

## **Analisis Kestabilan Terowongan Akibat Getaran Peledakan pada Konstruksi Development Terowongan #4 Kereta Cepat Indonesia China (KCIC) di Desa Sukajaya dan Desa Malangnengah, Kecamatan Sukatani, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat**

**Muhammad Izzat Ibrahim\*, Indra Karna Wijaksana**

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

\*[izzatibrahim41@gmail.com](mailto:izzatibrahim41@gmail.com), [indrakwijaksana@gmail.com](mailto:indrakwijaksana@gmail.com)

**Abstract.** The activities of the tunnel excavation conducted by PT. Fast train Indonesia China to meet the target length of the tunnel is by the method of blasting. The energy generated from the activities of blasting at the time of development will affect the stability of the tunnel. The purpose of this study is to determine the stability of the tunnel in conditions without support, with support, and the presence of blasting vibration factors. The method used in this research is by using the numerical methods by using the data the results of the investigation in the field, which is then carried out numerical modeling in two dimensions with the software Phase 2 using the finite element method (Finite Element Method). so that it will produce the value of the Major Stress ( $\sigma_1$ ), Minor Stress ( $\sigma_3$ ), Shear Strain, and the Total Displacement. The results of numerical modeling with the conditions prior to buffering at the tunnel Inlet was included into the category of stable, while at the tunnel Outlet, there are still the value of the safety factor low on the wall so it is still included into the category of unstable. When done buffering an increase in the value of the Safety Factor so that the tunnel in stable conditions.

**Keywords:** Ground Vibration, Numerical modeling, Tunnel #4 KCIC, Safety Factor, Shear Strain and Vertical Displacement.

**Abstrak.** Kegiatan penggalian terowongan yang dilakukan oleh PT. Kereta Cepat Indonesia China untuk memenuhi target panjang terowongan (Tunnel) yaitu dengan metode peledakan. Energi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan pada saat development akan mempengaruhi kestabilan terowongan. Sehingga penting dalam menjaga kestabilan terowongan. Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui kestabilan terowongan pada kondisi tanpa penyanggaan, dengan penyanggaan, dan adanya faktor getaran peledakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode numerik dengan menggunakan data hasil penyelidikan di lapangan, yang kemudian dilakukan pemodelan secara numerik dalam dua dimensi dengan perangkat lunak Phase 2 menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method). Sehingga akan menghasilkan nilai Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ), Tegangan Minor ( $\sigma_3$ ) dan Shear Strain dan Total Displacement. Hasil pemodelan numerik dengan kondisi sebelum dilakukannya penyanggaan pada terowongan Inlet masih termasuk ke dalam kategori stabil, sedangkan pada terowongan Outlet masih terdapat nilai faktor keamanan yang rendah pada bagian dinding sehingga masih termasuk ke dalam kategori tidak stabil. Ketika dilakukan penyanggaan adanya peningkatan nilai Faktor Keamanan sehingga terowongan dalam kondisi yang stabil

**Kata Kunci:** Getaran Tanah, Pemodelan Numeric, Terowongan #4 KCIC, Faktor Keamanan, Shear Strain dan Vertical Displacement.

## A. Pendahuluan

Kegiatan penggalian terowongan yang dilakukan oleh PT. Kereta Cepat Indonesia China untuk memenuhi target panjang terowongan (*tunnel*) yaitu dengan metode peledakan. Kegiatan peledakan merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan untuk membongkar batuan yang keras dari batuan induknya sehingga menjadi fragmen-fragmen yang berukuran lebih kecil sehingga memudahkan dalam proses penggalian.

Kegiatan peledakan untuk penggalian terowongan tersebut menghasilkan gelombang getar dari bahan peledak untuk memecahkan batuan. Selain itu getaran yang dihasilkan akan merambat pada dinding terowongan. Getaran yang dihasilkan dari ledakan akan berpotensi mengganggu terhadap kestabilan terowongan.

Kegagalan dalam menjaga kestabilan terowongan ini akan mengakibatkan retak atau ambruknya dinding terowongan, sehingga penting dilakukan analisis terhadap kestabilan terowongan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, berikut merupakan tujuan dari penelitian ini :

1. Mengetahui kestabilan terowongan tanpa disangga ;
2. Mengetahui kestabilan terowongan setelah disangga;
3. Mengetahui kestabilan terowongan setelah disangga dan adanya faktor getaran peledakan.

## B. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode numerik dengan menggunakan data hasil penyelidikan di lapangan, yang kemudian dilakukan pemodelan secara numerik dalam dua dimensi dengan perangkat lunak *Phase 2* menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Sehingga akan menghasilkan nilai Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ), Tegangan Minor ( $\sigma_3$ ), *Shear Strain* dan *Total Displacement*.

Teknik pengambilan data yang digunakan yaitu dengan cara pengambilan data di lapangan, pengolahan data, yang kemudian akan menghasilkan analisis dari kegiatan pengolahan data tersebut. Data yang didapatkan diantaranya :

### Teknik Pengambilan Data

Terdapat dua jenis data dalam penelitian, diantaranya :

1. Data Primer  
Data primer merupakan data yang diapatkan dilapangan ataupun data yang belum di ekspos di internet ataupun jurnal.
2. Data Sekunder  
Data sekunder merupakan data yang sudah di ekspos dimana diperoleh melalui studi literatur berupa jurnal dan laporan terdahulu, studi peta dasar yaitu peta topografi, peta geologi, dan lain-lain.

### Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan informasi lebih dari data yang sudah didapatkan sebelumnya, melalui pengambilan data lapangan atau studi literatur.

### Teknik Analisis Data

Adapun kegiatan analisis data yang dilakukan dari hasil pengolahan data, sebagai berikut :

1. Menganalisis kestabilan terowongan tanpa penyanggaan dan dengan penyanggaan.
2. Menganalisis kestabilan terowongan dengan penyanggaan dan dengan getaran hasil kegiatan peledakan.

Untuk dapat menunjang pengolahan data, berikut merupakan dasar teori yang digunakan dalam penelitian ;

Getaran tanah (*Ground Vibration*) merupakan suatu gelombang yang bergerak di dalam tanah yang merupakan sumber dari energi baik yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia seperti adanya aktivitas peledakan. *Ground Vibration* diasumsikan merupakan suatu waste energy yang dapat merusak dan menjadi isu terhadap lingkungan di sekitar tambang (Al'Faizah, 2020).

Nilai perkiraan getaran tanah yang dihasilkan oleh aktivitas peledakan dapat didapatkan dari hubungan hasil getaran tanah dengan parameter-parameter yang mempengaruhinya. Adapun parameter tersebut yaitu jarak dari lokasi peledakan dan jumlah bahan peledak yang meledak bersamaan (W). Hubungan tersebut dikonsepsikan dalam hubungan *Peak Particle Velocity (PPA) vs Scaled Distance (SD)* (Arif, 2016). Menurut Ambraseys and Hendron, 1968 besarnya *Scaled Distance* adalah :

$$SD = \frac{R}{Q^{1/3}}$$

Keterangan :

SD : *Scaled Distance* (kg/m)

R : jarak titik pengukuran (m)

Q : bahan peledak yang meledak secara bersamaan (kg)

Dari persamaan hubungan tersebut juga berlaku untuk hubungan antara *Peak Particle Acceleration (PPA)* dengan *Scaled Distance (SD)* (Arif, 2016) dengan persamaan :

$$PPA = k * (SD)^{-\alpha}$$

Keterangan :

PPA : *Peak Particle Acceleration* (g)

K : koefisien peluruhan getaran

$\alpha$  : konstanta kondisi massa batuan

SD : *Scaled distance*

Nilai k dan  $\alpha$  yang digunakan dalam persamaan di atas merupakan nilai yang diperoleh dengan menentukan terlebih dahulu parameter yang akan digunakan. Kedua parameter tersebut didapatkan dari hasil pengujian lapangan (Rizka, 2017).

### Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb

Kriteria keruntuhan Mohr Coulomb didasarkan pada hipotesis bahwa regangan geser dan tegangan normal yang bekerja pada permukaan rupture berperan penting pada proses keruntuhan batuan. Keruntuhan suatu batuan tergantung dari kohesi dan tegangan normal yang bekerja pada dinding keruntuhan tersebut, Faktor Keamanan (*Safety Factor*) dengan menggunakan kriteria Mohr-Coulomb menyatakan perbandingan keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut (Firaz, 2017). Adapun persamaan Faktor Keamanan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \theta + C \cdot \cos \theta}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}$$

Keterangan :

FK = Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

$\sigma_1$  = Tegangan Mayor (MPa)

$\sigma_3$  = Tegangan Minor (MPa)

C = Kohesi (MPa)

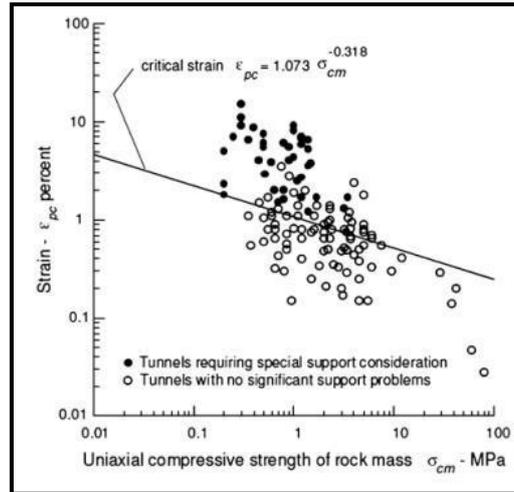
$\theta$  = Sudut Geser Dalam ( $^\circ$ )

Menurut *Bieniewski* (1989) nilai  $FK > 1$  menjelaskan terowongan dalam keadaan stabil,  $FK = 1$  menjelaskan keadaan yang kritis, dan  $FK < 1$  terowongan dalam keadaan tidak stabil (Yance, 2020).

### Shear Strain

*Strain* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada Gambar 1, dimana *strain* didapatkan dengan cara memplot nilai Kekuatan Massa Batuan pada grafik yang ada pada Gambar 3.5 (Sakurai, 1981).

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 terlihat bahwa ketika regangan terjadi disekitar terowongan lebih kecil dari dan lebih rendah, maka seluruh terowongan akan stabil sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan penggalian tanpa adanya masalah. Ketika regangan yang terjadi mencapai batas atas dari ketegangan kritis, maka berbagai macam kesulitan atau masalah akan terjadi (Sakurai, 1997).



Sumber : Sakurai, 1983

Gambar 1. Hubungan Regangan dan Kekuatan Massa Batuan

**Displacement**

Displacement merupakan nilai perpindahan batuan yang bertujuan untuk mengetahui kondisi dari kestabilan bukaan yang berkaitan langsung dengan perilaku massa batuan. Semakin besar nilai dari Displacement maka akan semakin tidak stabil (Firaz, 2017).

**C. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

**Hasil Pengamatan Getaran Peledakan**

Terdapat beberapa data yang dihasilkan dari kegiatan pengukuran getaran tanah dengan menggunakan *blastmate mini* yakni *instanatel minimize plus series III*, dari hasil pengukuran maka akan mendapatkan data *Peak Particle Acceleration* (PPA). Data hasil pengamatan getaran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Getaran

Lokasi	PPA (g)		Jarak (m)		Bahan Peledak (kg/delay)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Outlet	0,305	0,018	190	63	41,6	19,2
Inlet	0,875	0,020	227,6	52	43,4	21,6

**Scaled Distance**

Untuk mendapatkan nilai *Scaled Distance* dilakukan dengan pengolahan data dengan menggunakan persamaan (1). Adapun data hasil pengolahan dapat dilihat pada Tabel 2.

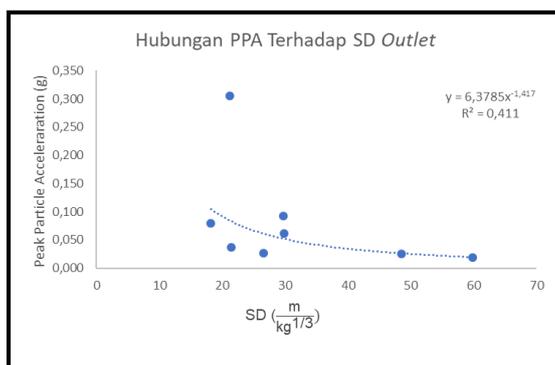
Tabel 2. Data Scaled Distance

Lokasi	Scaled Distance	
	Max	Min
Outlet	59,846	18,18205
Inlet	65,046	8,734

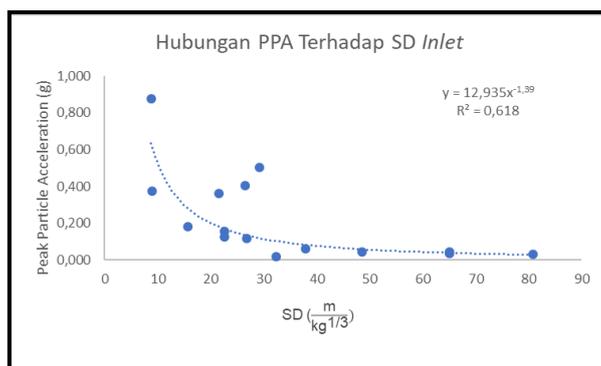
**Prediksi Getaran Peledakan**

Untuk mendapatkan hasil prediksi getaran peledakan (PPA) dilakukan pengolahan dengan menggunakan excel dengan *Trendline* yang digunakan yaitu regresi *power* yang merupakan dasar dalam pembuatan rumus menurut Ambraseys and Hendron, 1968 Persamaan (2). Didapatkan persamaan untuk *Outlet* yaitu  $PPA = 6,3785 \cdot (SD)^{-1,417}$  dan untuk *Inlet* yaitu  $PPA = 12,935 \cdot (SD)^{-1,39}$ . Adapun grafik hubungan antara *Scaled Distance* dengan PPV dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4

**Gambar 3.** Hubungan PPA dan SD Outlet



**Gambar 4.** Hubungan PPA dan SD Inlet



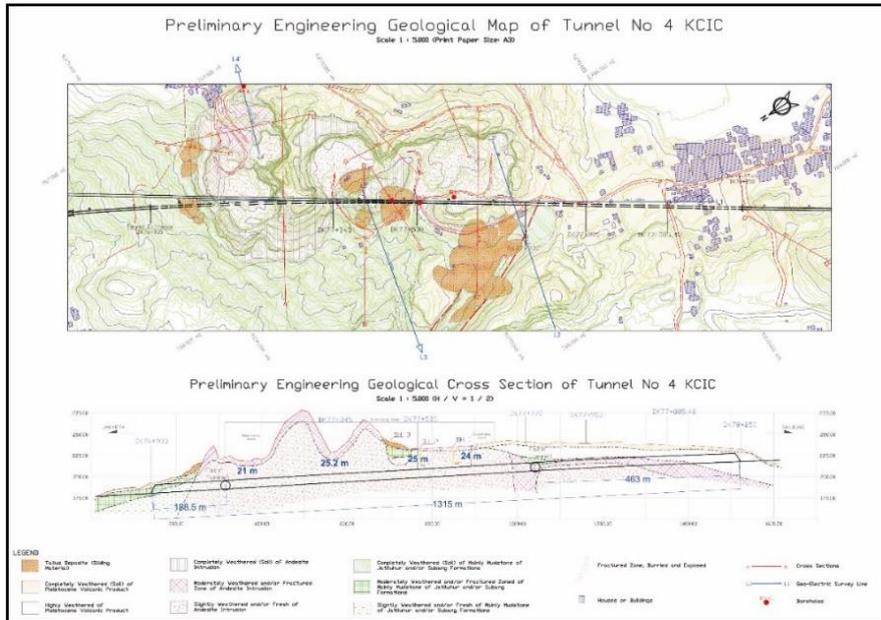
Dari persamaan yang dihasilkan dari hubungan antara *Scaled Distance* dengan *Peak Particle Acceleration*, didapatkan persamaan untuk *Outlet* yaitu  $PPA = 6,3785 \cdot (SD)^{-1,417}$  sedangkan untuk *Inlet* yaitu  $PPA = 12,935 \cdot (SD)^{-1,39}$ . Maka dapat menentukan nilai PPA prediksi pada jarak 8,1 meter telah ditentukan sesuai dengan titik pemodelan kestabilan terowongan. Data hasil prediksi dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** PPA Maksimal Hasil Prediksi

Model	PPA (g)
<i>Inlet</i>	4,052
<i>Outlet</i>	1,649

**Parameter Kekuatan Massa Batuan**

Pengamatan dilakukan di *Outlet* dan *Inlet* terowongan, dimana keduanya memiliki karakteristik batuan yang berbeda. Untuk *Inlet* memiliki batuan *Slightly Weathered Andesite* dan untuk *Outlet* yaitu *Moderately Weathered Andesit*, dimana keduanya memiliki tingkat pelapukan atau retakan yang berbeda-beda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Penampang Geologi

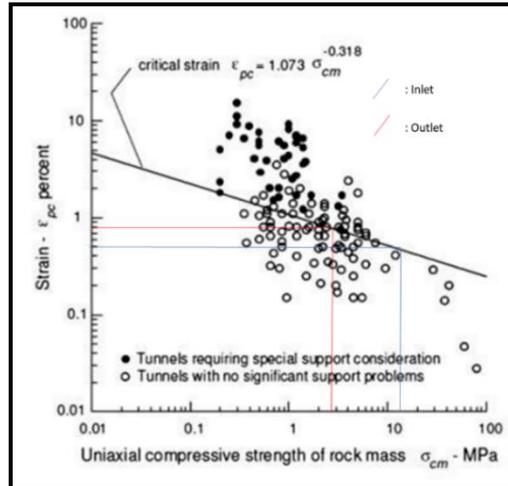
Dari data pengujian laboratorium perusahaan didapatkan data sifat fisik dan mekanik batuan, dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 2.** Parameter Kekuatan Massa Batuan

Parameter	<i>Slightly Weathered Andesite</i>	<i>Moderately Weathered Andesite</i>
$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	2600	2400
Modulus Deformasi (MPa)	2010	909
Modulus Poisson	0,29	0,29
Modulus (MPa)	1,6	0,4
Geser Dalam	40	27
Kekuatan uniaksial (MPa)	13	2,7
Kekuatan tarik (MPa)	1,3	0,27

**Hubungan Kekuatan Massa Batuan dan Regangan**

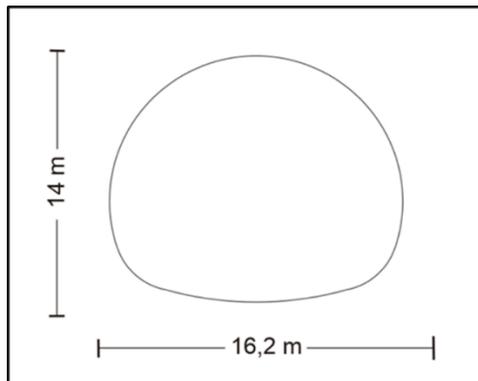
Berdasarkan Gambar 3. didapatkan nilai maksimal regangan dari hasil *ploting* nilai kekuatan massa batuan terhadap garis *Critical Strain*. Adapun untuk *inlet* didapatkan nilai regangan 0,5 % dengan nilai kekuatan massa batuan 13 MPa, dan regangan *Outlet* sebesar 0,8% dengan nilai kekuatan massa batuan 2,7 MPa. Dimana nilai regangan akan digunakan sebagai patokan nilai regangan maksimum dalam pemodelan terowongan.



Gambar 3. Hubungan Kekuatan Massa Batuan dan Regangan

**Pemodelan Numerik**

Terowongan memiliki geometri dengan panjang 16,2m dengan tinggi terowongan 14 m, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Geometri Terowongan

Adapun *input* parameter yang digunakan dalam pemodelan numerik dua dimensi dapat dilihat pada table berikut :

**Tabel 5. Define Material Properties**

Mode l	Unit Weight (MN/m <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio	Tensile Strength (MPa)	Fric. Angle (°)	Cohesion (Mpa)
Inlet	0,026	0,29	1,3	40	1,6
Outlet	0,024	0,29	0,27	27	0,4

**Tabel 6. Define Liner Properties**

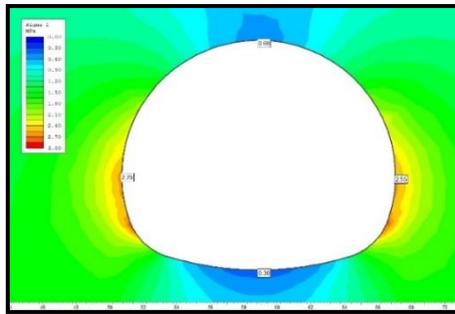
Type	Thick ness (m)	Young's Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Compressiv e Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Spac ing (m)	Section Depth (m)	Are a (m <sup>2</sup> )	Moment of Inertia (m <sup>4</sup> )
Shotcret e (k250)	0,2	20000	0,2	19	1,9	-	-	-	-

H Beam (150x29 ,8)	-	200000	0,25	345	345	0,9	0,157	0,00 379	1,72E-005
--------------------------	---	--------	------	-----	-----	-----	-------	-------------	-----------

**Tabel 7. Seismic Loading**

Model	PPA (g)
Inlet	4,052
Outlet	1,649

Pemodelan numerik digunakan dengan perangkat lunak *Phase2*, perangkat lunak ini digunakan untuk mendapatkan nilai Sigma 1, Sigma 3, *Shear Strain* dan *Total Displacement*. nilai Sigma 1, Sigma 3 kemudian dilakukan pengolahan dengan menggunakan persamaan (1) untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan. Adapun salah satu hasil pemodelan terowongan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Tegangan Mayor ( $\sigma_1$ ) Tanpa Penyangga *Inlet*

Pemodelan dilakukan dalam beberapa tampilan data, yang pertama penilaian terhadap lubang bukaan tanpa penyangga, yang kedua dengan menggunakan penyangga. Adapun hasil pemodelan terowongan dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

**Tabel 8. Nilai Tegangan Pada Terowongan *Inlet***

Kondisi Terowongan	Atap		Dinding kanan		Dinding Kiri		Invert	
	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)
Tanpa Penyangga	0,6	0,06	2,55	0,13	2,7	0,13	0,3	0
Penyangga	0,6	0,18	1,95	0,42	1,95	0,36	0,45	0,06
Penyangga + Getaran	6,05	1,5	2,2	0,25	1,65	-0,25	4,4	0,5

**Tabel 9. Nilai Tegangan Pada Terowongan *Outlet***

Kondisi Terowongan	Atap		Dinding kanan		Dinding Kiri		Invert	
	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)	$\sigma_3$ (Mpa)
Tanpa Penyangga	0,45	0	1,5	0,06	1,5	0,06	0,3	0

Penyangga	0,45	0,24	1,65	0,48	1,65	0,48	0,45	0,06
Penyangga + Getaran	2,4	0,6	2,2	0,45	1,6	0,15	1,6	0,3

Setelah didapatkan nilai tegangan kemudian dilakukan pengolahan dengan menggunakan persamaan (3) untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan. Adapun nilai Faktor Keamanan, Regangan Geser, dan Perpindahan Vertikal dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

**Tabel 10.** Nilai Hasil Pemodelan Terowongan *Inlet*

Kondisi Terowongan	Faktor Keamanan				Regangan Geser (%)				Perpindahan Vertikal (mm)			
	Atap	Dinding kanan	Dinding Kiri	Invert	Atap	Dinding kanan	Dinding Kiri	Invert	Atap	Dinding kanan	Dinding Kiri	Invert
Tanpa Penyangga	5,32	1,72	1,66	8,81	0,00032	0,00059	0,00063	0,00027	7,2	0,8	0,8	5,6
Penyangga	7,03	2,60	2,48	7,13	0,00028	0,00033	0,00028	0,00035	5,4	1,2	1,2	4,8
Penyangga + Getaran	1,61	2,06	1,76	1,44	0,00015	0,00075	0,00075	0,0015	12,5	7,5	5	7,5

Berdasarkan hasil pemodelan dan pengolahan data pada terowongan *Inlet* (Tabel 8) pada kondisi terowongan tanpa disangga didapatkan Faktor Keamanan 1,66 – 8,81 dimana menurut Bieniawski, 1989 termasuk ke dalam kategori stabil. Regangan Geser yang didapatkan sebesar 0,00027% - 0,00063% dimana nilai tersebut masih dibawah nilai regangan maksimal menurut Sakurai, 1983 yaitu 0,5 %. Dan nilai yang didapatkan dari perpindahan vertical yaitu sebesar 0,8 – 7,2 mm. Kemudian pada kondisi terowongan dengan penyanggaan adanya kenaikan nilai Faktor Keamanan menjadi 2,48-7,03 dengan Regangan Geser 0,00028% - 0,00035% dimana masih dibawah nilai maksimal yang diperbolehkan, dengan perpindahan vertical sebesar 1,2-5,4 mm. Pada kondisi terowongan setelah disangga dan ditambahkan faktor getaran peledakan, adanya penurunan nilai Faktor Keamanan menjadi 1,44 – 2,06 namun masih termasuk ke dalam kategori stabil, dengan regangan geser 0,00075 – 0,0015 yang masih dibawah nilai maksimalnya, dan nilai perpindahan vertical mengalami kenaikan dari kondisi sebelumnya yang tanpa disangga menjadi 5 – 12,5 mm.

**Tabel 11.** Nilai Hasil Pemodelan Terowongan *Outlet*

Kondisi Terowongan	Faktor Keamanan				Regangan Geser (%)				Perpindahan Vertikal (mm)			
	Atap	Dinding kanan	Dinding Kiri	Invert	Atap	Dinding kanan	Dinding Kiri	Invert	Atap	Dinding kanan	Dinding Kiri	Invert
Tanpa Penyangga	2,04	0,99	0,99	2,83	0,00006	0,00195	0,00225	0,0006	15,2	3,2	3,2	12
Penyangga	4,89	1,44	1,44	2,42	0,00052	0,00048	0,00052	0,00052	9,5	1,5	1,5	9
Penyangga + Getaran	1,15	1,09	1,04	1,21	0,00013	0,0013	0,0013	0,0013	12	2	2	4

Berdasarkan hasil pemodelan dan pengolahan data pada terowongan *Outlet* (Tabel 9) pada kondisi terowongan tanpa disangga didapatkan Faktor Keamanan 0,99 – 2,83 dimana masih terdapat nilai  $FK < 1$  pada dinding terowongan sehingga menurut Bieniawski, 1989 nilai  $FK < 1$  terowongan dalam kondisi tidak stabil. Regangan Geser yang didapatkan sebesar 0,0006% - 0,00225% dimana nilai tersebut masih dibawah nilai regangan maksimal *Outlet* menurut Sakurai, 1983 yaitu 0,8 %. Dan nilai yang didapatkan dari perpindahan vertical yaitu sebesar 3,2 – 12 mm. Kemudian pada kondisi terowongan dengan penyanggaan adanya kenaikan nilai Faktor Keamanan menjadi 1,44-4,89 dimana nilai tersebut termasuk ke dalam kategori stabil dengan Regangan Geser 0,00048% - 0,00052% dimana masih dibawah nilai maksimal yang diperbolehkan, dengan perpindahan vertical sebesar 1,5-9,5 mm. Pada kondisi terowongan setelah disangga dan ditambahkan faktor getaran peledakan, adanya penurunan nilai Faktor Keamanan menjadi 1,04 – 1,21 namun masih termasuk ke dalam kategori stabil, dengan regangan geser 0,0013% yang masih dibawah nilai maksimalnya, dan nilai perpindahan vertical mengalami kenaikan dari kondisi sebelumnya yang tanpa disangga menjadi 2 – 12, mm.

#### D. Kesimpulan

1. Kondisi terowongan *Inlet* sebelum disangga berdasarkan nilai Faktor Keamanan, Regangan Geser dan Perpindahan Vertikal masih dalam keadaan stabil. Sedangkan pada terowongan *Outlet* pada kondisi sebelum disangga terdapat bagian yang masih belum stabil yaitu pada dinding kiri dan dinding kanan terowongan.
2. Kondisi terowongan setelah dilakukan penyanggaan baik itu terowongan *Inlet* ataupun *Outlet* adanya peningkatan nilai Faktor Keamanan dan penurunan nilai Regangan Geser serta Perpindahan Vertikal, sehingga kondisi terowongan dikategorikan stabil.
3. Kondisi terowongan *Inlet* maupun *Outlet* ketika adanya faktor getaran peledakan adanya penurunan nilai Faktor Keamanan dari kondisi hanya dengan penyanggaan, namun masih termasuk ke dalam kategori stabil.

#### Daftar Pustaka

- [1] Arif, I, 2016, “Geoteknik Tambang” Jakarta: Gramedia Pustaka Utama,
- [2] Firaz, M, F., Lewier, S, E., Killo, Y, K, L, And Andrie, Y, (2017) “Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga” Retii, 00, Available At: //Journal,Itny,Ac,Id/Index,Php/Retii/Article/View/295 (Accessed: 7may2021),
- [3] Kouroussis Et Al 2015, “*The Effect Of Railway Local Irregularities On Ground Vibration*” *Transport And Environment* 00 (2015) 1–17
- [4] Ma'rief, A, Al'faizah, 2020, “Analisis *Ground Vibration* Akibat Ledakan Pada Tambang Nikel Di Pt, Vale Indonesia”, Tbk” *Jurnal Geoelebes* Vol, 4 No, 2, Oktober 2020, 129 – 133
- [5] Pribadi, Rifki Sholeh, 2015, “Kajian Geologi Teknik Pada Rencana Pembuatan *Tunnel* Tambang Bawah Tanah” *Jurnal Geologi Pertambangan*, Volume 1 (No, 17) Februari 2015
- [6] Rahardjo, Paulus P (2004), “Teknik Terowongan, Bandung” Geotechnical Engineering Center, Parahyangan Catholic University,
- [7] Rizka, Et. Al 2017 “Analisis Pengaruh Getaran Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara Pit Roto Selatan Site Kideco, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur” *Promine Journal*, June 2017, Vol, 5 (1), Page 1 – 9
- [8] Sakurai, S. 1981. “*Direct strain evaluation technique in construction of underground openings*”. Proc. 22nd US Syrup. Rock Mech., Cambridge, Massachusetts, M.I.T., 278-282.
- [9] Sakurai, S. (1997). “*Lessons learned from field measurements in tunnelling. Tunnelling and Underground Space Technology*”, 12(4), 453–460. doi:10.1016/s0886-7798(98)00004-2
- [10] Umbara, Ridwan. 2019. “Evaluasi Numerik Metode Penggalian Terowongan Cisumdawu”. *Jurnal Jalan-Jembatan*, Volume 36 No. 1 Januari-Juni 2019: 54-66

- [11] Yance, Dian Febrian, 2020, “Analisis Kestabilan Terowongan Menggunakan Metode *Rock Tunnelling Quality Index* (Q-System) Ditambang Batubara Pt. Allied Indo Coal Jaya Kota Sawahlunto” Padang.