

# Pergerakan Dinding Terowongan pada Variasi Geometri Terowongan yang tidak disangga dengan Analisa Axisymmetric Skala Laboratorium

Bayurohman Pangacella Putra<sup>1</sup>

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : bayurohman@itny.ac.id

## ABSTRAK

Pergerakan dinding terowongan, khususnya ke arah dalam terowongan, dapat menyebabkan potensi bahaya yang lebih besar lagi seperti *squeezing* dan longsoran dinding terowongan. Diperlukan analisis untuk melihat pengaruh variasi diameter dan panjang dinding terowongan yang tidak disangga terhadap besar pergerakan. Penelitian dilakukan dengan analisis *axisymmetric* karena mengasumsikan terowongan sederhana berbentuk lingkaran dalam kondisi batuan yang homogen, isotrop, dan hanya ingin melihat pergerakan dinding ke arah dalam terowongan. Penelitian dilakukan dengan memodelkan terowongan diameter ( $D$ ) berbeda, yaitu 5 m, 8 m, dan 10 m dalam model yang terpisah yang akan mengalami perubahan panjang terowongan tidak disangga ( $L$ ) seiring penggalian terjadi. Pergerakan dievaluasi pada  $D/L$  yang sama di ketiga model dengan tujuan didapatkan nilai  $D/L$  yang berhenti memberikan nilai perubahan pergerakan. Hasil analisis menyatakan bahwa dengan nilai toleransi di bawah 5%, pada  $D/L = 1/3$ , dinding terowongan berhenti mengalami pergerakan ke arah lebih dalam. Sekitar 50% dari nilai pergerakan tertinggi sudah dicapai batuan pada  $D/L = 1$ . Hubungan antara persentasi pergerakan dari pergerakan maksimal ( $y$ ) terhadap nilai  $D/L$  adalah  $y = 1,49e^{-1,08 D/L}$ .

Kata kunci: axisymmetric, diameter terowongan, pergerakan terowongan

## ABSTRACT

*Inward tunnel deformation can cause safety risk, such as rock squeezing and tunnel wall and roof failure. Analysis of influence of tunnel diameter and length ratio is needed to be carried out. Analysis is carried out by using Axisymmetric assuming the tunnel profile is circular and excavated in a homogen and isotrop rock mass to determine the tunnel inward total displacement. Three tunnels with different diameters, 5 m, 8 m, and 10m, are modeled separately. Total displacement is evaluated on the same  $D/L$  among these models, looking for a  $D/L$  ratio that gives no change of displacement compared to previous excavation stage. The result shows that  $D/L = 1/3$  on the three models gives negligible inward tunnel displacement, with 5% tolerance of approximation error. About 50% value from the maximal displacement are reached at  $D/L = 1$ . Percentage value from the maximal displacement ( $y$ ) can be related to  $D/L$  by equation  $y = 1,49e^{-1,08 D/L}$ .*

*Keyword : axisymmetric, tunnel diameter, tunnel deformation*

## 1. PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan dengan sistem penambangan bawah tanah akan berhadapan dengan masalah pergerakan dinding terowongan. Padahal, bentuk penampang terowongan harus dipertahankan untuk memastikan kelancaran kegiatan pertambangan. Pergerakan dinding terowongan, khususnya ke arah dalam terowongan, dapat menyebabkan potensi bahaya yang lebih besar lagi seperti *squeezing* dan longsoran dinding terowongan [1]. Besar pergerakan dinding ini diakibatkan oleh batuan pembentuk dinding terowongan yang tidak disangga. Pergerakan dinding terowongan yang tidak disangga secara berangsur-angsur semakin besar semakin jauh dari muka terowongan dan mencapai nilai maksimalnya pada jarak sekitar 1 hingga 1,5 kali diameter terowongan [2]. Semakin dalam suatu terowongan dan semakin besar diameter terowongan, maka ketidakstabilan terowongan menjadi ancaman yang sangat besar [3]. Diperlukan analisis mengenai besarnya pergerakan dinding terowongan pada beberapa titik pengamatan. Titik-titik pengamatan ini diletakkan pada koordinat yang sama pada beberapa model dengan panjang dan diameter terowongan berbeda. Akan dilihat pengaruh variasi panjang dan diameter area dinding terowongan yang tidak disangga terhadap besar pergerakan.

## 2. METODE PENELITIAN

Analisis dilakukan dengan menentukan sebuah titik pantau. Pada titik ini dilihat nilai pergerakan dinding terowongan. Pergerakan dilihat pada beberapa tahap pengamatan. Pada setiap kenaikan tahap, batuan

dinding terowongan digali menjauh dari titik pengamatan. Penggalan ini dibiarkan tanpa penyanggaan, sehingga jarak atap dan dinding terowongan yang tidak disangga semakin besar pada setiap kenaikan tahap penggalan.

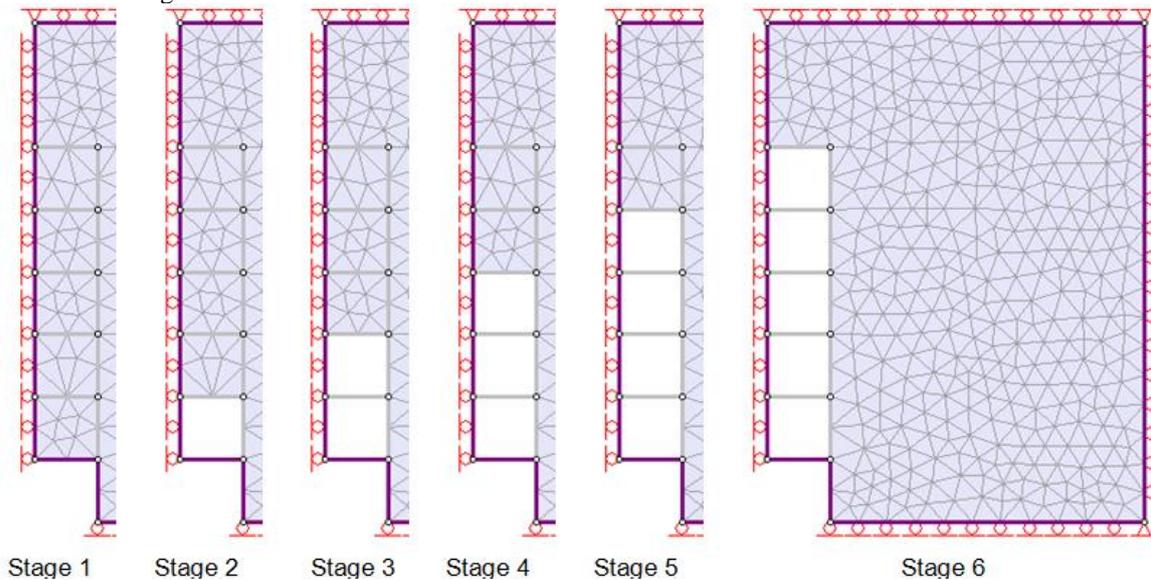
Penelitian dilakukan pada tiga diameter terowongan berbeda, yaitu 5 m, 8 m, dan 10 m dalam model yang terpisah. Pengaruh panjang bukaan terowongan yang tidak disangga terhadap pergerakan dinding terowongan akan tergambarkan lebih baik jika dibandingkan dengan diameter awal bukaan terowongan tersebut. Oleh karena itu, pergerakan terowongan akan dievaluasi pada nilai perbandingan antara diameter terowongan dengan panjang bukaan terowongan ( $D/L$ ) yang digali pada ketiga model berbeda tersebut. Contoh pemodelan terowongan dapat dilihat pada Gambar 1.

Perbandingan antara diameter terowongan dengan panjang terowongan tidak disangga juga dapat membuat gambaran yang bersifat lebih universal. Hubungan yang dihasilkan dari penelitian ini dapat digunakan pada terowongan yang memiliki diameter berbeda dari yang dimodelkan di penelitian ini, selama nilai  $D/L$  sama.

Suatu tahapan didefinisikan sebagai suatu penambahan panjang dinding terowongan yang tidak disangga. Penambahan panjang ini bergantung pada dimensi terowongan. Pada tahap pertama, terowongan digali sepanjang 0,5 kali diameter ( $D$ ) terowongan. Pada setiap tahap, penggalan terowongan bertambah 0,5  $D$ . Sehingga, pada tahap keenam, penggalan sudah mencapai 3 kali diameter terowongan. Dengan bertambahnya panjang terowongan tidak disangga, maka setiap tahap akan memiliki nilai perbandingan diameter dan panjang terowongan ( $D/L$ ) yang berbeda. Nilai  $D/L$  pada tiap tahap dapat dilihat pada Tabel 1. Data sifat fisik dan mekanik massa batuan di sekitar *decline* Cikoneng dapat dilihat pada Tabel 2.

Pendekatan-pendekatan yang digunakan dalam analisis hubungan antarparameter geoteknik batuan di sekitar tambang aspal antara lain:

1. Analisis menggunakan pendekatan *axisymmetric* dimana model hanya diambarkan setengah saja dan setengah model yang tidak digambarkan memiliki karakteristik yang tercermin dari model tergambar. Sumbu simetris paralel dengan arah terowongan dan letaknya berhimpitan dengan sumbu tengah terowongan.



Gambar 1 Pemodelan terowongan dari stage 1 hingga stage 6

Tabel 1 Nilai dimensi dan  $D/L$  tiap tahap penggalan

Stage (Tahap)	L (m)			$D/L$
	$D = 5$ m	$D = 8$ m	$D = 10$ m	
1	2.5	4	5	2
2	5	8	10	1
3	7.5	12	15	2/3
4	10	16	20	1/2
5	12.5	20	25	1/2,5
6	15	24	30	1/3

Tabel 2 Karakteristik massa batuan dalam pemodelan [4] - [5]

Parameter	Karakteristik
Beban awal	field stress & body force
Berat jenis	0,0271 MN/m <sup>3</sup>
Jenis elastisitas	isotropic
Modulus Young	985,6 MPa
Poisson's ratio	0,14
Kriteria runtuh	Hoek-Brown
Material type	Plastis
Kuat tekan	51,07 MPa
<i>mb</i>	0,374
<i>s</i>	4,54e-005
<i>Residual mb</i>	0,187
<i>Residual s</i>	2,27e-005

2. Terowongan berbetuk lingkaran.
3. Batuan bersifat homogen dan isotrop
4. Pada kenaikan tahap, penggalian terowongan tidak ditopang dengan penyanggaan.

Pergerakan ke arah dalam terowongan tidak hanya terjadi pada arah tegak lurus dinding terowongan. Pergerakan bisa juga terjadi searah dengan penggalian terowongan. Oleh karena itu, nilai yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah nilai total displacement, yaitu nilai pergerakan hasil penjumlahan vektor pergerakan pada arah searah penggalian terowongan dan tegak lurus terhadapnya.

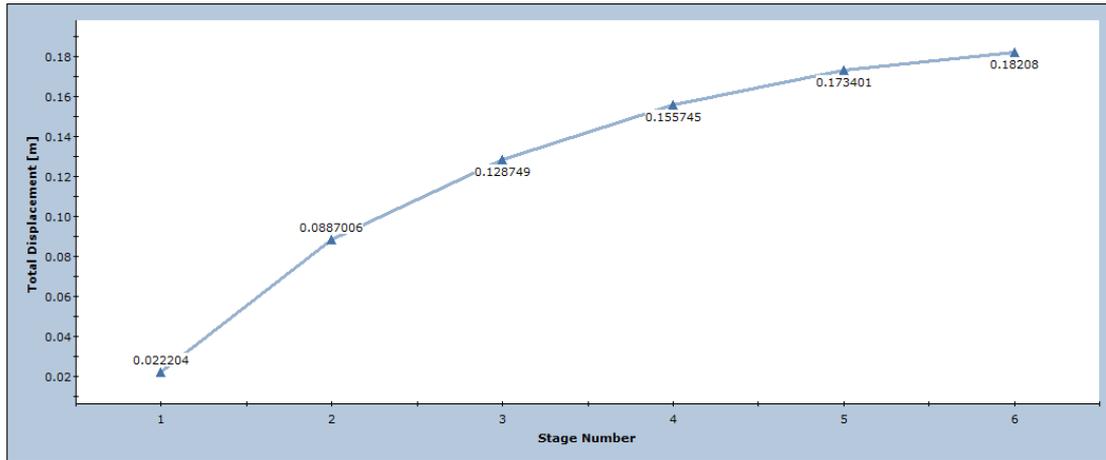
Nilai pergerakan total dipantau pada satu titik di bagian terowongan yang dibuka pada tahap 1. Nilai pergerakan total pada titik ini akan dilihat perubahannya di setiap perubahan tahap penggalian. Mengingat batuan pada muka terowongan bertindak sebagai penyangga, maka pada kenaikan tahap, nilai pergerakan pada titik ini diharapkan semakin membesar. Semakin menjauh, pengaruh menjauhnya muka terowongan akan semakin kecil, sehingga penambahan besar pergerakan akan menurun. Akan dicari nilai D/L yang berhenti memberikan nilai perubahan pergerakan sebagai penanda jarak terowongan tidak disangga dari muka terowongan yang masih memberikan pengaruh terhadap perubahan pergerakan. Besar pergerakan pada tahap ini dianggap sebagai nilai pergerakan total terbesar.

### 3. HASIL DAN ANALISIS

Titik pantau diletakkan pada muka terowongan hasil dari penggalian pada tahap 1. Pada tahap berikutnya, titik ini tetap yang dilihat nilai pergerakannya untuk mengetahui perubahan nilai pergerakannya [6]. Dari hasil perhitungan numerik, pergerakan dinding terowongan semakin mengalami kenaikan seiring adanya kemajuan tahap penggalian. Hal ini menandakan bahwa pergerakan semakin besar seiring semakin panjang bagian terowongan yang tidak disangga. Contoh grafik besar pergerakan terowongan pada titik pantau di tiap tahap untuk ketiga model dapat dilihat pada Gambar 2 dan ringkasan untuk ketiga pada Tabel 3.

Perhitungan galat dilakukan sebagai untuk menentukan rasio antara selisih pergerakan dinding dua tahap terbaru dibanding dengan besar pergerakan pada tahap terbaru. Perhitungan galat dapat memperlihatkan persentasi penambahan pergerakan bukaan terowongan. Tahap yang mengalami penambahan pergerakan yang sangat kecil, lebih kecil dari suatu nilai toleransi, dianggap tidak mengalami pergerakan [7]. Pada penelitian ini, didapatkan pada terowongan berdiameter 5 m, galat = 4,7% ditahap terakhir. Sedangkan pada terowongan berdiameter 8 m dan 10 m masing-masing galat sebesar 3,1 % dan 2,5%.

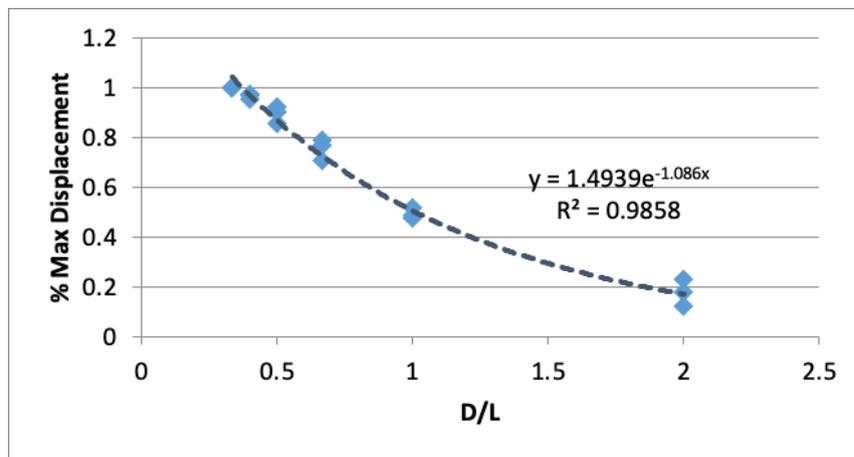
Jika dianggap bahwa pada saat perubahan pergerakan berilai nol, maka nilai pergerakannya merupakan nilai pergerakan tertinggi. Laju pergerakan batuan bisa dilihat dengan meyakannya relatif terhadap nilai pergerakan tertinggi. Pada kasus ini, diketahui bahwa pergerakan tertinggi terowongan berdiameter 5 m mencapai 0,18 m. Sedangkan, pada diameter 8 m dan 10 m pergerakan tertinggi masing-masing mencapai 0,28 m dan 0,31 m. Pada ketiga kasus, sekitar setengah dari nilai pergerakan tertinggi sudah dicapai batuan pada tahap kedua atau saat D/L = 1. Laju pergerak tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan  $y = 1,49e-1,08x$  dimana  $x$  adalah nilai D/L dan  $y$  adalah persentasi dari pergerakan tertinggi (Gambar 3).



Gambar 2 Total displacement di titik pantau tiap stage pada terowongan D = 5 m

Tabel 3 Total displacement hasil perhitungan numerik

Stage	D/L	D = 5 m		D = 8 m		D = 10 m	
		Total displacement (m)	Galat	Total displacement (m)	Galat	Total displacement (m)	Galat
1	2	0,022204	-	0,048445	-	0,071293	-
2	1	0,088701	0,749675	0,130239	0,628031	0,160208	0,554998
3	2/3	0,128749	0,311059	0,212153	0,386109	0,244209	0,343972
4	½	0,155745	0,173335	0,248536	0,146389	0,285599	0,144926
5	1/2,5	0,173401	0,101822	0,267037	0,069284	0,3027	0,056493
6	1/3	0,18208	0,047662	0,275563	0,030938	0,310461	0,024999



Gambar 3 Grafik % pergerakan terowongan vs D/L

**4. KESIMPULAN**

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis adalah bahwa nilai pergerakan total dinding terowongan semakin meningkat seiring dengan mengecilnya nilai D/L. Semakin kecil nilai D/L peningkatan nilai pergerakan total semakin juga semakin kecil. Nilai maksimal pergerakan bukaan terowongan terjadi pada saat D/L = 3 dengan toleransi galat mencapai sekitar 5%. Pergerakan dinding terowongan mencapai 50% dari pergerakan maksimal pada jarak D/L = 1. Hubungan antara persentasi pergerakan batuan dari pergerakan maksimal vs D/L adalah  $y = 1,49e^{-1,08x}$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hoek, E. & Marinos, P. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogenous rock. Tunnels and Tunneling International. 2000.
- [2] Brady, B.H.G dan Brown, E.T., *Rock Mechanics for Underground Minings*. George Allen & Unwin, London,1985 halaman 151-164, 464.
- [3] Putra, B.P., et al. 2018. *Squeezing pada Massa Batuan Sekitar Terowongan di Daerah Tambang Cikoneng, Banten*. Curvatek. 2017
- [4] Putra, B.P. *Plastic Zone Prediction Using Finite Element Method on Cikoneng Decline Tunnel at PT. Cibaliung Sumberdaya*. Asian Rock Mechanics Symposium. Bali, Indonesia. 2016.
- [5] Widodo, N.P., *Evaluation of Rock Mass Condition at Cikoneng Bypass Ch 36.5 – 39 m*. PT LAPI ITB. 2008
- [6] Hakim, R. N., *Studi Kestabilan Stope Menggunakan Data Monitoring dengan Total Station*. Tesis Magister Program Studi Rekayasa Pertambangan Bidang Khusus Geomekanika ITB. 2014
- [7] Winarno, P.P.A., *Studi Monitoring Deformasi Lubang Bukaan Menggunakan Total Station X-Cut 4 Access dan Decline Cikoneng Tambang Emas PT Cinaliung Sumberdaya*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan ITB. 2015