

## KAJIAN TEKNIS KESTABILAN TEROWONGAN BATU LUBANG II MENGUNAKAN METODE EMPIRIS DAN NUMERIK DI DESA SIMANINGGIR

Yosep Kristovel Siregar<sup>1)</sup>, Joni Fitra<sup>2)</sup> dan Rahidun Simangunsong<sup>3)</sup>

Mahasiswa Prodi Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains dan Teknologi TD. Pardede

<sup>2)</sup>Dosen Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains dan Teknologi TD. Pardede  
Jl. DR. TD. Pardede No. 8, Medan 20153, Sumatera Utara

<sup>3)</sup>Dosen Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Sains dan Teknologi TD. Pardede  
Jl. DR. TD. Pardede No. 8, Medan 20153, Sumatera Utara

<sup>1)</sup> [yosepkrst12@gmail.com](mailto:yosepkrst12@gmail.com) <sup>2)</sup> [jonifitra@istp.ac.id](mailto:jonifitra@istp.ac.id) <sup>3)</sup> [rahidunsimangunsong@istp.ac.id](mailto:rahidunsimangunsong@istp.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai Klasifikasi massa batuan Rock Mass Rating dan Sistem Q pada Terowongan Batu Lubang II Desa Simaninggir Kabupaten Tapanuli Tengah, geometri terowongan Batu Lubang II dengan panjang 24 meter, lebar 4,1 meter, tinggi 5,4 meter, tunnel axis 20<sup>0</sup> dan tinggi OB di atas terowongan 19,7 meter. Proses untuk mendapatkan nilai kedua metode tersebut menggunakan analisis empiris dan numerik, untuk analisis empiris meliputi *rock mass rating* dan *q-system*, dan analisis numerik menggunakan *software phase2*, *dips*, dan *unwedge*, dari hasil analisis tersebut maka diperoleh nilai Rock Mass Rating sebesar 73 termasuk pada kategori sangat baik, nilai sistem Q sebesar 13,15 termasuk dalam kategori "good", arah umum bidang diskontinuitas pada N 50<sup>0</sup> E / 6<sup>0</sup>, N 258<sup>0</sup> E / 84<sup>0</sup>, dan N 124<sup>0</sup> E / 64<sup>0</sup> dari hasil *software dips* longsor yang terjadi yaitu bentuk baji, tegangan utama sebesar 0,06 Mpa, Total displacement 0.0000036 ton/m<sup>3</sup>, Faktor Keamanan 0,26 sampai 5,74. Maka, faktor keamanan pada terowongan batu lubang II yang didapat yaitu aman, nilai FK > 1,3 menurut Event Hoek, dikarenakan hasil *phase2* Faktor Keamanan pada terowongan yaitu 6.

**Kata kunci :** Geometri Terowongan, RMR, *Q-System*, Faktor Keamanan.

### Abstract

*This study was conducted to determine the value of the Rock Mass Rating rock mass classification and Q System in the Batu Lubang II Tunnel of Simaninggir Village, Central Tapanuli Regency, the geometry of the Batu Lubang II tunnel with a length of 24 meters, a width of 4.1 meters, a height of 5.4 meters, a tunnel axis of 200 and an OB height above the tunnel of 19.7 meters. The process to obtain the value of the two methods uses empirical and numerical analysis, for empirical analysis includes rock mass rating and q-system, and numerical analysis using phase2, dips, and unwedge software, from the results of the analysis, a Rock Mass Rating value of 73 is obtained, including in the excellent category, the Q system value of 13.15 is included in the "good" category, general direction of discontinuity field at N 50<sup>0</sup> E / 60, N 258<sup>0</sup> E / 840, and N 124<sup>0</sup> E / 64<sup>0</sup> from the software results of the avalanche dips that occurred namely the wedge shape, the main voltage of 0.06 MPa, Total displacement 0.0000036 tons / m<sup>3</sup>, Safety Factor 0.26 to 5.74. So, the safety factor in the hole II stone tunnel obtained is safe, the*

*FK value > 1.3 according to Event Hoek, because the results of the  $\gamma$ -phase2 Safety Factor in the tunnel are 6.*

**Keywords:** Tunnel, RMR, Q-System Safety Factor.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada daerah dengan morfologi yang curam dengan banyak bidang-bidang diskontinuitas, longsoran batuan adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi. Hal ini terjadi karena adanya bidang diskontinuitas tersebut merupakan bidang lemah pada massa batuan yang membentuk terowongan.

Metode ini adalah penilaian potensi longsor batuan yang menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif didasari oleh Metode *Rock Mass Rating* dan penyesuaian arah orientasi kekar sehingga menghasilkan penilaian kestabilan terowongan yang lebih baik.

Dalam penelitian ini perumusan yang dibahas adalah bagaimana kualitas batuan dilokasi penelitian berdasarkan klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR), prediksi arah umum terowongan dan kemungkinan jenis terowongan yang terjadi di lokasi penelitian berdasarkan metode kinematik (*streografis*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas batuan, kondisi lereng dan tingkat kestabilan terowongan serta arah umum longsor dan kemungkinan jenis longsor yang terjadi pada Terowongan Batu Lubang II.

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan Metode Empiris dan Numerik. Berikut metode empiris dan numerik pada penelitian batu lubang II di sibolga :

### 2.1 Metode Empiris

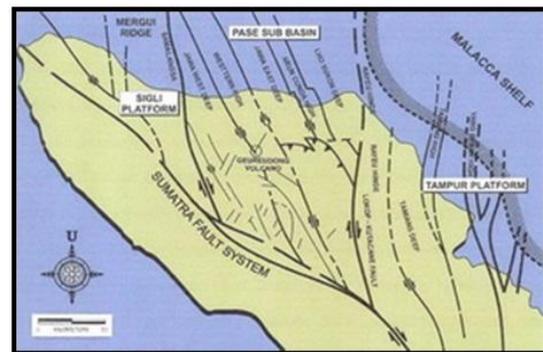
Metode Empiris adalah penelitian dengan adanya data-data lapangan sebagai sumber data utama, seperti hasil wawancara dan observasi.

Metode Empiris dalam kestabilan terowongan batu lubang yang kedua didapat struktur regional, geologi daerah, stratigrafi daerah, geometri terowongan, pengukuran bidang diskontinuitas, jarak bidang diskontinuitas, kondisi bidang diskontinuitas, kondisi air tanah, *rock mass rating*, dan system q.

#### A. Struktur Regional

Secara geologi, Cekungan Sumatera Bagian Utara dibatasi oleh Dataran Malaka pada sebelah timur, Busur Asahan pada sebelah selatan, Perbukitan Barisan pada sebelah barat dan Kepulauan Andaman di sebelah utara. (Fitriandi, 2006). Setting tektonik

pada Cekungan Sumatera Bagian Utara secara garis besar dapat dibagi menjadi dua yaitu aktivitas tektonik selama Pre-Tersier dan Tersier. (Fitriandi, 2006) Pada Pre-Tersier, aktivitas tektonik ditandai oleh munculnya vulkanisme dengan bukti keterdapatannya intrusi. Intrusi tersebut bersifat asam dengan produk batuan granodiorit dan granit. (Fitriandi, 2006).



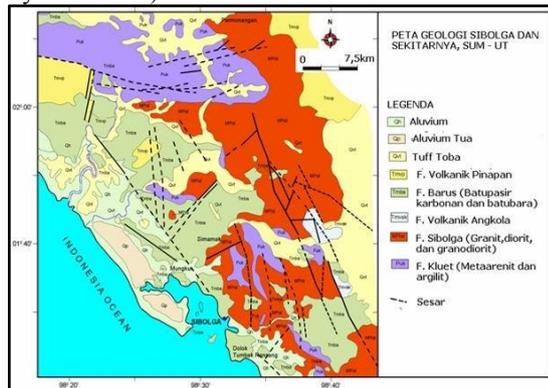
**Gambar 2.1** Geologi Regional Sumatera Utara

### B. Geologi Daerah

Sibolga merupakan cekungan antar pegunungan yang secara geologi memungkinkan terbentuknya cebakan uranium tipe sedimenter. Sumber uranium berasal dari granit yang berumur Perem. Secara stratigrafi regional daerah Sibolga dibagi menjadi delapan formasi dari tua ke muda, yaitu: Formasi Kluet (metaarenit dan argilit), Formasi Sibolga (granit, diorit, dan granodiorit) berumur Perem Akhir-Trias Awal, Formasi Gunung api Angkola, Formasi Barus (batupasir karbonan dan batubara) berumur Oligosen-Miosen Awal, Formasi Gunung api Pinapan, Tuff Toba, Aluvium Tua, dan Aluvium berumur Kuartar. Peta geologi regional terdapat pada Gambar 2.2. Hasil pengukuran geofisika diketahui permukaan granit secara umum sangat dangkal di sebelah timur dan menjadi semakin dalam di bagian tengah dan barat daya. Secara umum permukaan granit berada pada elevasi -121,01 sampai 170,72 meter dari permukaan laut.

Secara umum lokasi penelitian tersusun oleh Formasi Sibolga yang dapat dibedakan dalam enam satuan batuan, yaitu satuan granit, satuan konglomerat alas (konglomerat 1), satuan batupasir 1, satuan konglomerat 2, satuan batupasir 2, dan satuan endapan aluvial. Kondisi singkapan batuan di

lapangan. (sumber : I Gde Sukadana.2016 dan Heri Syaeful.2016).

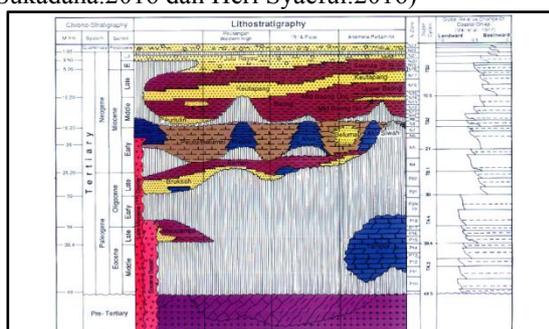


**Gambar 2.2** Peta Geologi Sibolga dan Sekitarnya

### C. Stratigrafi Daerah

Batuan sedimen di cekungan sibolga terbagi atas dua unit utama yaitu batuan Pra-Neogen dan Neogen, yang diantaranya dipisahkan oleh ketidakselarasan bersudut. Sedimen Neogen tersusun atas batuan sedimen klastik dan karbonat, yang terbagi lagi menjadi 4 sekuen pengendapan yakni Pra-Neogen, Miosen Awal - Miosen Tengah, Miosen Akhir - Pliosen dan Pleistosen - Resen. Pembagian sekuen pengendapan tersebut diidentifikasi berdasarkan karakter seismik (Sumber : Beaudry dan Moore, 1985).

Secara stratigrafi regional daerah Sibolga dibagi menjadi delapan formasi dari tua ke muda, yaitu: Formasi Kluet (metaarenit dan argilit), Formasi Sibolga (granit, diorit, dan granodiorit) berumur Perem Akhir–Trias Awal, Formasi Gunung api Angkola, Formasi Barus (batupasir karbonan dan batubara) berumur Oligosen–Miosen Awal, Formasi Gunung api Pinapan, Tuff Toba, Aluvium Tua, dan Aluvium berumur Kuartar. (Sumber : I Gde Sukadana.2016 dan Heri Syaeful.2016)



**Gambar 2.3** Stratigrafi Regional Sumatera Utara

### D. Geometri Terowongan

Terowongan II batu lubang Desa Simaninggir memiliki geometri sebagai berikut:

- Panjang : 24 meter

- Lebar : 4,10 meter
- Tinggi : 5,4 meter

Sedangkan untuk tinggi *overburden* Terowongan II batu lubang adalah : 19,7 meter (tinggi diukur dari atas atap terowongan ke titik tertinggi *overburden*)

### E. Pengukuran Bidang Diskontinuitas

Jurus/kemiringan bidang diskontinuitas diperoleh dari kegiatan pengukuran yang dilakukan langsung didaerah penelitian. Data yang diambil dari terowongan yang di bagi menjadi 24 blok, tiap-tiap blok memiliki luas 1 m<sup>2</sup> yang bertujuan untuk mengetahui nilai RQD (Rock Quality Design) (Gambar 4.3). Dikarenakan pada penelitian ini tidak melakukan coring sehingga perhitungan RQD dilakukan secara tidak langsung dengan aturan Palmsrong (1982). Data jurus/kemiringan bidang diskontinuitas dapat dilihat pada Tabel 4.1 untuk keseluruhan panjang terowongan yaitu 24 meter.

### F. Jarak Bidang Diskontinuitas

Perhitungan jarak rata-rata bidang diskontinuitas pada masing-masing pengamatan yang dilakukan di lapangan pada terowongan ke 2 batu lubang Sibolga memiliki jarak rata – rata adalah 75 cm.

### G. Kondisi Bidang Diskontinuitas

Kondisi diskontinuitas dapat dibagi atas : kekasaran, regangan, bukaan dan pelapukan batu sampung. Separasi diskontinuitas pada pada terowongan 2 batu lubang Sibolga memiliki renggangan rata – rata 0.75 mm.

### H. Kondisi Air Tanah

Data terhadap kondisi air tanah ini adalah adanya air yang mengalir pada bidang kekar. Hal ini di perlukan karena mempengaruhi kualitas dari massa batuan. Dari analisa pada terowongan 2 batu lubang kondisi air tanah adalah menetes.

### I. 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).

Parameter		Jangkauan Nilai					
1	Kekuatan Batuan Utuh	Indeks Point Load	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Tidak menggunakan point load
	Bobot	Uniaxial Compressive	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa 1-5 MPa <1 MPa
2	Rock Quality Designation		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %
	Bobot		20	17	13	8	3
3	Spasi Diskontinuitas/kekar		>2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m
	Bobot		20	15	10	8	0
4	Kondisi Bidang Diskontinuitas		Sangat kasar dindin g segar tidak menerus rapat	Kasar terbuka <1 mm dindin g sedikit lapuk	Sedikit kasar terbuka <1 mm dindin g sangat lapuk	Terisi tebal <5 mm terbuka 1-5 mm menerus	Terisi material lunak >5 mm Terbuka >5 mm menerus
	Bobot		30	25	20	10	0
5	Kondisi air tanah	Aliran per 10 m Panjang terowongan	0	<10	25-10	25-125	>125
		Tekanan air	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Kondisi umum		Kering	Lembab	Berair	Basah	Mengalir
	Bobot		15	10	7	4	0

**Support categories**

- ① Unsupported or spot bolting
- ② Spot bolting, **SB**
- ③ Systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete, 5-6 cm, **B-Str**
- ④ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 4-9 cm, **Str (E500)-B**
- ⑤ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 9-12 cm, **Str (E700)-B**
- ⑥ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 12-15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Str (E700)-RRS I-B**
- ⑦ Fibre reinforced sprayed concrete >15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Str (E1000)-RRS II-B**
- ⑧ Cast concrete lining, **CCA or Str (E1000)-RRS III-B**
- ⑨ Special evaluation

RRS = spacing related to Q-value

- I S30/6 Ø16 - Ø20 (span 10m)
- II S35/6 Ø16-20 (span 5m)
- III D45/6+2 Ø16-20 (span 10m)
- D55/6+4 Ø20 (span 20m)
- D40/6+4 Ø16-20 (span 5m)
- D55/6+4 Ø20 (span 10m)

Special evaluation (span 20 m)

S30/6 = Single layer of 6 rebars, 30 cm thickness of sprayed concrete

D = Double layer of rebars

Ø16 = Rebar diameter is 16 mm

c/c = RRS spacing, centre - centre

Bois spacing is mainly based on Ø20 mm

E = Energy absorption in fibre reinforced sprayed concrete

ESR = Excavation Support Ratio

Areas with dashed lines have no empirical data

Gambar 2.4 Klasifikasi System Q

2.2 Metode Numerik

Metode numerik adalah Teknik penyelesaian permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan. Metode numerik ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang banyak dan prosesnya berulang, sehingga dalam prakteknya perlu bantuan *software* untuk menyelesaikan hitungan tersebut tanpa bantuan *software* metode numerik tidak memberikan manfaat. Dalam Analisa kestabilan terowongan metode numerik mendukung variasi dari nilai setiap parameter masukan dalam rancangan terowongan sehingga metode ini sangat sering digunakan.

Metode numerik dibagi menjadi 3 kategori utama : *continuum approach*, *diskontinuum approach*, dan *hybrid method*. Dalam Analisa kestabilan terowongan batu lubang II kategori *continuum approach* yang digunakan dimana *continuum approach* mengasumsikan massa batuan mengalami deformasi secara kontinu akibat tegangan, yang mana massa batuan yang berdekatan berada dalam zona terganggu mengalami proses deformasi yang sama. Metode numerik yang tergabung dalam pendekatan kontiniu adalah *finite element method*, melalui *software Unwedge* dan *Phase 2*.

A. Dips

*Software Dips* merupakan software dalam geologi yang dapat digunakan untuk analisis struktur geologi meliputi struktur kekar, sesar dan lipatan.

*Software dips* juga suatu program rancangan untuk menganalisa orientasi secara interaktif dengan mendasarkan data yang berhubungan dengan data-data geologi. Program ini adalah suatu alat bantu yang mampu diterapkan pada banyak aplikasi yang berbeda dan dirancang untuk dapat digunakan baik bagi pemula, maupun bagi pengguna yang mengharapkan analisis proyeksi stereografik untuk data-data geologi.

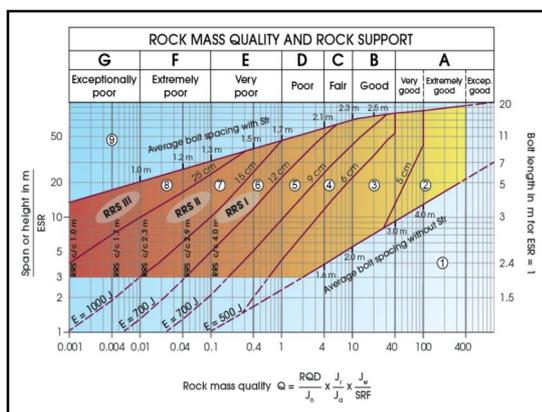
J. System Q

Klasifikasi Q-System dikembangkan oleh Barton 1974 di *Norwegian Geotechnical Institute* (NGI) Norwegia. Sistem Q adalah penilaian numerik pada kualitas massa batuan menggunakan 6 parameter yang berbeda:

1. *Rock quality designation* (RQD)
2. Jumlah pasang kekar (*Number of joint sets*) (Jn)
3. Tingkat kekerasan kekar (*Joint Roughness Number*) (Jr)
4. Alterasi kekar (*Joint Alteration Number*) (Ja)
5. Aliran Air Tanah (*Joint Water Reduction number*) (Jw)
6. *Stress Reduction Factor* (SRF)

Untuk mencari nilai dari *Q-System* setiap 1 meter yaitu :

$$\text{Rock Mass Quality} = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$



*Dips* memungkinkan pemakai untuk meneliti dan memvisualisasikan data struktural geologi baik kekar, sesar perlipisan serta struktur-struktur lainnya dengan mengikuti Teknik yang sama digunakan di dalam stereonet manual. Sebagai tambahan, banyak fitur-fitur komputasi yang tersedia, seperti statistik sekeliling orientasi yang sama (*statistical contouring of orientation clustering*), perhitungan orientasi umum secara kuantitatif (*mean orientation calculation*) dan model-model fitur kualitatif dalam Analisa (*quantitative feature attribute analysis*).

*Dips* telah dirancang untuk Analisa data yang berhubungan dengan Analisa rancangan struktur batuan, sehingga format yang dipakai *Dips* data file memungkinkan menganalisa segala bentuk orientasi basis data. Penggunaan *Software Dips* antara lain untuk geologi, tambang dan Teknik sipil. pengenalan *Software Dips* untuk penentuan arah umum diskontinuitas pada struktur-struktur geologi, dan penentuan jenis longsoran yang terbentuk dengan data sudut geser dalamnya.

### B. Phase 2

*Phase2* adalah bagian dari *Rocscience* yang menggunakan analisis 2D elastoplastik dengan analisis tegangan elemen hingga untuk penggalian bawah tanah atau permukaan batuan maupun tanah. Hal ini dapat digunakan untuk berbagai proyek rekayasa dan termasuk support design, stabilitas lereng elemen hingga, rembesan air tanah dan analisis probabilistik. Program *Phase2* ini dapat menyajikan hasil output berupa tabel dan grafik berdasarkan hasil analisis input Berikut adalah diagram alir analisis desain terowongan menggunakan *Phase2*.

### C. Unwedge

Analisis penggalian terowongan bawah tanah dengan diskontinuitas berpotongan dan visualisasikan model dalam 3D. Tentukan stabilitas irisan tetrahedral yang terbentuk di sepanjang perimeter dan ujung terowongan, dan hitung kebutuhan dukungan masing-masing untuk mencapai faktor keamanan desain. Membuat model baji dengan cepat, memperhitungkan efek kekuatan geser, air, tegangan medan, dan tumpuan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil

Adapun hasil penelitian dari penelitian tentang terowongan batu lubang II ini antara lain :

#### 1. Geometri Terowongan

Terowongan II batu lubang Desa Simaninggir memiliki geometri sebagai berikut:

- Panjang : 24 meter
- Lebar : 4,10 meter

- Tinggi : 5,4 meter

Sedangkan untuk tinggi *overburden* Terowongan II batu lubang adalah : 19,7 meter (tinggi diukur dari atas atap terowongan ke titik tertinggi *overburden*)

#### 1. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

##### • Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas yang didapatkan 16.489,8 Mpa

##### • Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* yang didapatkan 0,274

##### • Kohesi

Nilai kohesi yang diperoleh sebesar 2,509 MPa.

##### • Sudut Geser Dalam

Nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) didapatkan secara tidak langsung dengan bantuan kurva hubungan antara sudut geser dalam dengan *Geological Strength Index* (GSI). Diperoleh nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) sebesar  $47^{\circ}$ .

##### • Tensile Strength

Nilai *tensile strength* ( $\sigma_t$ ) didapatkan secara tidak langsung dengan persamaan UCS =  $18,656 \times \text{BTS}^{0.793}$ . Jadi, nilai *tensile strength* ( $\sigma_t$ ) yang didapatkan dari persamaan tersebut adalah 2,51 MPa.

##### • Field Stress

*Field stress* merupakan tegangan in situ yang bekerja pada terowongan. Tipe *field stress* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *gravity*, dimana data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- Elevasi

Terowongan Batu Lubang II berada di ketinggian Elevasi 303 meter diatas permukaan laut.

- Bobot Isi

Data bobot isi dapat dilihat pada **Tabel 4.13**, data bobot isi yang digunakan pada penelitian ini adalah bobot isi batuan dengan kondisi jenuh, yaitu 25,49 kN/m<sup>3</sup>.

- *Total Stress Ratio* (k)

*Total stress ratio* yang dimaksud adalah perbandingan antara *stress horizontal* dengan *stress vertical* yang dinotasikan dengan k.

$$k = \frac{v}{(1 - v)}$$

$$k = \frac{0,274}{(1 - 0,274)}$$

$$k = 0,337$$

### B. Pembahasan

Adapun pembahasan dari penelitian tentang terowongan batu lubang II ini antara lain :

#### 1. Rock Mass Rating

Setelah dilakukannya pengamatan secara langsung pada terowongan Batu Lubang II didapatkan hasil pembobotan *Rock Mass Rating* (RMR) menurut Bieniawski 1989 adalah sebesar 73, termasuk dalam

kelas II (baik) dengan nilai kohesi sebesar 300 – 400 kPa dan sudut geser dalam  $35^{\circ} - 45^{\circ}$ .

Untuk nilai kohesi yang didapatkan melalui kurva hubungan antara kohesi dengan *Geological Strenth Index* adalah sebesar 2,05 MPa, nilai ini tidak masuk dalam *range* nilai arti kelas massa batuan menurut RMR. Sedangkan untuk nilai sudut geser dalam yang didapatkan dari kurva hubungan antara sudut geser dalam dengan GSI masuk dalam *range* RMR yaitu  $47^{\circ}$ .

**2. System Q**

Menurut klasifikasi *Q-System* terowongan Batu Lubang II memiliki bobot sebesar 13,15 yang masuk pada kelas massa batuan B (*good*). Artinya terowongan Batu Lubang II berada pada kelas massa batuan yang baik dan tidak memerlukan penyanggan.

**3. Bentuk Runtuhan**

Hasil pengukuran bidang diskontinuitas yang berupa arah dari bidang diskontinuitas memberikan gambaran mengenai kemungkinan terjadinya runtuh dan bentuk runtuh pada terowongan. Runtuhan yang terjadi pada terowongan Batu Lubang II dapat disimulasikan dengan bantuan *software Unwedge*. Hasil yang didapatkan dari *Unwedge* berupa model 3D dari bentuk runtuh yang terjadi pada terowongan (**Gambar 2.4**) serta informasi mengenai runtuh tersebut (**Tabel 3.1**). Bentuk runtuh yang terdapat pada terowongan Sibaganding adalah runtuh baji dengan jumlah 4 baji yang berada di lantai, atap sebelah kiri, atap sebelah kanan, dan dinding sebelah kanan.

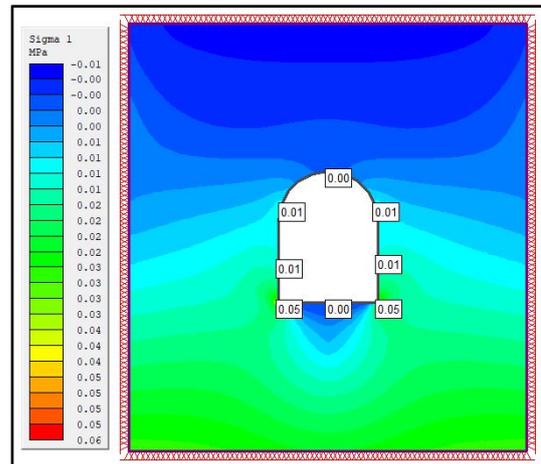
**Tabel 3.1** Nilai System Q

No	Jumlah Kekar	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	ESR	Q-System
1	5	96	3	3	6	0.66	2.5	1.3	30,77
2	5	96	2	3	6	1.00	1.0	1.3	18,46
3	2	96	2	3	6	0.33	1.0	1.3	18,46
4	3	96	4	3	6	0.33	1.0	1.3	9,23
5	1	96	2	3	6	0.33	1.0	1.3	18,46
6	5	96	2	3	6	0.33	1.0	1.3	18,46
7	1	96	3	3	6	0.33	2.5	1.3	30,77
8	3	96	2	3	6	0.33	1.0	1.3	18,46
9	3	96	4	3	6	1.00	2.5	1.3	23,08
10	2	96	2	3	6	1.00	2.5	1.3	46,15
11	6	96	9	3	6	1.00	0.5	1.3	2,05
12	3	96	6	3	6	0.66	0.5	1.3	3,08
13	5	96	6	3	6	0.66	0.5	1.3	3,08
14	4	96	4	3	6	0.33	1.0	1.3	9,23
15	2	96	4	3	6	0.33	1.0	1.3	9,23
16	3	96	4	3	6	0.5	2.5	1.3	23,08
17	2	96	2	3	6	0.66	1.0	1.3	18,46
18	3	96	2	3	0.75	0.66	2.5	1.3	3,69
19	2	96	4	3	0.75	1.00	2.5	1.3	1,85
20	5	96	3	3	0.75	1.00	2.5	1.3	2,46
21	2	96	2	3	0.75	1.00	2.5	1.3	3,69
22	4	96	4	3	0.75	1.00	2.5	1.3	1,85
23	5	96	3	3	0.75	1.00	1.0	1.3	0,98
24	3	96	6	3	0.75	1.00	1.0	1.3	0,49
<b>Rata-Rata Q-System</b>									<b>13,15</b>

**4. Sigma 1**

Dari **Gambar 3.1** menunjukkan bahwa nilai sigma 1 yang bekerja pada terowongan Batu Lubang II berkisar antara -0,01 – 0,06 MPa. Nilai sigma 1 berdasarkan letak gaya yang bekerja pada terowongan dapat diketahui sebagai berikut :

Roof : 0 MPa, Right Curve : 0,01 MPa, Left Curve : 0,01 MPa, Right Wall : 0,01 MPa, Leftwall : 0,01 MPa Right Corner : 0,05 MPa, Left Corner : 0,05 MPa, Floor : 0,00 MPa

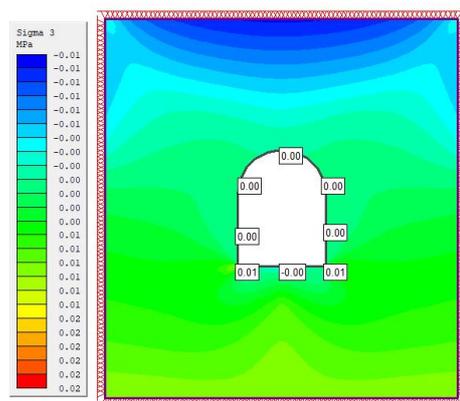


**Gambar 3.1** Sigma 1 Pada Terowongan Batu Lubang II

**5. Sigma 3**

Dari **Gambar 3.2** menunjukkan bahwa nilai Sigma 3 pada terowongan Batu Lubang II berkisar antara -0,01 – 0,02 MPa. Berdasarkan letaknya nilai *displacement* pada terowongan dapat diketahui sebagai berikut :

Roof : 0 MPa, Right Curve : 0 MPa, Left Curve : 0 MPa, Right Wall : 0 MPa, Leftwall : 0 MPa, Right Corner : 0,01 MPa, Left Corner : 0,01 MPa, Floor : -0 MPa.



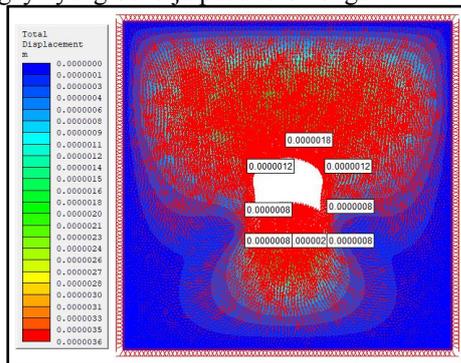
**Gambar 3.2** Sigma 3 pada Terowongan Batu Lubang II

### 6. Total Displacement

Dari **Gambar 3.3** menunjukkan bahwa nilai *displacement* pada terowongan Batu Lubang II berkisar antara 0,0000000 – 0,0000036 m. Berdasarkan letaknya nilai *displacement* pada terowongan dapat diketahui sebagai berikut :

*Roof* : 0,0000018 m, *Right Curve* : 0,0000012 m, *Left Curve* : 0,0000012 m, *Right Wall* : 0,0000008 m, *Leftwall* : 0,0000008 m, *Right Corner* : 0,0000008 m, *Left Corner* : 0,0000008 m, *Floor* : 0,0000002 m.

Nilai *displacement* terbesar pada terowongan Batu Lubang II berada pada *floor* (lantai) terowongan dengan nilai 0,0000002 m, namun jika dilihat dari gaya yang bekerja pada lantai terowongan nilainya adalah 0 MPa. Hal ini dapat disebabkan oleh arah dari gaya yang bekerja pada terowongan.



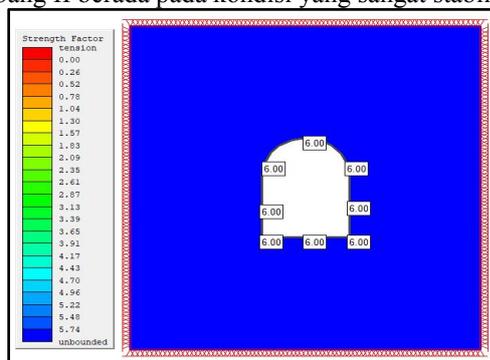
**Gambar 3.3** Arah Gaya pada Terowongan Batu Lubang II

### 7. Faktor Keamanan

Dari **Gambar 3.4** menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan pada terowongan Batu Lubang II berkisar antara 0,26 – 6,00. Berdasarkan letaknya nilai faktor keamanan pada terowongan dapat diketahui sebagai berikut :

*Roof* : 6,0, *Right Curve* : 6,0, *Left Curve* : 6,0, *Right Wall* : 6,0, *Leftwall* : 6,0, *Right Corner* : 6,0, *Left Corner* : 6,0, *Floor* : 6,0

Berdasarkan *software Phase 2* terowongan Batu Lubang II berada pada kondisi yang sangat stabil.



**Gambar 4.17** Faktor Keamanan pada Terowongan Batu Lubang II

### IV. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan, penelitian yang dilakukan penulis terhadap kestabilan terowongan batu lubang II di Desa Simaninggir, Kecamatan Sitahuis, Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Setelah melakukan perhitungan secara langsung dilapangan maka nilai RMR yang didapatkan dari pembobotan menurut Bieniawski, 1989 adalah 73.
2. Setelah menyelesaikan pengolahan data didapatkan nilai dari *q-system* 13,15. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa kualitas massa batuan masuk pada kategori kelas batuan B (good) dimana terowongan tidak memerlukan penyanggaan.
3. Arah umum bidang diskontinuitas berada pada N 50° E / 6°, N 258° E / 84°, dan N 124° E / 64°. Bentuk runtuh atau longsor yang terjadi pada terowongan batu lubang II adalah Longsor Baji.
4. *Total Displacement* kondisi terowongan masih dalam keadaan aman ditunjukkan dari nilai *total displacement* yaitu 0,00 meter sampai 0,0000036 meter. Dimana nilai maksimum *total displacement* yaitu 0,0000036 meter.
5. Kondisi terowongan masih dalam keadaan aman ditunjukkan dari nilai *Strength Factor* 0,26 sampai 6,0. Dengan batas *failure* untuk *strength factor* = 1.
6. Kondisi terowongan masih dalam keadaan aman ditunjukkan dari nilai faktor keamanan 0,26 sampai 6,0. Dengan batas *failure* untuk faktor keamanan (FK) = 1 atau FK > 1,3 menurut *Event Hoek*.

### V. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, data kekar yang ada di dinding dan atap terowongan diperbanyak untuk mendapatkan arah umum bidang diskontinuitas yang lebih baik,
2. Untuk penelitian selanjutnya, data debit air terjun yang mengalir diatas terowongan di lakukan pengambilan data,
3. Memperbaiki jalan pada area terowongan agar lebih aman untuk pengendara umum,
4. Pembuatan lampu penerangan di dalam terowongan,
5. Pelebaran terowongan untuk mempermudah truck besar bermuatan banyak dan berat dapat melalui terowongan, dikarenakan jalan yang dari poriaha sangat menanjak sehingga kendaraan yang bermuatan banyak dan berat sulit melintas dari jalan pemotongan poriaha tersebut.
6. Untuk peneliti selanjutnya melakukan kegiatan geolistrik pada area 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.*
- 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.*
- 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.
- 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.
- Hoek, E., Marinos, P., & Benissi, M., 1998, *Applicability of The Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses., The case of the Athens Schist Formation.*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 57(2), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s100640050031>
- 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.
- 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.17-30.
- 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.