

**STUDI PENDAHULUAN ANALISIS POTENSI BAJI PADA RENCANA BUKAAN TEROWONGAN JALAN SIPII DI DAERAH GUNUNG MANGGAH**

**Nanda Satria Bakti, Tommy Trides, Shalaho Dina Devy, Revia Oktaviani, Albertus Juvensius Pontus**

Fakultas Teknik Universitas Mulwarman

Email: [nandasatriabekti@gmail.com](mailto:nandasatriabekti@gmail.com)

**Abstrak**

Ambrukan atau subsidence merupakan salah satu masalah yang kerap terjadi pada saat konstruksi pembangunan terowongan bisa disebabkan oleh kondisi geologi maupun kualitas batuan penyusunnya. Dengan metode analisis streografis ambrukan dapat ditentukan baik tipe, bentuk, bahkan volumenya. Selain itu nilai kualitas batuan juga menjadi salah satu parameter penting untuk mengetahui tingkat kekuatan batuan pada sekitar rencana bukaan terowongan tersebut. Hasil analisis streografis pada bukaan terowongan pada bukaan inlet dengan 5 joint set dan bukaan outlet dengan 3 joint set keduanya memiliki potensi terbentuknya baji. Untuk nilai kualitas batuan pada bukaan inlet memiliki nilai RQD 97,63% dan pada bukaan outlet memiliki nilai 99,82% dimana dari kedua nilai tersebut termasuk dalam kategori sangat baik. Dengan bantuan perangkat lunak titik baji pada sisi geometri terowongan dapat dilihat dimana pada bukaan inlet terowongan baji yang terbentuk ada pada sisi kiri terowongan dengan FK stabil ; sisi kanan bawah terowongan dengan FK 1,73 ; sisi kanan atas terowongan dengan FK 0,00 ; sisi atas terowongan dengan FK 0,00 ; dan sisi bawah terowongan dengan FK 0,06. Pada bukaan outlet terowongan baji yang terbentuk ada pada sisi kiri atas terowongan dengan FK 1,43 ; pada sisi kanan bawah terowongan dengan FK stabil ; sisi kanan atas dengan FK 0,17. Setelah diketahui titik mana baji terbentuk maka dilakukan perkuatan pada bukaan inlet bagian sisi atas terowongan dengan menggunakan rockbolt berjenis mechanical anchor. Pada inlet terowongan spesifikasi rockbolt yang digunakan pada sisi bawah (panjang 1,5 m, jarak vertikal 1,5 m, jarak horizontal 1,5 m, kapasitas rockbolt 15 ton, FK 2,25), sisi kanan bawah (panjang 1,5 m, jarak vertikal 1,5 m, jarak horizontal 1,5 m, kapasitas rockbolt 15 ton, FK 2,09), kanan atas (panjang 1 m, jarak vertikal 2 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 5 ton, FK 2,00), sisi atas (panjang 1 m, jarak vertikal 1,5 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 10 ton, FK 2,20), dan sisi kiri (panjang 0,5 m, jarak vertikal 2 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 5 ton, FK stabil). Untuk outlet terowongan spesifikasi rockbolt yang digunakan pada sisi kiri (panjang 2 m, jarak vertikal 1 m, jarak horizontal 1 m, kapasitas rockbolt 20 ton dengan penambahan shotcrete 10 cm, FK 2,05), sisi kanan atas (shotcrete 10 m, FK 23), sisi kanan dan bawah (panjang 0,5 m, jarak vertikal 2 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 5 ton, FK stabil)..

**Kata Kunci:** Terowongan, Inle, Outlet, Streografis.

**Abstract**

*Collapse or subsidence is one of the problems that often occurs during tunnel construction, which can be caused by geological conditions and the quality of the rocks that make up it. With the stereographic analysis method, collapses can be determined in terms of type, shape and even volume. Apart from that, the rock quality value is also an important parameter to determine the level of rock strength around the planned tunnel opening. The results of the stereographic analysis*

*of tunnel openings at the inlet opening with 5 joint sets and the outlet opening with 3 joint sets both have the potential for wedge formation. The rock quality value at the inlet opening has an RQD value of 97.63% and at the outlet opening it has a value of 99.82%, where both values are included in the very good category. With the help of the software, the wedge point on the side of the tunnel geometry can be seen where the wedge tunnel inlet opening is formed on the left side of the tunnel with a stable FK; lower right side of the tunnel with FK 1.73; top right side of the tunnel with FK 0.00; top side of tunnel with FK 0.00; and the bottom side of the tunnel with FK 0.06. The wedge tunnel outlet opening that is formed is on the upper left side of the tunnel with FK 1.43; on the lower right side of the tunnel with stable FK; top right side with FK 0.17. After knowing the point at which the wedge forms, reinforcement is carried out at the inlet opening on the top side of the tunnel using mechanical anchor type rockbolts. At the tunnel inlet, rockbolt specifications are used on the bottom side (length 1.5 m, vertical distance 1.5 m, horizontal distance 1.5 m, rockbolt capacity 15 tons, FK 2.25), bottom right side (length 1.5 m, vertical distance 1.5 m, horizontal distance 1.5 m, rockbolt capacity 15 tons, FK 2.09), top right (length 1 m, vertical distance 2 m, horizontal distance 2 m, rockbolt capacity 5 tons, FK 2.00), top side (length 1 m, vertical distance 1.5 m, horizontal distance 2 m, rockbolt capacity 10 tons, FK 2.20), and left side (length 0.5 m, vertical distance 2 m, horizontal distance 2 m, rockbolt capacity 5 tons, stable FK). For tunnel outlets, rockbolt specifications are used on the left side (length 2 m, vertical distance 1 m, horizontal distance 1 m, rockbolt capacity 20 tons with the addition of 10 cm shotcrete, FK 2.05), top right side (shotcrete 10 m, FK 23), right side and bottom (length 0.5 m, vertical distance 2 m, horizontal distance 2 m, rockbolt capacity 5 tons, stable FK).*

---

**Keywords:** Tunnel, Inle, Outlet, Streographic.

---

## PENDAHULUAN

Jalan Otista atau Jalan Otto Iskandardinata di daerah Sungai Dama merupakan lokasi paling sering terjadi macet. Kemacetan panjang kerap terjadi pada jalan tersebut tepatnya di kawasan Pasar Sungai Dama yang disebabkan adanya aktivitas parkir liar, kegiatan di Pasar, persimpangan dan adanya bangunan semi permanen yang sudah masuk ke badan jalan. Perlu adanya sinergi dari beberapa instansi terkait untuk penanganan masalah kemacetan di Jalan Otto Iskandardinata, salah satu opsi yang muncul yaitu perencanaan pembangunan terowongan. Menurut Mingsi (2013), terowongan merupakan salah satu alternatif prasarana perhubungan masa depan yang memungkinkan untuk mempersingkat waktu perjalanan.

Ellisa (2014) dalam penelitiannya mengatakan bahwa salah satu potensi masalah yang terjadi pada saat konstruksi adalah keruntuhan di muka terowongan dan terbentuknya subsidence pada waktu penggalian. Pembongkaran batuan akan berpengaruh langsung terhadap kekuatan dan bentuk batuan yang ada di sekitar, hal ini disebabkan karena dampak penggalian di bawah permukaan tanah dapat mengakibatkan hilangnya daya dukung batuan selain itu struktur geologi yang ada di sekitar bukaan juga sangat berpengaruh terhadap risiko terbentuknya ambrukan atau subsidence tersebut, dengan demikian batuan akan mencari keseimbangan baru setelah adanya perlakuan yang diberikan terhadapnya. Keberadaan ambrukan dapat diketahui atau diidentifikasi dengan adanya tiga atau lebih joint yang saling berpotongan yang di sekitar bukaan terowongan.

Oleh karena itu dilakukan pengamatan terkait analisis kinematik dan geologi mekanik untuk mengetahui potensi ambrukan baji yang pada sekitar lokasi perencanaan pembangunan bukaan terowongan sehingga dapat ditentukan metode penyanggaan menggunakan baut batuan yang tepat untuk menghasilkan bukaan terowongan yang aman.

## METODE PENELITIAN

Tahap pra-lapangan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengumpulkan bahan-bahan diperlukan selama proses penelitian. Pada tahap ini diawali dengan studi literatur untuk menentukan permasalahan atau fokus penelitian. Pada tahap pra-lapangan ini meliputi :

1. Studi pustaka melalui buku dan jurnal terkait penelitian sebelumnya yang berkaitan pada penelitian yang akan dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan penulis dalam pelaksanaan skripsi.
2. Melakukan observasi lapangan untuk menentukan rumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan.
3. Menentukan persiapan alat dan bahan apa saja yang akan digunakan pada penelitian tersebut. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
  - a. Kompas Geologi



**Gambar 1.** Kompas Geologi

- b. Palu Geologi



**Gambar 2.** Palu Geologi

- c. GPS



**Gambar 3.** GPS

d. Meteran



**Gambar 4.** Meteran

e. Penggaris



**Gambar 5.** Penggaris

f. Papan *Clipboard*



**Gambar 6.** Papan *Clipboard*

g. Kamera *Smartphone*



**Gambar 7.** Kamera *Smartphone*

h. Plastik Sampel Batuan



**Gambar 8.** Plastik Sampel

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengambilan Data Penelitian

#### 1. Data Sampel Batuan

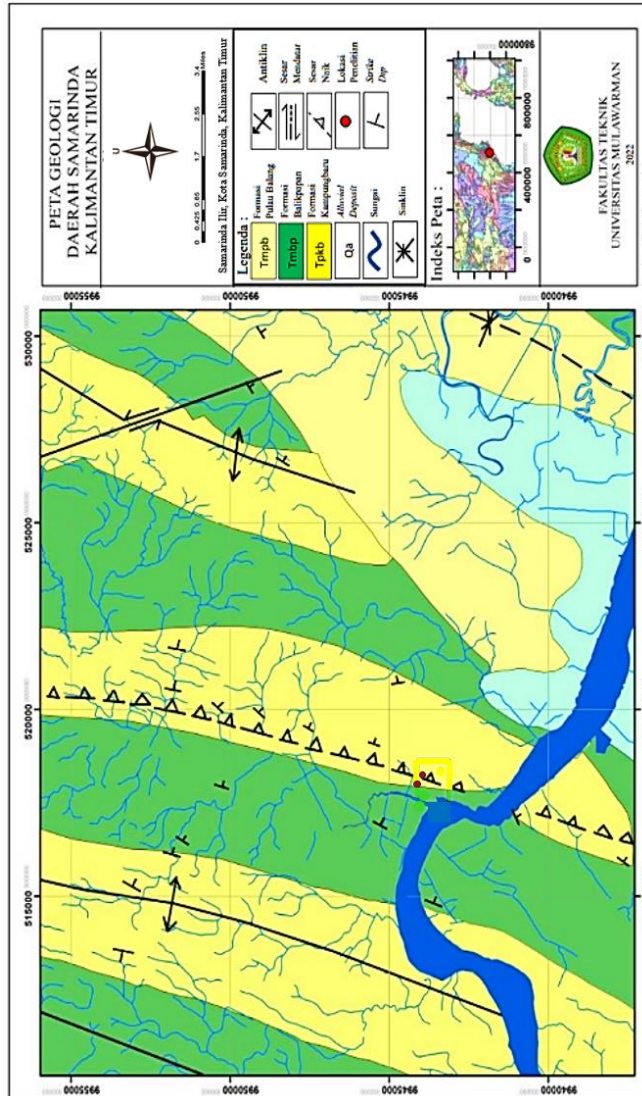
Pada penelitian ini sampel batuan diambil pada singkapan batuan yang lokasinya berada didekat lokasi yang menjadi *inlet* dan *outlet* rencana pembuatan terowongan menggunakan linggis dan palu geologi. Berikut adalah koordinat lokasi dari masing masing lokasi pengambilan sampel batuan.

**Tabel 1.** Koordinat Lokasi Pengambilan Sampel

Singkapan	Koordinat	
	X	Y
1	518020	9943985
2	518237	9943827

Pengambilan sampel pada tiap masing-masing singkapan diambil sebanyak 1 bongkah sampel. Sampel selanjutnya akan dibawa ke Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara yang ada di Fakultas Teknik Universitas Mulawarman untuk dilakukan pengujian sehingga nanti akan diperoleh nilai rata-rata kekuatan batuan yang berada pada lokasi penelitian.

Gambar koordinat lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada 9.



**Gambar 9.** Peta Lokasi Pengambilan Sampel

(Supriatna, dkk, 2015)

### 1. Uji Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik batuan dilakukan pada sampel bongkah yang diperoleh dilapangan. Sampel yang berupa bongkahan dipotong menjadi 3 sampel berbentuk balok dengan ukuran 5 cm x 10 cm sehingga sampel sekarang menjadi 6 buah. Berikut adalah hasil dari uji sifat fisik batuan.

**Tabel 2.** Nilai Rata-Rata Sifat Fisik Batuan

Sifat Fisik Batuan	Sampel Singkapan		Satuan
	1	2	
<i>Natural Density</i>	1,78	1,79	gr/cc

<i>Dry Density</i>	1,75	1,67	gr/cc
<i>Saturated Density</i>	2,09	2,04	gr/cc
<i>Apparent Specific Gravity</i>	1,75	1,67	-
<i>True spesific gravity</i>	2,65	2,67	-
<i>Water Content</i>	99,23	99,73	%
<i>Saturated water content</i>	0,19	0,22	%
<i>Saturation</i>	0,11	0,29	%
Porositas	0,33	0,37	%
<i>Void Ratio</i>	0,51	0,59	-

Dari hasil pengujian sifat fisik pada sampel yang diambil berdasarkan tabel diatas hasil nilai sifat fisik yang diperoleh tidak jauh berbeda. Nilai rata-rata yang diperoleh hampir sama antara singkapan satu dengan singkapan 2. Namun yang cukup membedakannya ada pada hasil nilai *water content* dimana pada singkapan 1 diperoleh 99,23% pada singkapan 2 diperoleh 99,73%, dan pada nilai saturasi dimana singkapan 1 yaitu 0,11% sedangkan singkapan 2 yaitu 0,28%.

## 2. Uji Sifat Mekanik Batuan (UCS)

Pengujian sifat mekanik batuan dilakukan dengan menggunakan metode UCS (*Unconfined Compressive strength*) atau biasa disebut ujin kuat tekan batuan. Pengujian dilakukan sebanyak 6 sampel dari masing-masing sampel bongkahan dari tiap singkapan. Berikut nilai rata-rata dari nilai uji kuat tekan batuan.

Tabel 3. Nilai Rata - Rata Uji Kuat Tekan Batuan

Sampel	Nilai UCS (Mpa)	Nilai UCS rata rata (Mpa)	Rata rata singkapan(Mpa)
Singkapan 1	1,85	0,93	1,19
	0,97	0,49	
	0,75	0,39	
Singkapan 2	0,97	0,49	0,68
	0,29	0,15	
	0,78	0,39	

Dari hasil tabel rata-rata nilai UCS tiap singkapan diwakili dengan 3 sampel. Pada singkapan satu diperoleh nilai rata-rata UCS adalah 1,19 Mpa yang mana nilai tersebut termasuk kedalam golongan batuan sangat lemah dengan nilai UCS diantara 1-5 Mpa. Pada singkapan 2 diperoleh nilai rata-rata UCS 0,68 Mpa yang mana batuan tersebut masuk kedalam kategori batuan lemah sekali dengan nilai UCS antara 0,25-1 Mpa.

## 3. Uji Kuat Tekan *Schmidt Hammer*

Pengujian kuat tekan pada batuan dengan menggunakan alat *schmidt hammer* tipe L. Untuk pengujian ini sendiri dilakukan pada tiap kekar singkapan *inlet* dan *outlet* yang dilewati oleh garis *scanline* pada sekitar lokasi rencana bukaan terowongan dengan masing-masing data *rebound number* yang diambil sebanyak 3 kali pada tiap kekar dan selanjutnya dari semua nilai *rebound number* akan diambil nilai rata rata untuk diperoleh nilai *rebound number* singkapannya untuk selanjutnya diolah pada *software* teruji analisis potensi baji.



Gambar 11. Pengambilan Nilai Kuat Tekan *Schmidt Hammer*

**Tabel 4. Hasil Rata – Rata Nilai Rebound Pengujian Kuat Tekan**

No.	Lokasi	Posisi	Nilai rata-rata <i>Rebound Number</i>
1	Singkapan <i>inlet</i> terowongan	A	8,78
2	Singkapan <i>outlet</i> terowongan	A	18

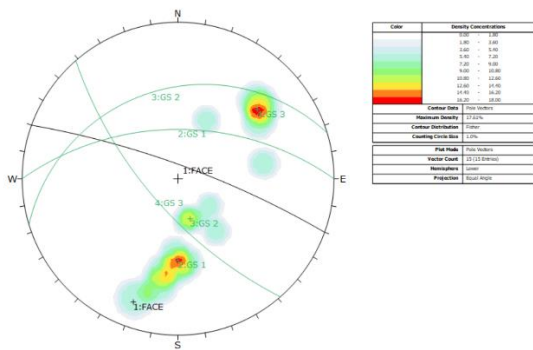
Berdasarkan tabel diatas diperoleh nilai rata-rata *rebound number* pada singkapan *inlet* 8,78 dan pada *outlet* 18. Selanjutnya setelah diperoleh nilai rata-rata *rebound number* maka nilai *rebound number* akan dikonvesi ke satuan uji kuat tekan (Mpa) dan diperoleh nilai kuat tekan pada singkapan *inlet* sebesar 15,8 Mpa sedangkan pada singkapan *outlet* 6,3 Mpa.

### 1.1.1 Data Kekar Batuan

#### 1. Singkapan *Inlet*

Pada lokasi *inlet* terowongan singkapan yang terukur sepanjang 22 m dengan nilai strike/dip yaitu 290°E/80°W dan terdapat beberapa data kekar yang diperoleh sebagai berikut.



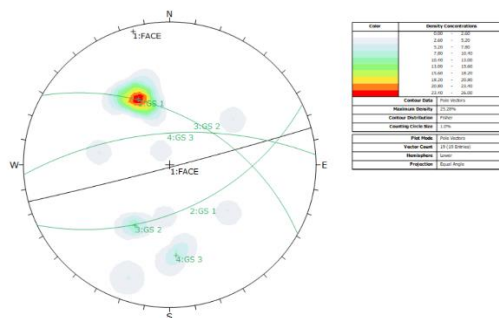


**Gambar 12.** Hasil Plotting Data Kekar Pada Singkapan *Inlet* Terowongan

Hasil proyeksi stereografis menggunakan perangkat lunak terbentuk 5 *joint set* pada singkapan disekitar lokasi *inlet* terowongan dimana hasil proyeksi termasuk ke dalam jenis ambrukan baji karena adanya dua bidang lemah yang saling berpotongan satu sama lain membentuk suatu kenampakan baji. Warna merah mewakili bidang lemah dengan kategori tinggi yang terbentuk berdasarkan data kekar yang berada lokasi singkapan batuan, warna kuning mewakili bidang lemah dengan kategori sedang, sedangkan warna hijau dan biru mewakili bidang lemah dengan kategori aman.

## 2. Singkapan *Outlet*

Pada lokasi *outlite* terowongan, singkapan yang terukur sepanjang 13 m dengan nilai strike/dip 75°E / 88°W dan diperoleh data kekar sebagai berikut.



**Gambar 13.** Hasil Plotting Data Kekar Pada *Outlet* Terowongan

Hasil proyeksi stereografis dengan menggunakan perangkat lunak diperoleh sebanyak 8 *joint set* yang terbentuk pada lokasi *outlite* terowongan dimana hasil proyeksi termasuk ke dalam jenis ambrukan baji karena adanya dua bidang lemah atau lebih yang saling berpotongan satu sama lain membentuk suatu kenampakan baji. Dari gambar diatas dapat dilihat jika hanya terdapat satu bidang lemah dengan kategori tinggi sedangkan sisanya tergolong dalam kategori aman.

### 1.1.2 Nilai Kualitas Massa Batuan

Dalam penentuan nilai kualitas batuan dengan menggunakan metode RQD terdapat parameter indeks kualitas massa batumannya. Indeks kualitas massa batuan tersebut nantinya berguna untuk mengetahui nilai kualitas massa batuan termasuk dalam kategori yang mana mana mulai dari yang sangat buruk hingga sangat baik. Adapun berikut adalah tabel indeks kualitas massa batuan dengan metode RQD.

## 1. Nilai RQD Pada *Inlet* Terowongan

**Tabel 5.** Spasi Kekar Pada *Inlet* Terowongan

No.	Kode <i>Join Set</i>	Frekuensi <i>Join Set</i> ( $\lambda$ )	<i>True Joint Spacing</i> ( $\lambda$ )
1	C6	2,5	2,35
2	C9	2,21	

Setelah diperoleh nilai *true joint spacing* maka dapat dilakukan perhitungan RQD

$$\begin{aligned} \text{RQD} &= 100 e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \\ &= 100 e^{-0,1(2,35)} (0,1(2,35) + 1) \\ &= 97,63\% \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai RQD, berdasarkan nilai diatas maka nilai kualitas massa batuan termasuk kedalam kategori sangat baik karena berada dirank 90-100%.

## 2. Nilai RQD Pada *Outlet* Terowongan

**Tabel 6.** Spasi Kekar Pada *Outlet* Terowongan

No.	Kode <i>Join Set</i>	Frekuensi <i>Join Set</i> ( $\lambda$ )	<i>True Joint Spacing</i> ( $\lambda$ )
1	B0	0,03	0,57
2	B2	0,5	
3	B3	1,07	
4	B7	0,71	

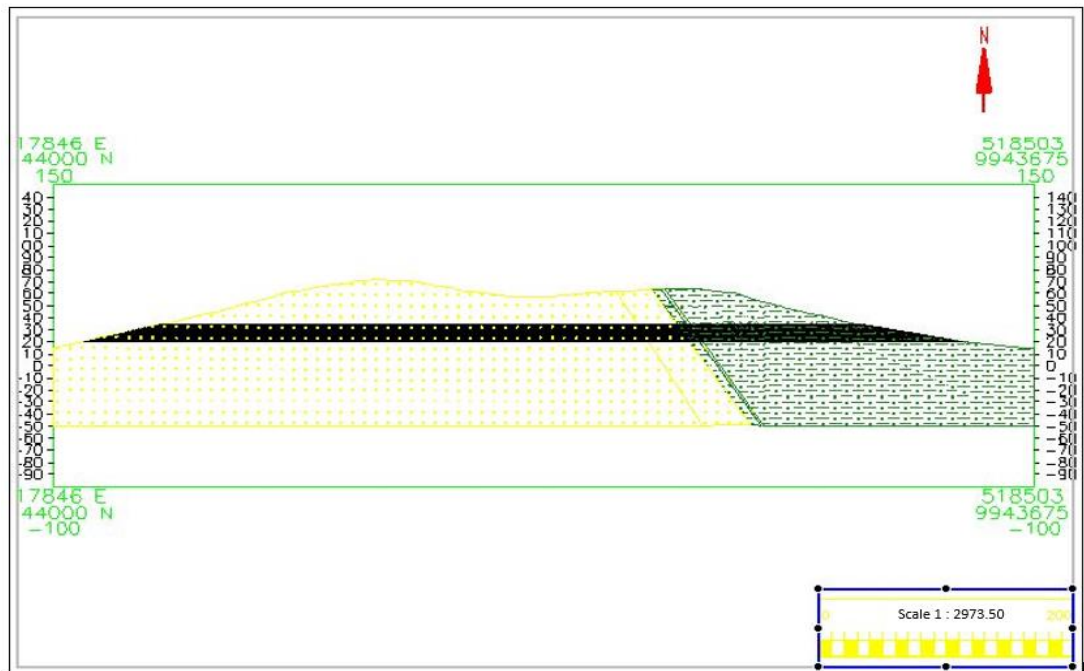
Setelah diperoleh nilai *true joint spacing* maka dapat dilakukan perhitungan RQD

$$\begin{aligned} \text{RQD} &= 100 e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \\ &= 100 e^{-0,1(0,57)} (0,1(0,57) + 1) \\ &= 99,83\% \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai RQD, berdasarkan nilai diatas maka nilai kualitas massa batuan termasuk kedalam kategori sangat baik karena berada di rank 90-100%.

## 2. Data Litologi Batuan

Data litologi batuan yang digunakan berasal dari penelitian sebelumnya Faisal A. 2022 mengungkapkan bahwa sebelum membuat dan menganalisis terowongan maka terlebih dahulu memodelkan batuan yang akan dilintasi sepanjang terowongan, dasar pemodelannya sendiri diperoleh menggunakan data bor pada lokasi terowongan. Hasil pemodelan terdapat 2 lapisan batuan yaitu batupasir yang pertama lalu batulempung yang pertama kemudian batupasir kedua dan batulempung kedua. Berikut adalah gambar dari hasil pemodelan terowongan dari *inlet* ke *outlet*.



**Gambar 14.** Hasil Pemodelan Terowongan

Data litologi batuan sendiri juga diperkuat berdasarkan data ESDM Kaltimprov dimana hasil survei lapangan bahwa litologi dominan kawasan tersebut batulempung sisipan pasir.

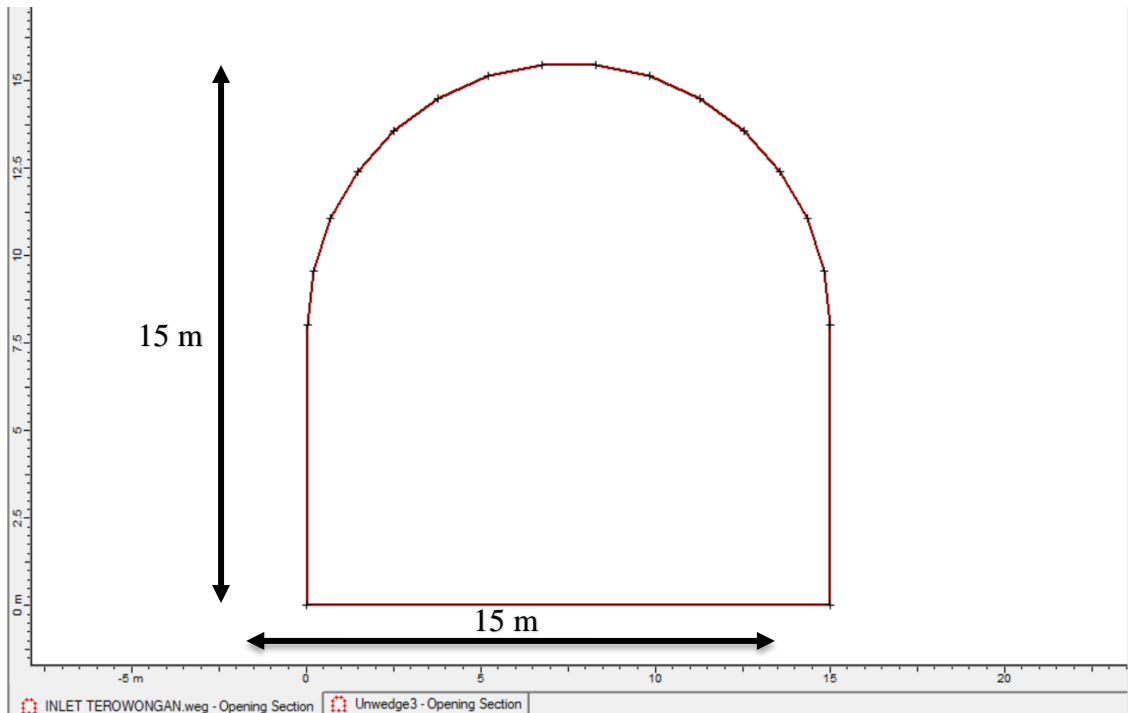
### 3. Analisis Potensi Baji dengan Perangkat Lunak

#### 1.3.1 Geometri Terowongan

Dimensi terowongan yang digunakan berdasarkan rencana yang telah dibuat oleh pemerintah memiliki dimensi sebagai berikut.

**Tabel 7.** Geometri Terowongan

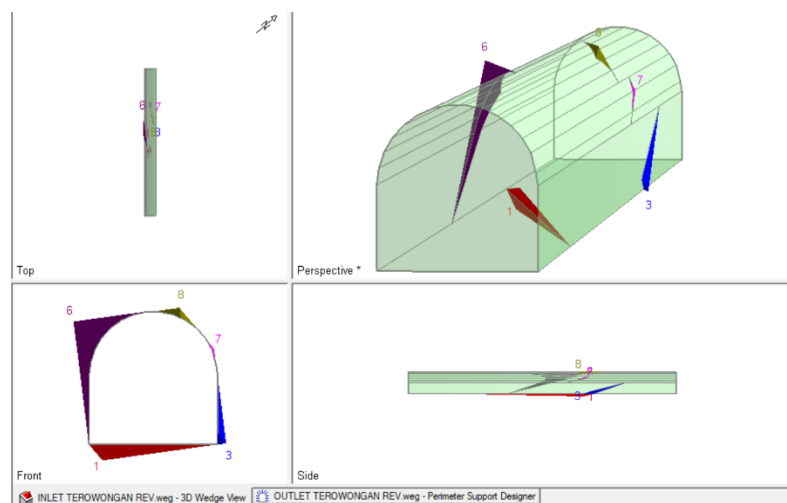
Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
733	15	15



**Gambar 15.** Geometri Terowongan

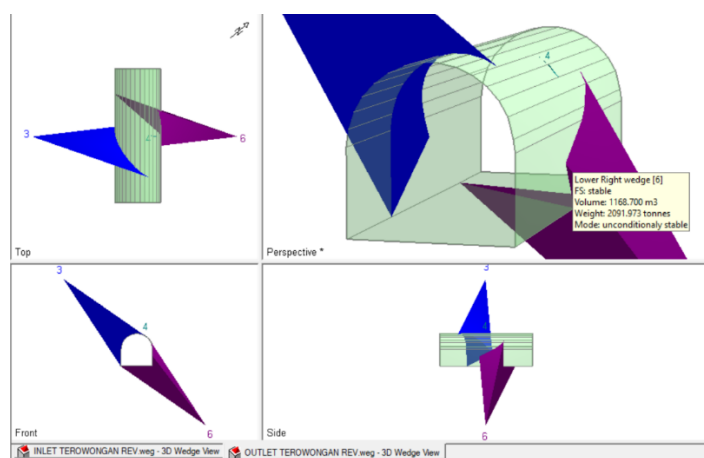
### 1.3.2 Hasil Analisis Terowongan

Setelah hasil proyeksi stereografis diperoleh maka selanjutnya dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak untuk mengetahui potensi baji yang terbentuk pada bukaan terowongan dan mengetahui nilai faktor keamanan lubang bukaan terowongan sehingga dapat ditentukan metode penanganan yang tepat agar diperoleh nilai faktor keamanan yang layak pada lubang bukaan terowongan. analisis terowongan ini menggunakan model Barton-Bandis, berikut adalah hasil dari analisis potensi baji baji yang terbentuk dengan menggunakan perangkat lunak tersebut.



**Gambar 17.** Hasil Analisis Potensi Baji Yang Terbentuk Pada *Inlet* Terowongan

Dari hasil analisis pada gambar 17 dapat dilihat ada beberapa potensi baji yang terbentuk pada *inlet* terowongan. Hampir seluruh dari lubang bukaan memiliki potensi baji yang terbentuk mulai dari bagian atas terowongan, kedua sisi terowongan dan juga pada bagian bawah terowongan. Pada masing masing baji yang terbentuk memiliki diwakili oleh warna yang berbeda dengan nilai faktor keamanan yang berbeda pula. Pada bagian lantai terowongan yang diwakili dengan warna merah memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,063. Pada bagian kanan terowongan yang diwakili dengan warna biru memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,73. Pada bagian sisi kiri yang diwakili dengan warna ungu memiliki nilai faktor keamanan stabil. Pada bagian atap terowongan yang diwakili dengan warna hijau memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,00. Pada sisi kanan atas diwakili warna merah muda memiliki nilai faktor keamanan 0,00.



**Gambar 18.** Hasil Analisis Potensi Baji Yang Terbentuk Pada *Outlet* Terowongan

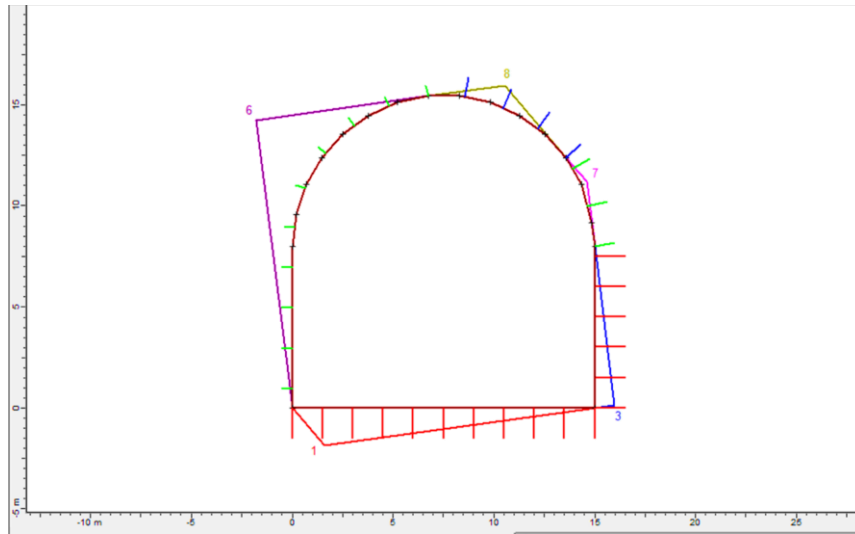
Hasil analisis pada gambar 4.8 juga terdapat beberapa potensi baji yang terbentuk pada *outlet* terowongan yaitu pada sisi kiri atas terowongan, kanan atas, dan pada bagian kanan bawah terowongan yang masing – masing memiliki nilai faktor keamanan yang berbeda. Pada kiri atas terowongan yang diwakili oleh warna biru memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,43, sisi kanan bawah terowongan, sisi kanan atas diwakili nomor 3 memiliki FK 0,17, dan sisi kanan bawah yang diwakili oleh nomor 6 memiliki nilai faktor keamanan yang stabil .

Dalam penelitian ini faktor keamanan yang diperlukan untuk mencapai standar kategori yang aman berada pada nilai 2,00, sehingga bagian yang memiliki potensi baji dengan nilai faktor keamanan kurang dari standar yang diinginkan maka perlu mendapatkan perlakuan khusus sehingga dapat diperoleh nilai faktor keamanan yang diinginkan.

Untuk bisa mencapai faktor keamanan dengan kategori aman maka terowongan diperlukan support untuk menaikkan nilai faktor keamanannya. Beberapa cara yang sering dilakukan dalam penangan terowongan bisanya digunakan baut batuan.

#### 4.3.3 Penguatan Terowongan

##### 1. *Rockbolting Inlet* Terowongan



**Gambar 19.** Parameter Desain Penyanggaan *inlet* Terowongan

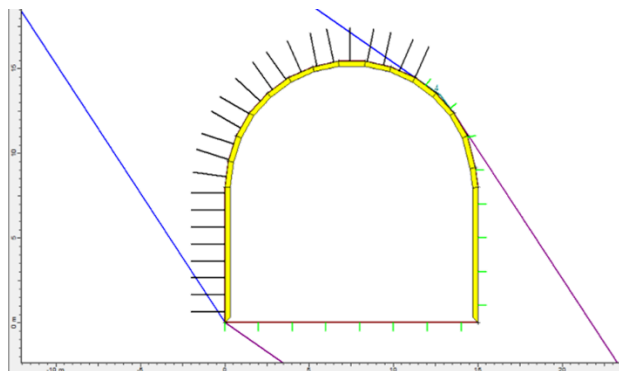
Dari hasil analisis pada gambar 4.9, *inlet* terowongan diberikan support berupa penambahan rock bolt untuk meningkatkan nilai faktor keamanan pada sisi terowongan yang memiliki potensi baji dengan nilai faktor keamanan dibawah 2,00. Setelah dilakukan penambahan *rockbolt* maka diperoleh nilai faktor keamanan pada sisi terowongan sebagai berikut.

**Tabel .8** Hasil Analisis Fk Terhadap Penambahan *Rockbolt* Pada Sisi *Inlet* Terowongan

No.	Lokasi Baji	Fk Sebelum Support	Fk Setelah Support	Keterangan
1	Sisi kiri terowongan	Stabil	Stabil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolts</i> mechanical anchor.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 0,5 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 2 m</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 5 ton.</li> </ul>
2	Sisi kanan bawah terowongan	1,73	2,09	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolts</i> mechanical anchor.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 1,5 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 1,5 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 1,5 m</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 15 ton.</li> </ul>
3	Sisi kanan atas terowongan	0,00	2,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolts</i> mechanical anchor.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 1 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 2 m</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 5 ton.</li> </ul>

4	Sisi atas terowongan	0,00	2,20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolt mechanical anchor</i>.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 1 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 1,5 m</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 10 ton.</li> </ul>
5	Sisi bawah terowongan	0,06	2,25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolt mechanical anchor</i>.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 1,5 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 1,5 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 1,5 m</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 15 ton.</li> </ul>

## 2. Rockbolting Outlet Terowongan



Gambar 20. Parameter Desain Penyanggaan *Outlet* Terowongan

Dari hasil analisis pada gambar 19, *outlet* terowongan dilakukan penyanggaan pada semua sisi-sisinya dikarenakan pada beberapa sisi terowongan diperoleh FK yang tidak sesuai dengan apa yang diinginkan. Setelah dilakukan penambahan *rockbolt* dan *shotcrete*, maka diperoleh nilai faktor keamanan yang diperlukan pada sisi-sisi terowongan sebagai berikut.

**Tabel .9** Hasil Analisis FK Terhadap Penambahan *Rockbolt* dan *Shotcrete* Pada Sisi *Outlet* Terowongan

No.	Lokasi Baji	Fk Sebelum Support	Fk Setelah Support	Keterangan
-----	-------------	--------------------	--------------------	------------

1	Sisi kiri atas terowongan	1,43	2,04	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolt mechanical anchor</i>.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 1 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 1 m</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 20 ton.</li> <li>• Ketebalan <i>Shotcrete</i> 10 cm</li> </ul>
2	Sisi kanan atas	0,17	28	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolt mechanical anchor</i>.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 0,5 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 5 ton.</li> <li>• Ketebalan <i>Shotcrete</i> 10 cm.</li> </ul>
3	Sisi kanan bawah terowongan	Stabil	Stabil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe <i>rockbolt mechanical anchor</i>.</li> <li>• Panjang <i>rockbolt</i> 0,5 m.</li> <li>• Jarak vertikal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Jarak horizontal antar <i>rockbolt</i> 2 m.</li> <li>• Kapasitas <i>rockbolt</i> 5 ton.</li> <li>• Ketebalan <i>Shotcrete</i> 10 cm.</li> </ul>

Dari hasil kedua analisis pada *inlet* dan *outlet* terowongan dapat diketahui bahwa dalam setiap baji yang terbentuk pada sisi terowongan memiliki nilai faktor keamanan yang berbeda antara satu sama lain sehingga penanganan untuk masing-masing baji yang terbentuk juga akan berbeda-beda. Semakin kecil nilai faktor keamanan yang terbentuk pada baji yang terbentuk maka diperlukan penanganan yang lebih baik dalam mengatasi hal tersebut untuk meningkatkan nilai faktor keamanannya. Penanganan yang tepat selain untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang aman tentunya juga dapat dapat menghemat biaya dalam pembangunan terowongan itu sendiri karena seperti yang diketahui bahwa pembangunan terowongan diperlukan biaya yang sangat besar sebelum dapat dipergunakan kedepannya.

### KESIMPULAN

Berdasarkan dari pembahasan pada bab sebelumnya, penulis menyimpulkan bahwa :

1. Dalam penelitian ini singkapan yang menjadi fokus penelitian berada pada sekitar lokasi inlet dan outlet. Dari hasil pryoeksi streografis yang telah dilakukan pada singkapan 1 dan singkapan 2 memiliki potensi terbentuknya ambrukan baji. Karena dari kedua singkapan masing-masing-memiliki dua atau lebih bidang lemah yang saling berpotongan satu sama lain membentuk suatu kenampakan baji diantara garis yang terbentuk. Singkapan 1 terdapat 5 joint set yang terbentuk, pada singkapan 2 terdapat 3 joint set yang terbentuk.
2. Nilai kualitas batuan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode RQD. Berdasarkan nilai RQD yang diperoleh, nilai RQD pada singkapan 1 yaitu 97,63% dan nilai RQD pada singkapan 2 99,83%. Hasil dari kedua nilai RQD pada masing-masing singkapan nilai kualitas massa batuan termasuk kedalam kategori sangat baik karena berada pada rank 90-100%.
3. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak, kedua singkapan yang akan dijadikan bukaan terowongan memiliki potensi baji yang terbentuk pada tiap sisi-sisi geometri terowongan. Pada



- bukaan inlet terowongan baji yang terbentuk ada pada sisi kiri terowongan dengan FK yang stabil ; sisi kanan bawah terowongan dengan FK 1,73; sisi kanan atas terowongan dengan FK 0,00; sisi atas terowongan dengan FK 0,00 ; dan sisi bawah terowongan dengan FK 1,73. Pada bukaan outlet terowongan baji yang terbentuk ada pada sisi kiri atas terowongan dengan FK 1,43 ; sisi kanan atas dengan FK 0,17 ; pada sisi kanan bawah terowongan dengan FK stabil.
4. Penentuan pemilihan rockbolt dalam hasil analisis menggunakan perangkat lunak diperoleh berdasarkan nilai minimum yaitu FK 2 atau lebih yang diperoleh. Hal ini dilakukan berdasarkan pertimbangan efisiensi penggunaan rockbolt yang tepat. Dari hasil pada bab sebelumnya kedua bukaan rencana bukaan terowongan dilakukan penguatan penyanggan pada semua sisi geometri terowongan. Rockbolt yang digunakan dalam penelitian ini berjenis mechanical anchor dengan spesifikasi yang variatif dengan menyesuaikan hasil FK yang sesuai. Pada inlet terowongan spesifikasi rockbolt yang digunakan pada sisi bawah (panjang 1,5 m, jarak vertikal 1,5 m, jarak horizontal 1,5 m, kapasitas rockbolt 15 ton, FK 2,25), sisi kanan bawah (panjang 1,5 m, jarak vertikal 1,5 m, jarak horizontal 1,5 m, kapasitas rockbolt 15 ton, FK 2,09), kanan atas (panjang 1 m, jarak vertikal 2 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 5 ton, FK 2,00), sisi atas (panjang 1 m, jarak vertikal 1,5 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 10 ton, FK 2,20), dan sisi kiri (panjang 0,5 m, jarak vertikal 2 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 5 ton, FK stabil). Untuk outlet terowongan spesifikasi rockbolt yang digunakan pada sisi kiri (panjang 2 m, jarak vertikal 1 m, jarak horizontal 1 m, kapasitas rockbolt 20 ton dengan penambahan shotcrete 10 cm, FK 2,05), sisi kanan atas (shotcrete 10 m, FK 23), sisi kanan dan bawah (panjang 0,5 m, jarak vertikal 2 m, jarak horizontal 2 m, kapasitas rockbolt 5 ton, FK stabil)..

#### **BIBLIOGRAFI**

- Adeliana, Thresna, Asan Pasintik, dan Risanto Panjaitan. 2016. Analisis Kinematik untuk Mengetahui Potensi Ambrukan Baji di Blok Cikoneng PT. CSD Kabupaten Pandeglang Propinsi Banten. Jurnal Prosiding Nasional XI “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2016 STTNAS : Yogyakarta.
- Aldiamar, Fahmi, 2012. Penilaian Risiko Pembangunan Terowongan Jalan. PUSJATAN : Jakarta. ISBN : 978-602-8256-54-4
- Aldiamar, Fahmi, dan Putra. (2013). Kajian Perilaku deformasi akibat penggalian terowongan. Bandung. ISBN : 978-602-72792-7-8
- Aprilia, Faridha, I Gede Budi Irawa, Yan Adriansyah, dan Dedi Maryadi. 2014. Analisis Tipe Longsor Dan Kestabilan Lereng Berdasarkan Orientasi Struktur Geologi Di Dinding Utara Tambang Batu Hijau, Sumbawa Barat. Seminar Nasional Kebumihan Ke-7 dan Simposium Pendidikan Geologi Nasional. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 30-31 Oktober 2014.
- Arif, Irwandy. 2015. Geoteknik Tambang. Gramedia : Jakarta.
- Balfas, M.D. Geologi Untuk Pertambangan Umum. Graha Ilmu : Bandung. ISBN: 978-602-262-395-3
- Banunaek, Frengky Seki, Barliawan Dwi Nagara, Ambar Sutani, dan Dwi Ningrum. 2017. Analisis Potensi Baji pada Terowongan Tambang dengan Metode Kinematika di PT. CSD Blok Cibitung Provinsi Banten. Jurnal Prosiding Nasional XI “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017 STTNAS : Yogyakarta.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley: New York. Hal: 272.
- BSN, 2017. PERSYARATAN PERANCANGAN GEOTEKNIK SNI 8460:2017: Jakarta.
- Faisal, Achmad, 2022. Studi Pendahuluan Kestabilan Batuan Pada Rencana

Pembangunan Terowongan Dengan Elemen Hingga Dan (Q – System) Di Gunung Manggah, Selili, Kota Samarinda , Kalimantan Timur. Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH) Volume 2, Number 9, September 2022 p-ISSN 2774-5147 : e-ISSN 2774-5155.

Muhammad, Fadhlán Azka, Singgih Irianto, Mohammad Syaiful. 2018. Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Kinematika Pada Tambang Sandy Clay Terbuka Hambalang PT. Indocement Tunggal Prakarsa TBK Kecamatan Citeureup Kabupaten Bogor Jawa Barat. Jurnal: Program Studi Teknik Geologi FT. UNPAK.

Pasha, Stefanus Rahadian, Bambang Sunarwan, dan Mohammad Syaiful. 2018. Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Kinematik pada Tambang Terbuka Limestone Narogong PT. Holcim Indonesia TBK Kecamatan Cileungsi, Kabupaten Bogor Barat. Jurnal : Program Studi Teknik Geologi FT. UNPAK.

Rai, Made Astawa, Suseno Kramadibrata, dan Ridho Kresna Wattimena. 2014. Mekanika Batuan. ITB Press : Bandung. ISBN : 978-602-9056-62-4

Saptono, Singgih. 2019. Sistem Klasifikasi Massa Batuan Untuk Tambang Terbuka. LPPM UPN Veteran Yogyakarta. ISBN : 978-623-7594-11-6..



**This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.**