

ANALISIS KESTABILAN LUBANG BUKAAN PADA TEROWONGAN BEKAS JALUR ANGKUT PENAMBANGAN MANGAN DIWATU JONGGOL, DESA KARANGSARI, KECAMATAN PENGASIH, KABUPATEN KULONPROGO, D. I. YOGYAKARTA

¹Singgih Saptono, ²Indun Titisariwati, ³Rasyida Hafshah

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. Padjajaran, Condongcatu, Yogyakarta 55283 Indonesia
Email: rasyidahafshah97@gmail.com

ABSTRACT

Goa Watu Jonggol as a research location is a lorry road from the tunnel of a former manganese mine from the Dutch colonial era which has been abandoned for decades. The tunnel which is located in Ngruno Hamlet, Karang Sari Village, Pengasih Sub-District, Kulon Progo Regency, Yogyakarta Special Region will be used as a geotourism location by the local government. In its implementation as a geotourism location, it is necessary to pay attention to the safety of the natural tunnel to maintain the original shape of the tunnel. To support the program of the local government tunnel location, it is necessary to analyze the stability of the tunnel to determine the strength of the rock mass in the tunnel against collapse.

The method used in the analysis is the empirical method and the finite element method. The calculation results from the empirical method are safety factors, and the results of calculations from the finite element method are the strength factor and total displacement. Safety factors and strength factors indicate what level of security of a tunnel. While the total displacement shows whether or not a tunnel is stable. In this study the level of tunnel safety will be evaluated based on the dimensions of the tunnel and the presence of the highway above the tunnel surface.

The conclusion obtained is that the highway affects the stability of the tunnel because it results in the value of the safety factor and strength factor. Overall, the safety factor value ≤ 1.0 and strength factor ≤ 1.1 so that it can be said to be unsafe to be a geotourism location and requires a buffer.

Keywords: tunnel, finite element method, safety factor, strength factor.

RINGKASAN

Terowongan Geowisata Watu Jonggol sebagai lokasi penelitian merupakan jalan lori dari terowongan bekas tambang mangan peninggalan zaman penjajahan Belanda yang telah ditinggalkan selama puluhan tahun. Terowongan yang terletak di Dusun Ngruno, Desa Karang Sari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta tersebut akan dijadikan sebagai lokasi geowisata oleh pemerintah setempat. Dalam pelaksanaannya sebagai lokasi geowisata, maka perlu diperhatikan keamanan dari terowongan alami untuk mempertahankan bentuk asli dari terowongan tersebut. Untuk mendukung program dari pemerintah daerah lokasi terowongan, maka diperlukan analisis kestabilan terowongan untuk mengetahui kekuatan massa batuan pada terowongan terhadap keruntuhan.

Metode yang digunakan dalam analisis yaitu metode empirik dan metode elemen hingga. Hasil perhitungan dari metode empirik adalah faktor keamanan, dan hasil perhitungan dari metode elemen hingga adalah *strength factor* dan total perpindahan. Faktor keamanan dan *strength factor* ini menunjukkan seberapa tingkat keamanan dari suatu terowongan. Sementara total perpindahan menunjukkan stabil atau tidaknya suatu terowongan. Pada penelitian ini tingkat keamanan terowongan akan dievaluasi berdasarkan dimensi terowongan dan adanya jalan raya diatas permukaan terowongan.

Kesimpulan yang didapat yaitu jalan raya mempengaruhi kestabilan terowongan karena mengakibatkan nilai faktor keamanan dan *strength factor*. Secara keseluruhan, nilai faktor keamanan $\leq 1,0$ dan *strength factor* $\leq 1,1$ sehingga dapat dikatakan terowongan tidak memiliki nilai stabilitas yang aman untuk dijadikan lokasi geowisata serta memerlukan suatu penyanggaan.

Kata Kunci : terowongan, metode elemen hingga, faktor keamanan, *strength factor*.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kulonprogo merupakan salah satu kabupaten Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki kekayaan sumberdaya alam. Pada daerah tersebut terdapat

kekayaan alam yakni sumberdaya alam berupa komoditas mangan dan pernah dilakukan penambangan pada sebelum kemerdekaan. Penambangan Mangan di Kulonprogo dilakukan dengan menerapkan sistem tambang bawah tanah

dengan membuat terowongan (*tunnel*). Terowongan bekas penambangan itu saat ini sedang dalam proses konservasi. Hal tersebut sesuai dari usulan pemerintah untuk menjadikan terowongan tersebut sebagai terowongan geowisata.

Terowongan Geowisata bekas Penambangan Mangan Watu Jonggol terletak pada Dusun Ngruno Desa Karang Sari Kecamatan Pengasih Kabupaten Kulonprogo. Terowongan ini terletak pada ketinggian 103 meter di atas permukaan laut dengan panjang 74,32 meter. Terowongan Geowisata Penambangan Mangan Watu Jonggol merupakan terowongan bekas Penambangan Mangan yang ketika sudah tidak beroperasi lagi yang dahulunya berfungsi sebagai jalur angkut lori.

Terowongan Watu Jonggol yang dijadikan sebagai tempat geowisata diperlukan suatu kajian teknis terutama kajian geoteknik terhadap kestabilan terowongan. Kajian geoteknik dengan memodelkan terowongan dengan mempertimbangan kekuatan massa batuan, dimensi terowongan dan litologi daerah terowongan digunakan untuk menilai tingkat keamanan terowongan. Analisis kekuatan massa batuan *RMR (Rock Mass Rating)* dalam penelitian ini dengan pendekatan empirik oleh *Mohr-Coloumb*. Penentuan stabilitas terowongan yang dapat dinyatakan aman dari keruntuhan apabila *Strength factor* lebih dari 1,1 (Kaiser, 1985).

Rumusan Masalah

Terowongan bekas Penambangan Mangan Geowisata Watu Jonggol sedang dalam proses kajian geoteknik untuk pengembangan menjadikan objek geowisata. Kajian geoteknik tersebut diperlukan karena daerah tersebut nantinya akan dilalui oleh wisatawan, serta di atas terowongan tersebut terdapat jalan untuk akses kendaraan, sehingga menjadi permasalahan utama tingkat kestabilan terowongan.

Tujuan Penelitian

- Adapun tujuan dari penelitian ini adalah;
1. Menganalisis nilai tingkat kestabilan lubang bukaan dengan perhitungan tegangan mayor (σ_1), tegangan minor (σ_3) dan *Strength Factor*.
 2. Menganalisis nilai *Total Displacement* pada lubang bukaan yang berpengaruh pada kestabilan lubang bukaan.
 3. Menganalisis nilai dari faktor keamanan terowongan yang berpengaruh pada keruntuhan lubang bukaan

II. METODE

Massa Batuan

Massa batuan pada dasarnya merupakan batuan utuh (*intact rock*) yang dipisahkan antara satu dengan yang lain oleh bidang diskontinu sehingga kekuatannya berkurang dan perambatan tekanannya tidak merata. Stabilitas massa batuan dibawah kondisi pembebanan (pondasi atau terowongan) dapat sangat berbeda dari stabilitas batuan utuh karena adanya diskontinuitas.

Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Parameter pada kriteria keruntuhan Mohr – Coulomb di antaranya adalah kohesi dan sudut gesek dalam. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb didasarkan pada hipotesis bahwa tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada permukaan merupakan faktor yang berperan pada terjadinya keruntuhan. Keruntuhan (*failure*) terjadi apabila lingkaran Mohr menyinggung kurva Mohr. Keruntuhan batuan tergantung pada kohesi material serta besarnya tegangan normal yang bekerja pada batuan tersebut. Kriteria Mohr Coulomb memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\tau = c' + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- τ = kekuatan geser (MPa)
- σ = tegangan normal (MPa)
- c' = kohesi (MPa)
- μ = sudut gesek dalam

Mohr-Coulomb mengembangkan sebuah konsep kriteria tentang keruntuhan batuan. Faktor keamanan ini menggunakan kurva intrinsik dibagi dengan jari-jari lingkaran Mohr. Faktor keamanan ini menyatakan perbandingan keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut. Rumus untuk menghitung faktor keamanan (FK) adalah sebagai berikut

$$FK = \frac{a}{b} = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi + CO \cos \phi}{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- A = Gaya penahan (N)
- B = Gaya penggerak (N)
- σ_1 = Tegangan mayor (MPa)
- σ_3 = Tegangan minor (MPa)
- CO = Kohesi (MPa)
- ϕ = Sudut gesek dalam

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method (FEM)*, adalah metode numerik untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Penyelesaian ini memberikan hasil/penyelesaian pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinyu.

Konsep paling dasar FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah.

Untuk masalah struktur, penyelesaian yang didapat adalah deformasi (*displacement*) pada setiap titik

(nodes) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*).

Penyelesaian metode elemen hingga dapat dilakukan dengan bantuan software RS2 (*Rocscience*). RS2 digunakan untuk menganalisa tegangan - tegangan dan perpindahan (*displacement*) di sekitar lubang bukaan bawah tanah, yang dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah yang berkaitan dengan rekayasa teknik pertambangan dan teknik sipil.

III. HASIL

Pengukuran Dimensi Terowongan

Dilakukan pengukuran dimensi lubang bukaan di lokasi penelitian untuk pembuatan model lubang bukaan pada analisis menggunakan metode elmen hingga.

Tabel 1. Dimensi Terowongan

Titik Pengamatan	Lebar	Tinggi Maksimal
Titik 1	1,10 m	2,02 m
Titik 2	1,19 m	2,10 m
Titik 3	1,21 m	2,30 m
Titik 4	1,25 m	2,36 m
Titik 5	1,28 m	2,45 m

Pengujian Sampel Batuan

Data tersebut pengujian sampel dari lapangan sehingga didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2. Data Kuat Fisik Batuan

Sampel	A	B	C	Rata''
Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	1.59	1.53	1.67	1.60
Bobot Isi Jenuh (gr/cm ³)	1.88	1.79	1.89	1.85
Bobot Isi Kering (gr/cm ³)	1.57	1.50	1.65	1.57
Kadar Air Asli (%)	1.23	1.82	1.26	1.44
Kadar Air Jenuh (%)	19.26	19.15	14.56	17.66
Derajat Kejenuhan (%)	6.38	9.52	8.70	8.20
Porositas (%)	30.32	28.77	23.96	27.68
Void Ratio	0.44	0.40	0.32	0.38

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

	A	B	C
Modulus Elastisitas (MPa)	1230,77	1066,67	3777,78
Poison Rasio	6,45%	12,5%	29,47%
Batas Elastis (MPa)	23	23	30
Tekanan Uniaksial (Mpa)	31,82	25,45	44,55

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung

Kohesi (kPa)	Φ (°)
26,5	35

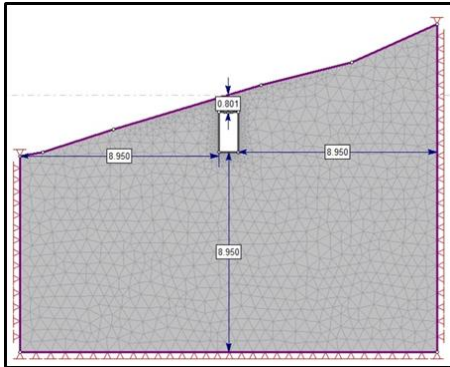
Tabel 5. Klasifikasi RMR

No	Parameter	Nilai	
1	Kuat Tekan Utuh Batuan UCS (Mpa)	33,94	
	Bobot	4	
2	RQD (%)	97,04 %	
	Bobot	20	
3	Jarak Kekar (m)	0,28	
	Bobot	10	
4	Kondisi Kekar	Agak kasar, pemisahan < 1 mm, dinding agak lapuk	
	Bobot	25	
5	Air Tanah	Aliran / 10 m panjang terowongan (liter/min)	None
		Tekanan air pada kekar / maksimum tegangan utama	0
	Kondisi umum	Kering	
	Bobot	15	
Total		74	

Berdasarkan total nilai RMR diatas termasuk batuan baik, maka batuan termasuk dalam klasifikasi massa batuan kelas II, dan termasuk dalam kategori kelompok batuan baik. Nilai *stand up time* rata-rata 1 tahun untuk 10 m span. Nilai kohesi sebesar 300 – 400 kPa. Dengan nilai sudut gesek dalam yang ada pada batuan sebesar 35° – 45°.

Permodelan

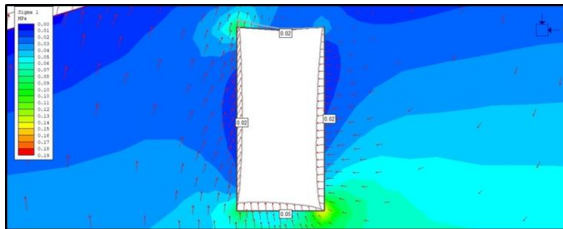
Permodelan dilakukan dengan menurunkan perilaku batuan ke dalam bentuk variabel-variabel yang keterkaitan diantaranya dapat diperlihatkan dalam suatu model tertentu. Permodelan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik. Untuk menganalisis stabilitas pada lubang bukaan. Pembuatan model disesuaikan dengan kondisi asli terowongan.



Gambar 1. Model Terowongan pada Titik Pertama

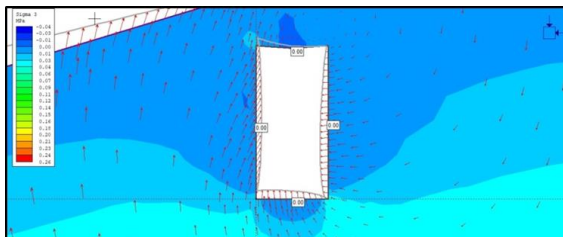
Perhitungan Numerik

Untuk mengetahui stabilitas terowongan di lokasi penelitian mengenai aman atau tidaknya terowongan tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai total perpindahan dan *strength factor* yang berkaitan dengan nilai tegangan mayor dan tegangan minor. Perhitungan distribusi tegangan dilakukan pada tujuh titik. Pada perhitungan ini, tanpa menggunakan distance. Penggunaan distance pada Bab V.



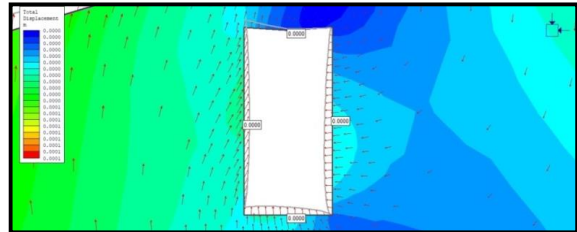
Gambar 2. Tegangan Mayor (σ_1) pada Titik Pertama

Berdasarkan hasil perhitungan numerik pada titik pertama didapatkan nilai tegangan mayor (σ_1) pada atap terowongan sebesar 0,02 MPa, pada dinding terowongan bagian kanan sebesar 0,02 MPa, pada dinding terowongan bagian kiri sebesar 0,02 Mpa dan pada lantai terowongan sebesar 0,05 Mpa.



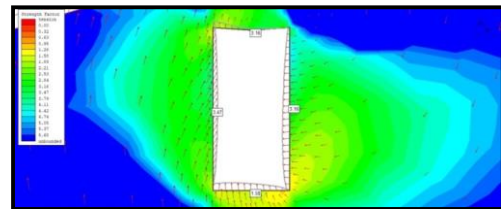
Gambar 3. Tegangan Minor (σ_3) pada Titik Pertama

Berdasarkan hasil perhitungan numerik pada titik pertama didapatkan nilai total perpindahan pada atap terowongan sebesar 0 MPa, pada dinding terowongan bagian kanan sebesar 0 MPa, pada dinding terowongan bagian kiri sebesar 0 Mpa dan pada lantai terowongan sebesar 0 Mpa.



Gambar 4. Total Perpindahan pada Titik Pertama

Berdasarkan hasil perhitungan numerik pada titik pertama didapatkan nilai total perpindahan pada atap terowongan sebesar 0 MPa, pada dinding terowongan bagian kanan sebesar 0 MPa, pada dinding terowongan bagian kiri sebesar 0 Mpa dan pada lantai terowongan sebesar 0 Mpa.



Gambar 5. *Strength Factor* pada Titik Pertama

Berdasarkan hasil perhitungan numerik pada titik pertama didapatkan nilai *stregh factor* pada atap terowongan sebesar 4,11 MPa, pada dinding terowongan bagian kanan sebesar 3,16 MPa, pada dinding terowongan bagian kiri sebesar 3,79 Mpa dan pada lantai terowongan sebesar 1,89 Mpa.

Hasil Perhitungan Faktor Keamanan

Tabel 5. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan

Bagian	Nilai FK per titik						
	1	2	3	4	5	6	7
Atap	3.58	3.58	3.58	0.87	0.71	0.71	0.84
Dinding Kanan	3.58	3.58	3.58	1.02	1.02	1.23	1.49
Dinding Kiri	3.58	3.58	3.58	1.14	0.64	1.23	1.49
Lantai	1.70	1.70	3.58	0.93	1.02	0.67	0.84

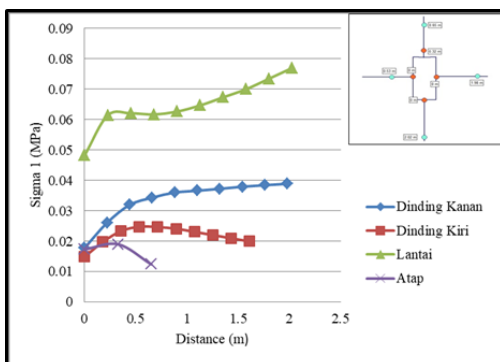
Untuk menentukan aman atau tidaknya suatu lubang bukaan selain dengan *strength factor*, dapat ditentukan dari hasil nilai faktor keamanan. Faktor keamanan didapat dari hasil perhitungan tegangan mayor dan tegangan minor dengan nilai sudut gesek dalam sebesar 35° dan kohesi sebesar 26.5 Mpa.

IV. PEMBAHASAN

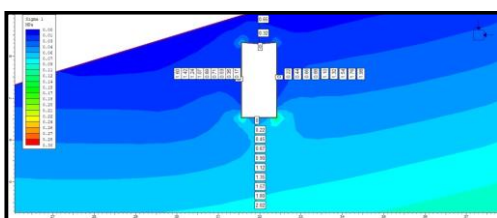
Tegangan Mayor

Berdasarkan hasil analisis terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai tegangan mayor (σ_1) maksimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 1,98 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 0,53 m. Pada lantai terletak dengan jarak 2,02 m. Pada atap terletak dengan jarak 0,32 m. Sementara itu berdasarkan hasil analisis juga terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai tegangan mayor (σ_1) minimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 0 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 0 m. Pada lantai terletak dengan jarak 0 m. Pada atap terletak dengan jarak 0,65 m.

Nilai tegangan mayor (σ_1) maksimum pada dinding kanan sebesar 0,03 MPa. Pada dinding kiri sebesar 0,01 MPa. Pada lantai sebesar 0,07 MPa, dan pada atap sebesar 0,01 MPa. Sedangkan nilai tegangan mayor (σ_1) minimum pada dinding kanan senilai 0,04 MPa. Pada dinding kiri senilai 0,01 MPa. Pada lantai senilai 0,01 MPa, dan pada atap senilai 0,01 MPa.



Gambar 6. Grafik Hubungan Sigma 1 dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama



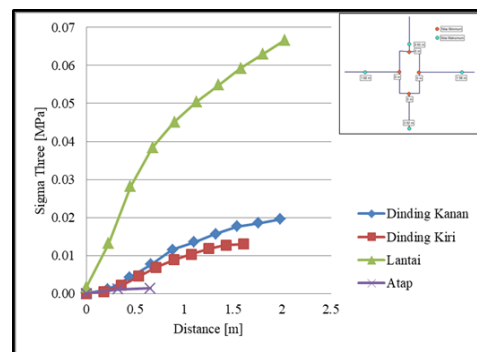
Gambar 7. Tegangan Mayor (σ_1) dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama

Tegangan Minor

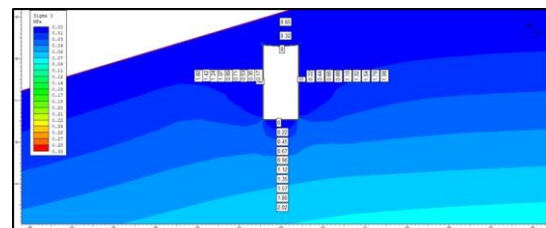
Berdasarkan hasil analisis, terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai tegangan mayor (σ_3) maksimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 1,98 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 1,60 m. Pada lantai terletak dengan jarak 2,02 m. Pada atap terletak dengan jarak 0,65 m. Sementara itu berdasarkan hasil analisis juga terdapat titik-titik yang menunjukkan

nilai tegangan mayor (σ_3) minimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 0 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 0 m. Pada lantai terletak dengan jarak 0 m. Pada atap terletak dengan jarak 0 m.

Nilai tegangan minor (σ_3) maksimum pada dinding kanan sebesar 0,01 MPa. Pada dinding kiri sebesar 0,01 MPa. Pada lantai sebesar 0,06 MPa, dan pada atap sebesar 0,001 MPa. Sedangkan nilai tegangan mayor (σ_3) minimum pada dinding kanan senilai 0,00008 MPa. Pada dinding kiri senilai 0,00001 MPa. Pada lantai senilai 0,001 MPa, dan pada atap senilai 0,00001 MPa.



Gambar 8. Grafik Hubungan Sigma 3 dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama



Gambar 9. Tegangan Minor (σ_3) dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama

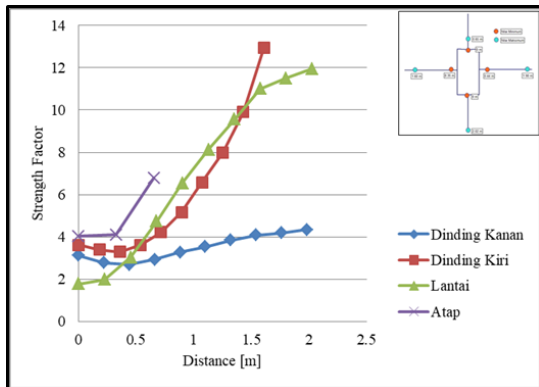
Strength Factor

Berdasarkan hasil analisis, terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai *Strength Factor* maksimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 1,98m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 1,60 m. Pada lantai terletak dengan jarak 2,02 m. Pada atap terletak dengan jarak 0,65 m. Sementara itu berdasarkan hasil analisis juga terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai *Strength Factor* minimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 0,44 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 0,35 m. Pada lantai terletak dengan jarak 0 m. Pada atap terletak dengan jarak 0 m.

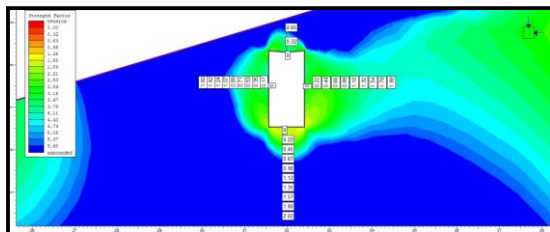
Nilai *Strength Factor* maksimum pada dinding kanan sebesar 4,33. Pada dinding kiri sebesar 12,92. Pada lantai sebesar 11,95, dan pada atap sebesar 6,77. Sedangkan nilai *Strength Factor* minimum pada dinding kanan senilai 2,92. Pada dinding kiri senilai 3,28. Pada lantai senilai 1,76, dan pada atap senilai 4,035.

Terowongan dianggap aman apabila memiliki nilai *strength factor* lebih dari sama dengan 1,1. Jika nilai *strength factor* kurang dari batas aman, maka

diperlukan tindakan stabilitas terowongan yaitu dengan pemasangan sistem penyangga. Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai *strength factor* berada diatas batas aman yaitu lebih dari 1,1. Maka titik tersebut aman.



Gambar 10. Grafik Hubungan *Strength Factor* dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama

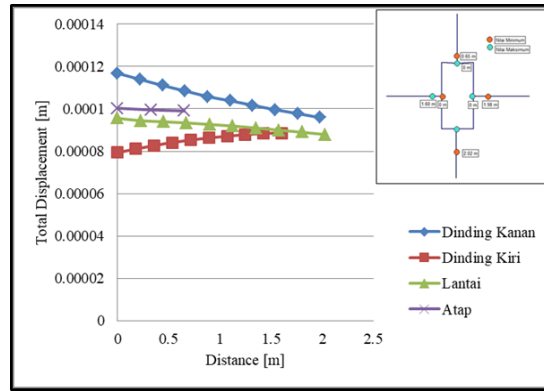


Gambar 11. *Strength Factor* dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama

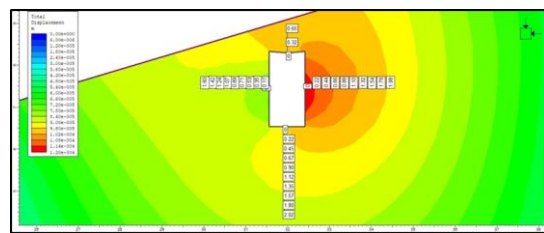
Total Perpindahan

Berdasarkan hasil analisis, terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai total perpindahan maksimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 1,98 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 1,60 m. Pada lantai terletak dengan jarak 0 m. Pada atap terletak dengan jarak 0 m. Sementara itu berdasarkan hasil analisis juga terdapat titik-titik yang menunjukkan nilai total perpindahan minimum. Pada dinding kanan terletak dengan jarak 0 m. Pada dinding kiri terletak dengan jarak 0 m. Pada lantai terletak dengan jarak 2,02 m. Pada atap terletak dengan jarak 30,65m.

Nilai total perpindahan batuan bertujuan untuk menentukan kondisi stabilitas bukaan yang berkaitan langsung dengan perilaku massa batuan. Semakin besar nilai perpindahan batuan maka semakin tidak stabil batuan tersebut. Nilai total perpindahan maksimum pada dinding kanan sebesar 0,0001 m. Pada dinding kiri sebesar 0,0001 m. Pada lantai sebesar 0,00008 m, dan pada atap sebesar 0,00002 m. Sedangkan nilai total perpindahan minimum pada dinding kanan senilai 0,00003. Pada dinding kiri senilai 0,00003 m. Pada lantai senilai 0,00002 m dan pada atap senilai 0,00001 m. Karena nilai total perpindahan tidak memiliki nilai yang besar melebihi deformasi maksimal yaitu 0,104 m sehingga lubang bukaan dikategorikan “tidak stabil”, maka batuan stabil dan tidak akan berpindah.



Gambar 12. Grafik Hubungan Total Perpindahan dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama



Gambar 13. Total Perpindahan dengan Variasi Jarak pada Titik Pertama

Faktor Keamanan

Nilai Faktor Keamanan (FK) juga menggunakan perangkat lunak RS2 dalam penentuan nilainya. Perhitungan nilai faktor keamanan didasarkan pada kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb* yakni perbandingan antara kekuatan batuan dengan beban yang diberikan kepadanya. Adapun parameter yang digunakan pada penentuan nilai FK ini adalah sudut geser dalam (ϕ), kohesi (C), sigma 1 (σ_1) dan sigma (σ_3). FK dinyatakan aman dengan batas failure sebesar FK = 1,0, jika kurang dari itu maka tidak aman.

Dapat dilihat pada titik pertama dengan nilai faktor keamanan pada atap sebesar 3,58. Pada dinding kanan sebesar 3,58. Pada dinding kiri sebesar 3,58 dan pada lantai sebesar 1,7. Maka pada titik pertama aman. Hasil perhitungan pada titik kedua dengan nilai faktor keamanan pada atap sebesar 3,58. Pada dinding kanan sebesar 3,58. Pada dinding kiri sebesar 3,58. Pada lantai sebesar 1,70. Maka titik tersebut aman. Hasil perhitungan pada titik ketiga dengan nilai faktor keamanan pada atap sebesar 3,58. Pada dinding kanan sebesar 3,58. Pada dinding kiri sebesar 3,58, dan pada atap sebesar 3,58. Maka pada titik ketiga aman. Hasil perhitungan pada titik keempat dengan nilai faktor keamanan pada atap sebesar 0,87. Pada dinding kanan sebesar 1,02. Pada dinding kiri sebesar 1,14, dan pada lantai sebesar 0,93. Maka faktor keamanan pada titik keempat tidak aman, karena semakin besar dimesi terowongan, maka semakin besar potensi keruntuhannya. Hasil perhitungan pada titik kelima dengan nilai faktor keamanan pada atap sebesar 0,71. Pada dinding kanan sebesar 1,02. Pada dinding kiri sebesar 1,14, dan pada lantai sebesar 0,93. Maka titik tersebut tidak aman, karena adanya jalan raya yang

berada diatas terowongan dan tepatnya terdapat pada titik kelima hingga titik ketujuh. Hasil perhitungan pada titik keenam dengan nilai faktor keamanan pada atap sebesar 0.71. Pada dinding kanan sebesar 1.23. Pada dinding kiri sebesar 1.23, dan pada lantai sebesar 0.67. Maka titik tersebut tidak aman, karena adanya jalan raya yang berada diatas terowongan dan tepatnya terdapat pada titik kelima hingga titik ketujuh. Hasil perhitungan pada titik ketujuh dengan nilai sebesar pada atap 0.84. Pada dinding kanan sebesar 1.49. Pada dinding kiri sebesar 1.49, dan pada lantai sebesar 0.84. Maka titik tersebut tidak aman, karena adanya jalan raya yang berada diatas terowongan dan tepatnya terdapat pada titik kelima hingga titik ketujuh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bab-bab sebelumnya mengenai Analisis Kekuatan Batuan Terhadap Stabilitas Lubang Bukaan, maka dapat disimpulkan:

1. Terowongan Geowisata Penambangan Mangan Watu Jonggol tersusun atas lapisan batuan gamping. Pada titik-titik tertentu terdapat titik yang memiliki nilai *strength factor* tidak aman dibawah 1,0. Maka pada beberapa titik tersebut diperlukan adanya sistem penyanggaan. Nilai total perpindahan yang tidak besar dan tidak mempengaruhi keamanan dari terowongan tersebut.
2. Nilai faktor keamanan pada setiap titik dan bagian berbeda-beda. Pada titik tertentu terdapat titik yang bagiannya memiliki faktor keamanan dibawah nilai aman yaitu sebesar 1,0. Jadi dapat disimpulkan terowongan memiliki nilai faktor keamanan yang tidak aman untuk dijadikan objek Geowisata. Hal ini disebabkan oleh semakin besar dimensi terowongan, semakin besar juga potensi keruntuhannya. Serta tidak amannya titik tertentu juga disebabkan oleh adanya jalan raya yang berada diatas permukaan terowongan.
3. Terowongan Geowisata Penambangan Mangan Watu Jonggol disimpulkan memiliki stabilitas yang tidak aman, dan memerlukan sistem penyanggaan.

Saran

1. Berdasarkan kesimpulan diatas, nilai *strength factor* dari terowongan yaitu kurang dari batas aman 1,0 maka disarankan untuk dilakukan penyanggaan pada terowongan.
2. Nilai faktor keamanan dari terowongan yaitu kurang dari batas aman 1,0 maka disarankan untuk dilakukan penyanggaan dan perlu penelitian lebih lanjut dalam penentuan sistem penyangganya.
3. Perlu dilestarikan dan dibudidayakan dengan baik agar dapat menjadi Geowisata yang memiliki sejarah bekas penambangan mangan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Irwandy, 2016, *Geoteknik Tambang*, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta. Hal 67-92, 118-120,154-156, 267-298.
- Barton, N.R & Choubey, V. 1977. *The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech.* 10(1-2), 1-54.
- Bemmelen, R. W. V. 1949. *The Geology of Indonesia, volume 1A General Geology of Indonesia Adjacent Archipelagoes.* Netherlands : Haque.
- Bieniawski Z. T., 1989, *Engineering Rock Mass Clasifications*, Jhon Wiley & Sons, Inc., Canada. pp. 3, 9, 52-55
- Fish, J. & Belytschko, T. 2007. *A First Course in Finite Elements.* John Wiley & Sons : England.
- Ghosh, C.N., Ghose, A.K. 1995. *Prediction of Ground Stability Through Convergence Velocity.* Rotterdam.
- Hoek, E., dkk.,1998, *Support of Underground Excavation in Hard Rock*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam.
- Hoek, E., Brown E.T. 1980. *Underground Excavations in Rock.* Institution of Mining and Metallurgy : London.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., *Quantification of the Geological Strength Index Chart*, 47th US Rock Mechanics/ Geomechanics Symposium – San Francisco, USA. pp. 1-2
- Rai, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., 2013, *Mekanika Batuan.* Penerbit ITB, Bandung. hal 6-8, 14-16, 68-148, 298-301, 441-442.
- Saptono, S., 2012, *Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara*, Disertasi, Program Studi Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. hal 19-24, 57-59.
- Saptono, S., dkk., 2009, *Pengaruh Ukuran Contoh Terhadap Kekuatan Batuan*, Jurnal Teknologi Mineral Vol. XVI No. 1/2009, ITB. hal 1.
- Singh, B., and Goel, R.K., 1999, *Rock Mass Classification*, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK.