



ANALISIS KESTABILAN BATUAN PADA RENCANA PEMBANGUNAN TEROWONGAN DENGAN ELEMEN DAN (Q – SYSTEM) DI KOTA SAMARINDA

Achmad Faisal¹, Revia Oktaviani², Tommy Trides³, Windhu Nugroho⁴, Shalaho Dina Devy⁵
Universitas Mulawarman Kalimantan Timur

achmadfaisal797@gmail.com¹, revia.oktaviani@gmail.com²,tommy.trides@ft.unmul.ac.id³

windhu.n@ft.unmul.ac.id⁴, shalahodd@ft.unmul.ac.id⁵

Abstrak

Terowongan adalah lubang bukaan di bawah permukaan tanah atau gunung dan dibuat mendatar. Kajian awal sebelum dibuatnya terowongan seperti kajian geologi dan geoteknik sangatlah diperlukan, karena dapat memberikan gambaran tentang awal kondisi batuan yang ada di sekitar rencana terowongan tersebut. Klasifikasi massa batuan merupakan tumpuan dasar dalam menganalisis kualitas massa batuan dalam menginformasikan kondisi geologi daerah setempat untuk tujuan pembangunan. Salah satu Klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk terowongan adalah Q -system yang dapat memberi luaran berupa rekomendasi jenis penyangga. Dari hasil penelitian kualitas massa batuan dilokasi penelitian tergolong kualitas buruk dan sedang. Dengan rekomendasi penyangga terowongan berdasarkan Q -system adalah fibre reinforced sprayed concrete and bolting , yaitu Shotcrete dengan ketebalan 70 mm dengan spasi pemasangan Rockbolt ditambah Shotcrete 2,05 m, spasi pemasangan Rockbolt tanpa Shotcrete 1,5 m, dan panjang Rockbolt 4 m. Nilai faktor keamanan pada penampang terowongan 1,2,3,4 dan 5 termasuk kategori krisis atau tidak aman sedangkan pada penampang terowongan 6 masuk kedalam kategori stabil atau aman

Kata kunci: Terowongan, Q -System, Penyangga terowongan, Faktor Keamanan

Abstract

Tunnels are openings below the ground or mountain surface and are made horizontally. Preliminary studies before the tunnel construction, such as geological and geotechnical studies, are needed, because they can provide an overview of the initial rock conditions around the tunnel plan. Rock mass classification is the basic foundation in analyzing the quality of rock mass in informing the geological conditions of the local area for development purposes. One of the rock mass classifications used for tunnels is the Q -system which can provide output in the form of recommendations for the type of support. From the results of the study, the quality of the rock mass at the research location was classified as poor and moderate quality. With the recommendation for tunnel support based on the Q -system is fiber reinforced sprayed concrete and bolting, namely Shotcrete with a thickness of 70 mm with a Rockbolt installation space plus 2.05 m Shotcrete, a Rockbolt installation space without Shotcrete 1.5 m, and a Rockbolt length of 4 m. The value of the safety factor on the 1,2,3,4 and 5 tunnel sections is in the crisis or unsafe category, while the 6 tunnel sections are in the stable or safe category.

Keywords: Tunnel, Q -System, Tunnel support, Safety Factor

PENDAHULUAN

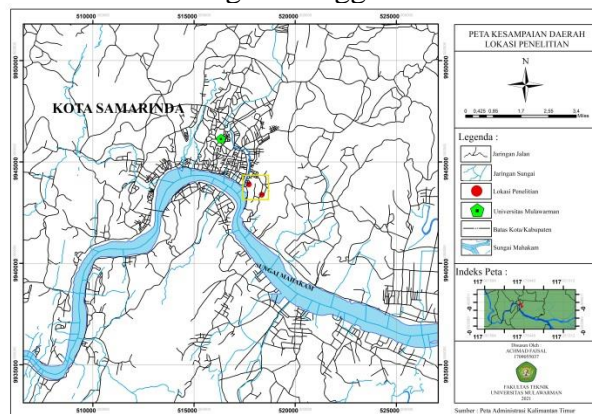
Jumlah kendaraan di Samarinda, dari tahun ketahun terus meningkat baik itu kendaraan roda empat maupun roda dua. Dengan kondisi jalan yang ada saat ini, dimungkinkan terjadinya kemacetan di beberapa titik. Salah satu daerah yang rawan akan kemacetan dan kecelakaan adalah di daerah Gunung Manggah. Dengan kondisi geomorfologi yang berbukit dapat dimungkinkan untuk alternatif pembuatan jalan dengan terowongan. Terowongan adalah sebuah lubang bukaan di bawah permukaan tanah atau gunung dan dibuat mendatar (Fadhillah & Hamdhan, 2016). Kajian awal sebelum dibuatnya terowongan seperti kajian geologi dan geoteknik sangatlah diperlukan, karena menurut (Lambiase & Husein, 2015) dapat memberikan gambaran tentang awal kondisi batuan yang ada di sekitar rencana terowongan

tersebut, kekuatan batuan, adanya bidang bidang diskontinu seperti sesar, kekar dan bidang perlapisan, serta adanya rembesan air berpotensi perlemahan kekuatan batuan (Høien et al., 2019).

Klasifikasi massa batuan merupakan tumpuan dasar dalam menganalisis kualitas massa batuan dalam menginformasikan kondisi geologi daerah setempat untuk tujuan pembangunan. Salah satu Klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk terowongan adalah *Q-system* yang dapat memberi luaran berupa rekomendasi jenis penyangga (Azuwara, 2018).

Kondisi batuan secara umum di wilayah Gunung Manggah adalah berupa batupasir dan batulanau dengan banyak bidang diskontinuitas yang secara geologi teknik merupakan batuan yang relatif lemah dan bidang diskontinuitas menjadi bidang lemah yang kemungkinan terjadi longsor sangat tinggi. Sehingga untuk dibangun terowongan pada wilayah tersebut sangat diperlukan studi geologi teknik yang rinci (Wicaksana et al., 2018). Oleh karena itu, studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi geologi teknik wilayah studi sebelum pembangunan terowongan. Menurut (Louhenapessy, 2020) antara lain memberikan informasi kondisi massa batuan di sekitar terowongan berdasarkan klasifikasi *Q-system* (Balfas, 2015). Menganalisis menggunakan Metode Elemen Hingga dengan perangkat lunak pada kondisi pembebanan yang sama saat pen gujian mekanis untuk menentukan nilai faktor keamanan (Saifudin, 2021). Studi ini sangat penting mengingat masalah geologi teknik merupakan ancaman yang dapat menghambat pembangunan terowongan dan tidak sedikit bahkan menimbulkan korban jiwa (Fandy, 2018).

Penelitian dilaksanakan di Gunung Manggah, Selili, kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi Penelitian berada dititik koordinat yang telah ditentukan oleh pemerintah kota Samarinda dalam perencanaan pembangunan terowongan. Titik *inlet* (X= 518349, Y= 9943384) titik *outlet* (X=517713, Y=9943894). Untuk dapat mencapai lokasi penelitian dapat diakses melalui jalan darat dari kampus Universitas Mulawarman Gunung Kelua dengan waktu tempuh ± 20 menit dengan menggunakan kendaraan roda dua.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Penelitian

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah (Irina, 2017). Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka (Rukajat, 2018).

a. Tahap Pengumpulan Data

1. Pengambilan data *Rock Mass Quality (Q-System)*

Mengambil data pada singkapan dilokasi penelitian dengan memperhitungkan enam parameter yaitu : RQD (*Rock Quality Designation*), Jumlah Kekar(Jn), kekasaran kekar, derajat

alterasi atau pengisi kekar, kondisi air, faktor reduksi tegangan (Sari et al., 2019).

2. Pengambilan Sampel Batuan

Pengambilan sampel batuan dilakukan di 4 singkapan. Dari keempat singkapan itu jenis batumannya adalah batupasir (*sandstone*) .yang mana dari tiap singkapan diambil masing-masing bongkah batuan yang akan dipergunakan untuk pengujian sifat fisik dan mekanik batuan.



Gambar 2. Pengambilan Sampel Batuan

3. Data Titik Kordinat

Data titik koordinat dari lokasi pengambilan sampel diambil menggunakan GPS Garmin (Farida & Rosalina, 2020). Data titik koordinat ini digunakan sebagai titik lokasi penelitian.



Gambar 3. Pengambilan Titik Kordinat

4. Preparasi Sampel Batuan

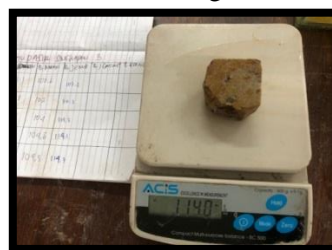
Untuk pengujian sifat fisik yaitu menggunakan standar *International society rock mechanics 1981* dimana standar berat untuk uji fisik antara 50-100 gram per masing masing sampel uji, dan pengujian mekanik uji kuat tekan uniaksial batuan memiliki ukuran sampel ($L=2D$).



Gambar 4. Preparasi Sampel Batuan

5. Pengujian Sifat Fisik Batuan

Pengujian yang di lakukan meliputi berat batuan asli, berat batuan jenuh, berat batuan jenuh tergantung dalam air, dan berat batuan kering.



Gambar 5. Sifat Fisik Batuan

6. Pengujian Sifat Mekanik Batuan

Uji sifat mekanik batuan yang dilakukan uji kuat tekan uniaksial, dimana uji kuat tekan uniaksial untuk mendapatkan uji kuat tekan uniaksial batuan & nilai modulus elastisitas.



Gambar 6. Sifat Mekanik Batuan

7. Sampel Bor Batuan & Dimensi Terowongan

Pengeboran berfungsi untuk menginformasikan kondisi batuan dibawah tanah , seperti untuk mengetahui lapisan batuan dan jenis dari batuan yang ada dibawah tanah tersebut. Hal ini sangat penting dikarenakan data dari pengeboran batuan tersebut akan menjadi dasar dalam memodelkan lapisan-lapisan batuan yang akan dilewati oleh pembangunan terowongan. Serta akan menjadi dasar dalam memodelkan terowongan yang akan di bangun. Dimensi terowongan yaitu panjang 733 m dengan lebar & tinggi terowongan 15 m.

b. Tahap Pengolahan Data

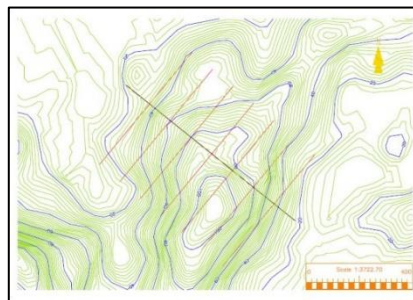
Hasil olah data dari sifat fisik didapatkan kondisi batuan yang meliputi porositas, bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh. Hasil olah data sifat mekanik didapatkan hasil nilai kuat tekan batuan dan modulus elastisitas.

1. Klasifikasi Massa Batuan

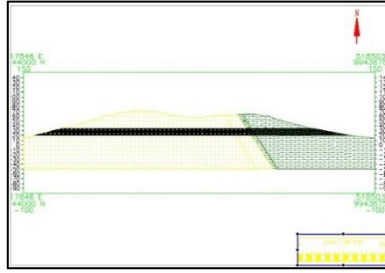
Pengklasifikasian kualitas massa batuan parameter (*Q-System*) akan berupa nilai pembobotan setiap masing-masing parameter. Dari pembobotan tersebut akan didapatkan nilai dan memasukkan kedalam kategori kelas batuan. Lalu memasukkan dalam grafik rekomendasi penyangga berdasarkan *Q-system*.

2. Pembuatan Model Batuan

Pembuatan model batuan dengan perangkat lunak yang akan menghasilkan penampang atau model batuan-batuan dan lapisan batuan pada titik *inlet* & *outlet* terowongan yang direncanakan pada lokasi penelitian. Dasar pemodelan batuan yaitu menggunakan data-data bor yang telah didapatkan. Pembuatan model batuan menggunakan perangkat lunak dalam pembuatannya.



Gambar 7. Lokasi Sayatan Terowongan



Gambar 8. Model Batuan Terowongan

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Pengukuran dengan metode *Scanline*

Pada pengukuran ini ada beberapa data yang diambil yaitu Strike/dip Lereng, Strike/dip Scanline, Panjang Scanline, Nomor kekar, Strike/dip kekar, Jarak antar kekar, Panjang & Lebar kekar. Pada penelitian ada 4 lokasi singkapan batuan sekitar lokasi pembangunan terowongan. singkapan 1 , didapatkan Strike/dip singkapan N 45°E / 64° dan Panjang scanline 5 meter. singkapan 2 , didapatkan Strike/dip singkapan N 30°E / 54° dan Panjang scanline 30 meter. singkapan 3 , didapatkan Strike/dip singkapan N 20°E / 46° dan Panjang scanline 10 meter. singkapan 4 , didapatkan Strike/dip singkapan N 19°E / 48° dan Panjang scanline 17 meter.

Tabel 1. Kordinat Lokasi Penelitian

| Singkapan | Kordinat | |
|-----------|----------------|-----------------|
| | <i>Easting</i> | <i>Northing</i> |
| 1 | 518127 | 9943414 |
| 2 | 518113 | 9943414 |
| 3 | 518101 | 9943617 |
| 4 | 518323 | 9943501 |

2. Sifat Fisik & Mekanik Batuan

Tabel 2 Rata-rata Sifat fisik Batuan

| Sifat Fisik Batuan | Singkapan | | | | Satuan |
|---------------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Natural Density | 1.71 | 1.96 | 1.66 | 1.80 | gr/cc |
| Dry Density | 1.64 | 1.93 | 1.61 | 1.77 | gr/cc |
| Saturated Density | 1.80 | 2.11 | 1.79 | 1.96 | gr/cc |
| Apparent Specific Gravity | 1.64 | 1.93 | 1.61 | 1.77 | - |
| True spesific gravity | 1.95 | 2.36 | 1.98 | 2.19 | - |
| Water Content | 3.99 | 1.86 | 3.08 | 1.66 | % |
| Saturated water content | 9.66 | 9.50 | 11.56 | 10.75 | % |
| Saturation | 41.03 | 19.46 | 26.85 | 15.43 | % |
| Porositas | 15.87 | 18.30 | 18.58 | 19.05 | % |
| Void Ratio | 0.19 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | - |

Tabel 3. Rata-rata Kuat Tekan Batuan

| Sampel | Nilai UCS (Mpa) | Modulus Elastisitas (Gpa) | | | Rata-rata (Mpa) |
|--------|-----------------|---------------------------|--------|---------|-----------------|
| | | Secant | Tangen | Average | |
| 1 | 5.31 | 0.74 | 0.74 | 0.65 | 704.3 |
| | 5.71 | 0.30 | 0.29 | 0.24 | |
| | 5.71 | 1.16 | 1.11 | 1.10 | |
| 2 | 7.48 | 0.51 | 0.49 | 0.54 | 430.5 |
| | 6.89 | 0.44 | 0.41 | 0.66 | |

| | | | | | |
|---|------|------|------|------|-------|
| | 5.51 | 0.23 | 0.32 | 0.27 | |
| | 8.46 | 0.61 | 0.55 | 0.88 | |
| 3 | 6.30 | 0.37 | 0.34 | 0.27 | 417.3 |
| | 5.91 | 0.25 | 0.30 | 0.19 | |
| | 3.74 | 0.17 | 0.15 | 0.34 | |
| 4 | 2.76 | 0.28 | 0.28 | 0.25 | 231.7 |
| | 1.18 | 0.23 | 0.26 | 0.13 | |

3. Pembobotan *Q*-system)

a. *Rock Quality Designation (RQD)*

Tabel 3. Pembobotan RQD

| Scanline | RQD (%) | Deskripsi | RQD rata-rata (%) |
|----------|---------|-------------|-------------------|
| 1 | 98.31 | Sangat baik | |
| 2 | 99.68 | Sangat baik | 99.22 |
| 3 | 99.15 | Sangat baik | |
| 4 | 99.75 | Sangat baik | |

b. Jumlah Pasang Kekar

Tabel 4. Pembobotan Jumlah Pasang Kekar

| Scanline | Jumlah Kekar | Joint set | Pembobotan |
|----------|--------------|-----------|------------|
| 1 | 9 | 4 | 15 |
| 2 | 42 | 6 | 15 |
| 3 | 12 | 4 | 15 |
| 4 | 12 | 5 | 15 |

c. Tingkat Kekasaran Kekar

Tabel 5. Pembobotan Kekasaran Kekar

| Scanline | Keterangan | Jumlah | Nilai | Rata-rata (Jr) |
|----------|-----------------------------------|--------|-------|----------------|
| 1 | Halus , rata | 9 | 1.5 | 1.5 |
| | Kekar tidak teratur, bergelombang | 3 | 3 | |
| 2 | Halus, bergelombang | 23 | 2 | 1.88 |
| | Kasar tidak teratur, rata | 16 | 1.5 | |
| 3 | Halus , rata | 8 | 1 | 1.33 |
| | Halus, bergelombang | 4 | 2 | |
| 4 | Kasar tidak teratur, rata | 9 | 1.5 | 1.5 |
| | Licin bergelombang | 3 | 1.5 | |

d. Alterasi Kekar

Tabel 6. Alterasi Kekar

| Scanline | Kekar | Keterangan | Nilai | Rata- rata (Ja) |
|----------|-------|---|-------|-----------------|
| 1 | 7 | Dinding kekar agak berubah, tidak ada perlunakan, perlapisan mineral, partikel pasir, lempung tanpa batuan hancur | 2 | 1.78 |
| | 2 | Dinding kekar tidak berubah, permukaan hanya tercemari | 1 | |
| 2 | 42 | Dinding kekar tidak berubah, permukaan hanya tercemari | 1 | 1 |
| 3 | 12 | Dinding kekar tidak berubah, permukaan hanya tercemari | 1 | 1 |
| 4 | 12 | Dinding kekar tidak berubah, permukaan hanya tercemari | 1 | 1 |

e. Aliran Air Tanah

Tabel 7. Alterasi Kekar

| Scanline | Kekar | Keterangan | Nilai | Rata-rata (Jw) |
|----------|-------|---|-------|----------------|
| 1 | 9 | Lubang bukaan kering atau aliran air kecil (<5L/menit) | 1 | 1 |
| 2 | 42 | Lubang bukaan kering atau aliran air kecil (<5L/menit) | 1 | 1 |
| 3 | 12 | Lubang bukaan kering atau aliran air kecil (<5L/menit) | 1 | 1 |
| 4 | 9 | Lubang bukaan kering atau aliran air kecil (<5L/menit) | 1 | 0.915 |
| | 3 | Aliran air kecil (<5L/menit), terjadi pencucian pengisi kekar | 0.66 | |

f. SRF (Stress Reduction Factor)

Tabel 7. SRF

| Scanline | Keterangan | Pembobotan |
|----------|--|------------|
| 1 | Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian ≤ 50 m) | 2.5 |
| 2 | Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian ≤ 50 m) | 2.5 |
| 3 | Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian ≤ 50 m) | 2.5 |
| 4 | Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian ≤ 50 m) | 2.5 |

g. ESR (Excavation Support Ratio)

Tabel 8. ESR

| Kategori terowongan yang akan digunakan | ESR |
|--|-----|
| D Stasiun pembangkit , jalan raya dan terowongan kereta api , ruang pertahanan sipil , portal persimpangan | 1,0 |

Untuk melengkapi klasifikasi massa batuan dan rekomendasi jenis penyangga berdasarkan nilai Q-System, Barton,dkk (1974) mendefenisikan parameter dimensi ekuivalen (De) untuk terowongan. Untuk nilai dimensi ekuivalen (De) pada terowongan :

$$De = \frac{\text{Bentang lubang bukaan ,diameter atau tinggi (m)}}{\text{Excavation Support Ratio}}$$

$$= 15/1 = 15 \text{ m}$$

4. Nilai (Q-system)

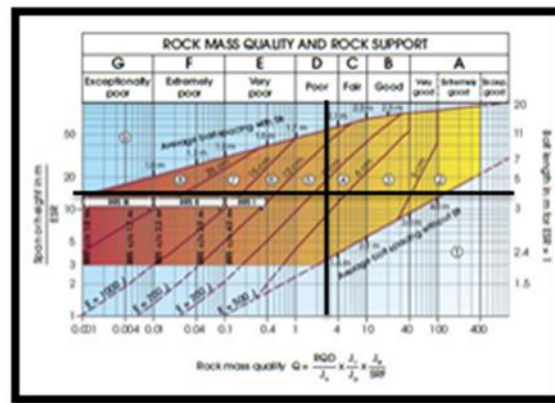
Berdasarkan pembobotan parameter Q-system diatas maka didapatkan klasifikasi massa batuan berdasarkan Q-system yaitu sebagai berikut

Tabel 9. Nilai Q-System

| Parameter | S1 | S2 | S3 | S4 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| RQD (%) | 98.31 | 99.68 | 99.15 | 99.75 |
| Jn | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Jr | 1.5 | 1.88 | 1.33 | 1.5 |
| Ja | 1.78 | 1 | 1 | 1 |
| Jw | 1 | 1 | 1 | 0.915 |
| SRF | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Nilai Q | 2.21 | 5.00 | 3.52 | 3.65 |
| Klasifikasi | Buruk | Cukup | Buruk | Buruk |

5. Rekomendasi Penyangga Terowongan Berdasarkan (*Q-system*)

Untuk menentukan rekomendasi penyangga, nilai *Q-System* tersebut dimasukkan pada kurva (Barton & Grimstad, 2004). dengan menghubungkan nilai *Q-System* dengan Dimensi Ekuivalen (De). Untuk rekomendasi penyangga pada terowongan dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini



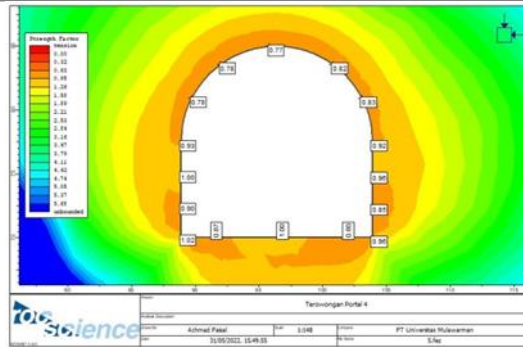
Gambar 9. Rekomendasi penyangga terowongan berdasarkan (*Q-System*)

Rekomendasi penyangga terowongan berdasarkan metode klasifikasi massa batuan (*Q-System*) adalah fibre reinforced sprayed concrete and bolting (Bernard & Thomas, 2020), yaitu Shotcrete dengan ketebalan 70 mm dengan spasi pemasangan Rockbolt ditambah Shotcrete 2,05 m, spasi pemasangan Rockbolt tanpa Shotcrete 1,5 m, dan panjang Rockbolt 4 m.

6. Faktor Keamanan

Proses melakukan analisis geoteknik sangat perlu diperhatikan dalam memperhitungkan faktor keamanan suatu pekerjaan konstruksi. Faktor keamanan sebagai batas limit dalam merencanakan terowongan. Berikut adalah hasil tafsiran faktor keamanan yang berupa atap terowongan, dinding terowongan dan lantai terowongan disetiap masing masing penampang terowongan.

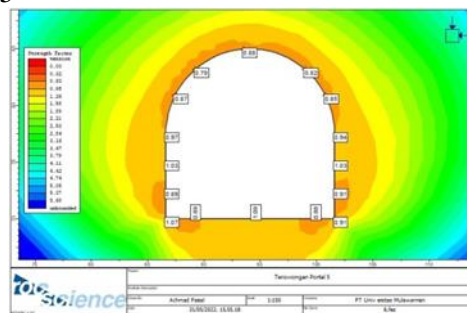
a. Penampang Terowongan 1



Gambar 13. FK Penampang 4

Pada gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai FK terowongan untuk bagian atap, dinding dan lantai keseluruhan berwarna oranye muda dengan nilai antara 0,62 – 1,26 yang menandakan FK rendah. Pada penampang 4 masuk kategori tidak aman.

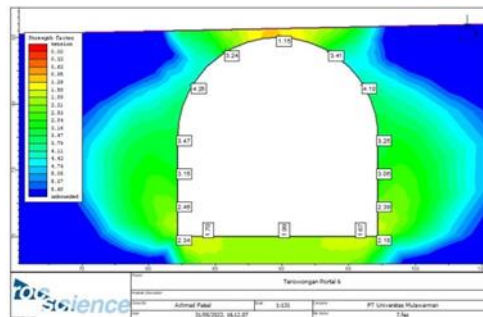
e. Penampang Terowongan 5



Gambar 14. FK Penampang 5

Pada gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai FK terowongan untuk bagian atap, dinding dan lantai keseluruhan berwarna oranye muda dengan nilai 0,63 – 1,26 yang menandakan FK rendah. Pada penampang 5 masuk kategori tidak aman.

f. Penampang Terowongan 6



Gambar 15. FK Penampang 6

Pada gambar 15 dapat dilihat bahwa nilai FK terowongan untuk bagian atap didominasi warna hijau yang menandakan dalam kondisi aman dengan nilai antara 2,21 – 3,47 walaupun terdapat warna kuning muda dengan nilai antara 1,26 – 1,89 yang relatif lebih rendah. Pada penampang 5 masuk kategori aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh kesimpulan bahwa nilai kualitas massa batuan berdasarkan Q-System ialah pada scanline 1 sebesar 2,21 masuk kedalam kelas batuan buruk, scanline 2 sebesar 4,99 masuk kedalam kelas batuan sedang, scanline 3 sebesar 3,52 masuk kedalam kelas batuan buruk dan scanline 4 sebesar 3,65 masuk kedalam kelas batuan buruk. Rekomendasi penyangga terowongan berdasarkan metode klasifikasi massa batuan (Q-System) adalah fibre reinforced sprayed concrete and bolting, yaitu Shotcrete dengan ketebalan 70 mm dengan spasi pemasangan Rockbolt

ditambah Shotcrete 2,05 m, spasi pemasangan Rockbolt tanpa Shotcrete 1,5 m, dan panjang Rockbolt 4 m. Nilai Faktor Keamanan terowongan pada penampang 1,2,3,4 dan 5 masuk kategori tidak aman sedangkan pada penampang terowongan 6 masuk kategori aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Azuwara, L. (2018). Analisis Dasar Pondasi Rumah Pembangkit Dengan Menggunakan Klasifikasi Massa Batuan Metode RMR, Pada PLTA X, Daerah Asinua Jaya Dan Sekitarnya, Kecamatan Asinua, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. *SKRIPSI-2017*.
- Balfas, M. D. (2015). Geologi Untuk Pertambangan Umum. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Barton, N., & Grimstad, E. (2004). The Q System Following Thirty Years Of Development And Application In Tunnelling Projects. *Proc. ISRM Symp. Eurock*, 15–18.
- Bernard, E. S., & Thomas, A. H. (2020). Fibre Reinforced Sprayed Concrete For Ground Support. *TAI Journal (A Half Yearly Technical Journal Of Indian Chapter Of TAI)*, 9(1), 13–33.
- Fadhillah, R. A., & Hamdhan, I. N. (2016). Analisis Geoteknik Terowongan Batuan Geurutee Aceh Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Reka Racana*, 2(4), 78–88.
- Fandy, P. M. (2018). Rancangan Alternatif Penyangga Dan Kestabilan Ramp Down Cgt Cross Cut Iv, Tambang Gudang Handak L500, Pt Aneka Tambang. Tbk, Ubpe Pongkor, Jawa Barat. *Jurnal GEOSAPTA*, 4(2).
- Farida, A., & Rosalina, F. (2020). Pelatihan Dasar-Dasar Pengoperasian GPS Garmin Bagi Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sorong. *Abdimas: Papua Journal Of Community Service*, 2(1), 47–56.
- Høien, A. H., Nilsen, B., & Olsson, R. (2019). Main Aspects Of Deformation And Rock Support In Norwegian Road Tunnels. *Tunnelling And Underground Space Technology*, 86, 262–278.
- Irina, F. (2017). Metode Penelitian Terapan.
- Lambiase, J. J., & Husein, S. (2015). The Modern Mahakam Delta: An Analogue For Transgressive--Phase Deltaic Sandstone Reservoirs On Low Energy Coastlines.
- Louhenapessy, W. G. (2020). Disain Terowongan Di Batuan: Perbandingan Metode Klasifikasi Batuan Dan Metode Elemen Hingga Kriteria Runtuh Getas-Daktail Batuan Berkekar. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan-CENTECH*, 1(1), 24–34.
- Rukajat, A. (2018). Pendekatan Penelitian Kuantitatif: Quantitative Research Approach. Deepublish.
- Saifudin, R. (2021). Ta: Analisis Stabilitas Dan Deformasi Terowongan Nanjung Dengan Pendekatan Numerik Dua Dimensi. Institut Teknologi Nasional.
- Sari, S. D., Rosana, M. F., & Zakaria, Z. (2019). Hubungan Tipe Alterasi Dengan Kelas Massa Batuan Berdasarkan Q-System Pada Tambang Bawah Tanah Kencana. *Geoscience Journal*, 3(3), 232–237.
- Wicaksana, C. Y., Suprijanto, H., & Cahya, E. N. (2018). Studi Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Lubuk Ambacang Kecamatan Hulu Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 2(1).



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)