensile Strength Using Different Rock Types*” dalam *XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering The Sustainable Future of Brazil goes through our Minas, COBRAMSEG 2016 — 19-22 October, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil*, untuk batuan beku dengan persamaan non – linear (6).

$$\text{UCS} = 18,656 \times \text{BTS}^{0,793}$$

$$32,20 \text{ MPa} = 18,656 \times \text{BTS}^{0,793}$$

$$1,72 \text{ MPa} = \text{BTS}^{0,793}$$

$$\text{BTS} = 1,98 \text{ Mpa}$$

Keterangan :

UCS: *Uniaxial Compressive Strength*, (MPa)

BTS : *Brazilian Tensile Strength*, (Mpa)

B. *Rock Quality Designation (RQD)*

Perhitungan RQD pada terowongan berdasarkan metode scanline (Priest E. Hudson, 1976), yaitu sebagai berikut :

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

Dimana, λ = Jumlah kekar per meter

Diketahui rata – rata jumlah λ dalam meter persegi = 6

$$RQD = 2,71^{-0,1 \times 6} \times 100 (0,1 \times 6 + 1)$$

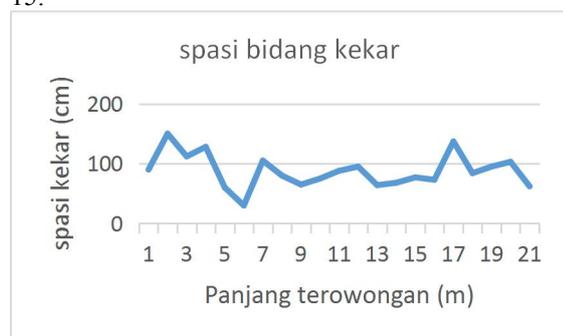
$$RQD = 0,74 \times 100 (1,6)$$

$$RQD = 74 (1,6)$$

$$RQD = 78 \%$$

C. Spasi Bidang Diskontinuitas

Perhitungan jarak rata-rata bidang diskontinuitas pada masing-masing pengamatan yang dilakukan di lapangan pada terowongan batu lubang I Sibolga memiliki jarak rata – rata adalah 87 cm dengan bobot 15.



Gambar 4.5 Grafik panjang dan spasi kekar

D. Kondisi Bidang Diskontinuitas

Kondisi diskontinuitas merujuk pada permukaan dari bidang lemah tersebut maka setelah dilakukan pengamatan di lapangan, kondisi bidang diskontinuitas pada terowongan Batu Lubang I Sibolga memiliki Permukaan Sangat kasar tak menerus dengan bobot 30.

E. Kondisi Air Tanah

Data terhadap kondisi air tanah ini adalah adanya air pada terowongan. Hal ini di perlukan karena mempengaruhi kualitas dari massa batuan. Dari analisa pada terowongan Batu Lubang I kondisi air tanah adalah menetes.

F. Orientasi Bidang Diskontinuitas

Pengaruh orientasi jurus dan kemiringan pada terowongan terowongan batu lubang I desa simaninggir adalah maju berlawanan arah dengan kemiringan 45-90° (masuk dalam kategori sedang).

Kalkulasi sistem Q

Sistem Q didasarkan pada penilaian numerik dari kualitas massa batuan menggunakan enam parameter yang berbeda antaranya:

- A. *Rock Quality Designation (RQD)*,
- B. *Number of joint sets (Jn)*,
- C. *Roughness of the most unfavorable joint or discontinuity (Jr)*,
- D. *Degree of alteration or filling along the weakest joint (Ja)*,
- E. *Water inflow (Jw)*
- F. *Stress condition (SRF)*

A. *Rock Quality Designation (RQD)*

Nilai RQD untuk terowongan batu lubang didapatkan dari pengukuran jumlah kekar per m³ (palmstrong, 2005). Jumlah kekar rata – rata pada Batu lubang I adalah 3 per m⁻³ diperoleh dari observasi langsung dilapangan, maka hasilnya adalah sebagai berikut.

$$RQD = 110 - (2.5 \cdot 13)$$

$$RQD = 78$$

nilai RQD untuk Terowongan Batu lubang I termasuk kedalam kategori “Good” dengan rentang nilai 75-90.

B. *Number of Joint Sets*

Bentuk dan ukuran dari blok massa batuan dipengaruhi oleh geometri (Barton, 1974). Kekar didalam suatu kumpulan kekar yang menunjukkan karakteristik spasi kekar. kumpulan kekar pada terowongan Batu lubang I termasuk kedalam kategori “Two Joint Sets Plus Random Joint”, kondisi terowongan yang memiliki kumpulan kekar yang saling berpotongan satu dengan yang lain dan beberapa diantaranya juga muncul pada dinding terowongan secara acak maka nilai Jn adalah 6.

C. *Joint Roughness*

Kekasaran dinding dari Terowongan Batu Lubang I termasuk kedalam kategori “Rough or irregular undulating” yang memiliki nilai Jr = 3

D. *Degree of alteration*

Mineral Alterasi yang ada pada bukaan terowongan Batu Lubang I termasuk pada kategori “a” dengan kategori “Unaltered Joint Walls, surface staining only” memiliki nilai 2.

E. *Water Inflow*

Penetapan dari Jw didasarkan pada aliran atau tekanan air yang diobservasi pada terowongan atau lubang bukaan. Untuk Terowongan Batu Lubang I terdapat banyak air yang menetes dari atap terowongan dan dinding, untuk penilaian sistem Q parameter Jw termasuk kedalam “Medium inflow, occasional outwash of joint filling (many drips / ‘rain’)” dengan nilai 0.66.

F. Stress Condition Factor

SRF didefinisikan sebagai hubungan antara tekanan dan kekuatan batuan disekitar lubang bukaan, kondisi terowongan batu lubang I berada pada kondisi batuan yang keras (Hardrock) dengan nilai σ_1 sebesar 32,20 Mpa nilai yang diperoleh dari uji UCS. nilai σ_1 terowongan batu lubang masuk dalam rentang 200-10 dengan deskripsi “Medium Stress, favorable stress condition” dengan nilai SRF 1. Enam parameter ini dikelompokkan kedalam tiga bagian untuk menghasilkan nilai massa batuan sistem Q:

$$Q = \frac{78}{6} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0.66}{1}$$

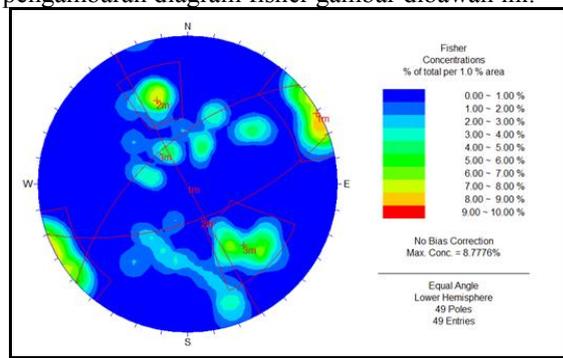
Maka nilai sistem Q pada terowongan batu lubang I adalah sebesar 12.87

Metode Numerik

Penerapan metode ini menggunakan perangkat lunak untuk analisa kestabilan terowongan dan analisis dari faktor keamanan, menggunakan *dips*, *phase2* dan *unwedge*.

Dips

Hasil pengamatan bidang diskontinuitas pada dinding terowongan Batu Lubang I di *input* kedalam perangkat lunak *dips*, maka didapatkan arah utama kekar yang berada pada N 50° E / 6°, N 258° E / 84°, dan N 124° E / 64°. Diilustrasikan dengan penggambaran diagram fisher gambar dibawah ini.



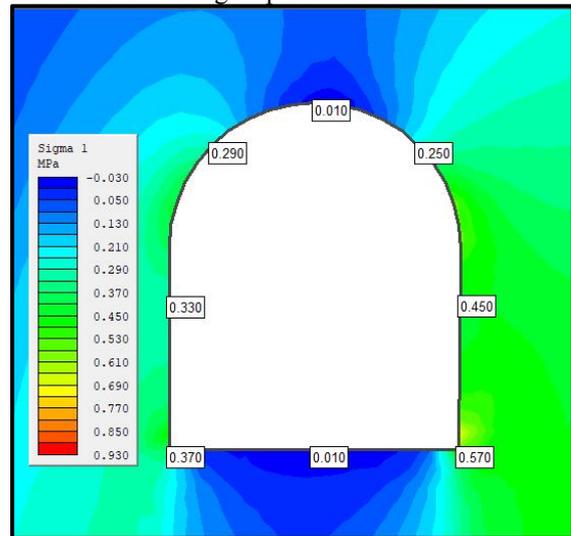
Gambar 3.6 hasil perangkat lunak dips

Phase2

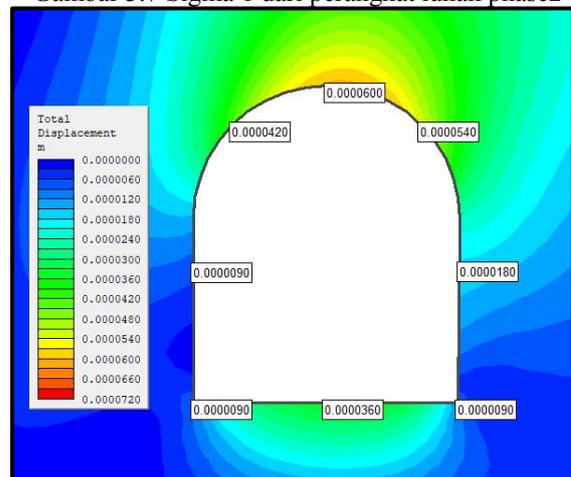
Perangkat lunak *phase2* 6.0 membutuhkan hasil dari pengujian uji kuat tekan uniaksial, metode kriteria keruntuhan, *Tensile Strength*, *Friction Angle*, Kohesi (dari diagram GSI), nilai bobot isi dan jenis batuan di tempat penelitian. Maka akan didapatkan tegangan utama, *Total displacement*, *Strength Factor*.

Nilai Sigma 1 (σ_1) maksimal yang terjadi pada bagian kanan bawah dengan nilai 0.570 Mpa (gambar 3.7). *total displacement* maksimal terjadi pada bagian atap terowongan 0.0000600 mm/hari.

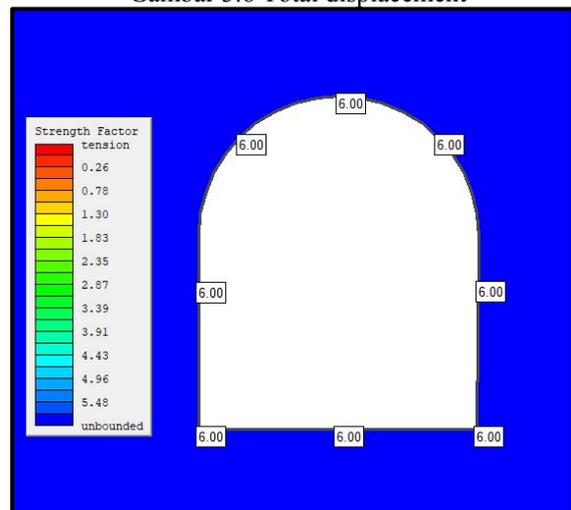
(gambar 3.8). *Strength factor* terowongan untuk keseluruhan dinding atap dan lantai adalah 6.00.



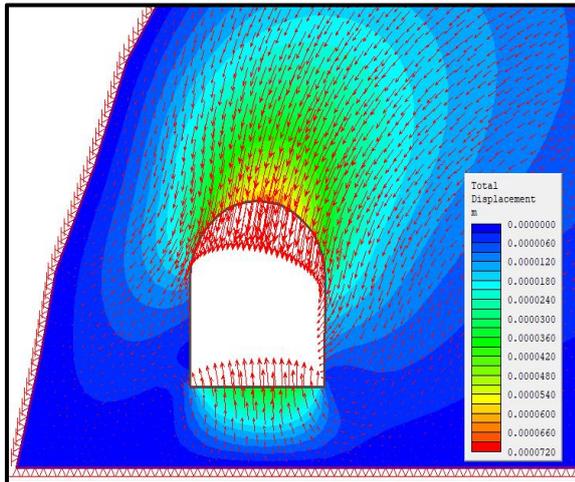
Gambar 3.7 Sigma 1 dari perangkat lunak phase2



Gambar 3.8 Total displacement



Gambar 3.9 Strength Factor

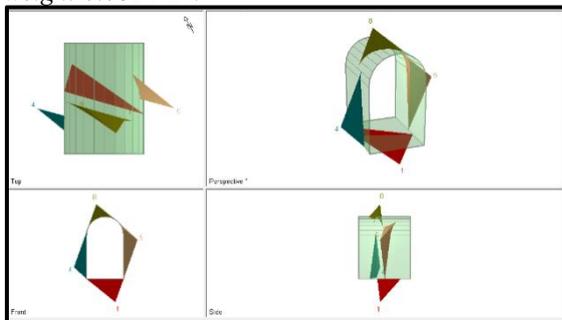


Gambar 3.10 Arah displacement Terowongan

Unwedge

Pada penggunaan *unwedge 3.0* input data yang diperlukan adalah data dari *strike* dan *dip (joint orientation)* yang diolah sebelumnya pada perangkat lunak *dips*, data arah axis terowongan, serta properti dari kekar.

Setelah dilakukan proses input maka didapatkan data potensi dari bidang lemah yang terbentuk, untuk kasus terowongan Batu Lubang I terdapat 4 bidang lemah berbentuk baji, bagian atas terowongan dengan volume 0.545 m³, Factor safety 3.0, weight 0.014 MN, bagian kanan atas dengan *factor safety* 3.4, volume 1.478 m³, *weight* 0.039 MN, pada bagian bawah sebelah kiri atas dengan *factor safety* 3.6, volume 1.032 m³, *weight* 0.027 MN, bagian lantai dengan nilai *factor safety* 2.9, volume 3.107 m³, *weight* 0.082 MN.



Gambar 3.11 Hasil Pengolahan Unwedge

Setelah dilakukan input dan proses pengolahan data maka akan diperoleh, gambaran dalam bentuk baji yang terbentuk pada terowongan, yang dimana pada contoh kasus Batu Lubang I baji terbentuk di atap, lantai, dinding kanan atas, dinding kiri bawah, dan lantai.

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan di terowongan Batu Lubang I yang berlokasi di Km 8 Jalan lintas Sibolga - Tarutung Desa Simaninggir, Kecamatan Sitahuis, Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Maka dapat diambil kesimpulan :

1. Bobot Klasifikasi *Rock Mass Rating* yang diperoleh untuk terowongan Batu Lubang I adalah 63 dengan arti massa batuan dengan kategori baik.
2. Nilai dari *system-q* (barton, 1974) sebesar 12,87. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa kualitas massa batuan masuk pada kategori kelas batuan B (*good*) dimana terowongan tidak memerlukan penyanggaan (*unsupported or spot bolting*).
3. Tekanan maksimum pada terowongan adalah sebesar 0.570 MPa terjadi pada bagian bawah kanan dinding terowongan.
4. Nilai maksimum *Total Displacement* yang diperoleh untuk terowongan Batu Lubang I sebesar 0.00006195 meter/hari terjadi di atap (*crown*).
5. *Factor Safety* (FK) yang diperoleh dari perangkat lunak *unwedge 3.0* untuk terowongan Batu lubang I, Pada bagian atap 3.0, bagian kanan 3.4, bagian kiri 3.6, dan bagian lantai 2.9.

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan pengujian geolistrik untuk mendapatkan data lapisan batuan dan aliran air.
2. Perbaikan jalan menuju terowongan dan penerangan jalan terowongan.
3. Pelebaran geometri terowongan untuk standar jalan dua arah.
4. Pembuatan saluran air pada terowongan.

Daftar Pustaka

- Atmika, I Ketut Adi., 2016. Diktat Mata Kuliah Metode Numerik., Universitas Udayana.
- Bieniawski, Z., 1988. The rock mass rating (RMR) system (geomechanics classification) in engineering practice. In Rock Classification Systems for Purposes 1988 Jan.
- Brox, Dean.2017. *Practical Guide to Rock Tunneling*. Vancouver. CRC Press
- Guskarnali, G., Oktarianty, H. and Armelia, D., 2021 Pengaruh Sifat Fisik Batuan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial pada Batu Granit di Pulau Bangka. *Jurnal Geomine*, 8(3), p.214.

- Haldar, SK. 2014. *Introduction to mineralogy and petrology*. Kolkata. Elsevier
- Hoek, E. and Brown, E.T.,1997. Practical estimates of rock mass strength. *International journal of rock mechanics and sciences*, 34(8), pp.1165-1186.
- Khan B, Jamil M, Jafri T, Akhtar K.2019.*Effect of different empirical tunnel design approaches on rock mass behavior during tunnel widening. Journal Heliyon* 5 (2019).
- Long, L.J. and Varona, P.,2013, May. Guidelines for numerical modeling of rock support for mines. In *Ground Support 2013. Proceedings of the Seventh International Symposium on Ground Support In Mining and Underground Construction*.
- Mian, S.A. and Zeeshan, M., 2018. Rock mass characterization and support assessment along power tunnels of hydropower in Kohistan Area, KPK, Pakistan. *Journal of the geological society of India*, 91(2), pp.221-226.
- Milne, D.,Hadjigeorgiou, J. and Pakalnis, R.,1998. Rock mass characterization for underground hard rock mines. *Tunneling and underground space technology*, 13(4), pp.338-391.
- Mohn Amin ., Azman Kassim.,2000. *Description and classification of filled joint in granite – an approach*. Geol. Sec. Malaysia, Bulletin 44, July 200; pp 45-54
- Palmstrong, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), pp.362-377.
- Rahman, A. and Muhyiddin, F.N., 2018. Uji Laboratorium Mekanika Batuan Menggunakan Metode Unconfined Compressive Strength (UCS) Pada Batuan Inti (Core) Batu Pasir. *Jurnal Migasian*, 2(2), pp.35-41.
- Sibagariang, J., 2014. Kerja Paksa Di Batu Lubang Pada Masa Penjajahan Belanda Di Kabupaten Tapanuli Tengah (1930-1942) (*Doctoral Dissertation UNIMED*).
- Syaeful, H. and Kamajati, D.,2015. Analisis Karakteristik Massa Batuan di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat. *EXPLORIUM*, 36(1), PP.17-3
- Taufik, M.I., Hutauruk, P., Manurung H, Nasution Z. Estimasi tipe penyanggaan untuk rancangan terowongan jalan dari Aek Nauli Ke Parapat.
- Tibri, Tengku., 2012. Buku Ajar Mekanika Batuan., Institut Teknologi Medan.
- Wong, Vincent Lai, Tam Tammy. 2018. *Joint Spacing Distribution of Granite In Hongkong*, Engineering Geology 245(2018)120-129.
- Zhenxiang, Xu.1984. *A Tunnel Design Using Field Measurement Data*. Design and performance of underground excavation ISRM/BGS, Cambridge,1984.