

ANALISIS KESTABILAN LUBANG BUKAAN TAMBANG BAWAH TANAH MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Muh. Fathin Firaz¹, Sarwo Edy Lewier², Yeremias K. L. Killo³, Yusias Andrie⁴
^{1,2,3,4}Mahasiswa Program Magister Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta

fathinfiraz@gmail.com

Abstrak

Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Sangat diperlukan adanya analisis geoteknik yang baik untuk dapat memberikan perlakuan yang tepat terhadap batuan yang dibongkar. Penelitian dilakukan pada *mainlevel 2* lubang MH 3 lokasi penambangan way semuong PT. Natarang Mining Kabupaten Tanggamus, Lampung. Lubang bukaan ini nantinya akan diisi dengan material *filling* untuk menjaga stabilitas kegiatan penambangan yang nantinya akan ditinggalkan setelah kegiatan produksi selesai dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan batuan yang digali dengan memperkirakan nilai Faktor Keamanan (FK) lubang bukaan tersebut. Pengklasifikasian batuan dilakukan dengan RMR system dan nilai FK diperoleh menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Adapun pemodelan lubang bukaan dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Parameter yang digunakan dalam analisis geoteknik ini adalah Faktor Keamanan, *strength factor*, dan *total displacement*. Untuk *Main Level* pada *existing stope* nilai *strength factor* dan faktor keamanan mengalami penurunan namun secara *overall* masih dalam kondisi aman (tidak runtuh). Sedangkan nilai *displacement*nya mengalami sedikit perubahan namun tidak melebihi perpindahan maksimal batuan. Untuk pengerjaan *slicenya* nilai rata-rata dari *strength factor*, faktor keamanan dan *displacement*nya secara *overall* masih dalam kondisi aman. Pengerjaan *sublevel 1* pada *stope existing* memperlihatkan nilai *strength factor* sebagian besar < 1 dan nilai faktor keamanan < 1,2 yang berarti bahwa *stope* ini berada pada level yang tidak aman. Pada *slicenya* secara *overall* nilai *strength factor*, faktor keamanan dan *displacement*nya masih dalam kondisi aman. *Sublevel 2* dalam pengerjaannya menunjukkan nilai *strength factor*, faktor keamanan dan *total displacement*nya masih dalam keadaan aman. Demikian juga kondisi *slicenya* secara *overall* masih dalam keadaan aman. *Sublevel 3* nilai *strength factor*, faktor keamanan pada *stope existing* menunjukkan nilai yang tidak aman pada dinding kiri dan atap. Pengerjaan *slicenya* juga menunjukkan nilai yang rata-rata tidak aman untuk nilai *strength factor* dan faktor keamanannya. *Sublevel 4* pengerjaannya hanya dilakukan hingga *stope existing* saja karena dinding bagian atas hingga ke level 1 dijadikan *pillar*. Secara *overall* nilai *strength factor*, faktor keamanan dan *total displacement* masih dalam kondisi yang aman, meskipun terdapat beberapa titik yang menunjukkan angka tidak aman. Berdasarkan penilaian *strength factor*, faktor keamanan dan perpindahan (*displacement*) pada setiap *stope existing* dan juga pada *stope slice* disarankan untuk menggunakan nilai perhitungan kekuatan batuan sebagai salah satu dasar acuan dalam pembuatan terowongan selanjutnya, serta melakukan *filling material* untuk lokasi-lokasi tambang yang sudah tidak beroperasi lagi.

Kata Kunci : geomekanika, geoteknik, tambang bawah tanah, faktor keamanan.

1. Pendahuluan

Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Sangat diperlukan adanya analisis geoteknik yang baik untuk dapat memberikan perlakuan yang tepat terhadap batuan yang dibongkar. Penelitian dilakukan pada *mainlevel 2* lubang MH 3 lokasi penambangan way semuong PT. Natarang Mining Kabupaten Tanggamus, Lampung. Kegiatan tambang bawah tanah sangat beresiko tinggi sehingga sangat diperlukan penanganan yang ekstra hati-hati dalam pengerjaannya. Pembongkaran batuan akan berpengaruh langsung terhadap kekuatan dan bentuk batuan yang dibongkar,

dengan demikian batuan akan mencari keseimbangan baru setelah adanya perlakuan yang diberikan terhadapnya. Dengan sifat alami batuan tersebut maka batuan akan mencari bidang bebas untuk berdeformasi dan memungkinkan tercapainya keseimbangan baru, perilaku ini ditunjukkan dengan adanya perpindahan pada dinding dan atap terowongan, longsoran ataupun ambrukannya pada terowongan.

1.1. Tujuan Penelitian

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari perilaku batuan yang mengalami perlakuan terhadapnya dan sebagai panduan dalam melakukan kegiatan pembongkaran batuan selanjutnya.

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Lokasi penelitian terbatas pada satu terowongan utama dan *sublevelnya* (Level 2 MH 3).
- b. Analisa kestabilan lubang bukaan dilakukan pada lubang bukaan *existing* dan produksi.

1.3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian adalah :

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur sebagai dasar pemahaman teori pada penelitian ini dengan mencari bahan-bahan pustaka dari :

- Perusahaan tempat penelitian dilaksanakan.
- Perpustakaan.

2. Observasi Lapangan

Melakukan observasi lapangan dengan pengamatan secara langsung terhadap kondisi *hangingwall*, dan *footwall*.

3. Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1. Pengamatan dan pengukuran insitu terhadap parameter-parameter klasifikasi massa batuan dengan menggunakan palu geologi, kompas geologi, dan meteran. Sistem klasifikasi massa batuan yang akan digunakan adalah *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989).
- 2. Pengukuran dimensi *stope* dan bagian-bagian lain yang terintegrasi dengan *stope*.
- 3. Pengambilan contoh batuan (*sampling*) untuk pengujian sifat fisik dan sifat mekanik batuan.
- 4. Pengolahan Data.

Pengolahan data yang telah diambil dilakukan sebagai berikut :

- 1. Melakukan pengolahan terhadap data-data yang diperoleh sebagai acuan dalam pemodelan menggunakan metode elemen hingga.
- 2. Pembuatan pemodelan *level-level* yang sesuai dengan kondisi lapangan dengan metode elemen hingga.
- 3. Penentuan faktor keamanan masing-masing lubang bukaan dengan menggunakan metode elemen hingga.

1.4. Dasar Teori

1.4.1. Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan pada penelitian ini menggunakan sistem *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989). Dalam klasifikasi geomekanika, diperlukan adanya pengamatan dan perlakuan khusus dari batuan untuk dapat mengetahui karakteristik dari batuan yang akan diteliti. Perlakuan tersebut dapat berupa pengukuran maupun pengujian sifat fisik dan sifat mekanik pada batuan tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pengambilan conto dari batuan untuk diuji pada laboratorium. Dalam hubungannya untuk

mengetahui karakteristik massa batuan, perlu dilakukan uji sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Sehingga dapat diperoleh data yang diperlukan untuk langkah analisis selanjutnya.

1.4.2. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb ini didasarkan pada hipotesis bahwa tegangan normal dan regangan geser yang bekerja pada permukaan *rupture* memainkan peranan pada proses *failure* batuan. Untuk beberapa bidang *rupture* dimana memiliki tegangan normal yang sama besar maka bidang yang paling lemah adalah bidang yang mempunyai tegangan geser paling besar. Untuk keadaan $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ yang diposisikan pada bidang (τ, σ) terlihat bahwa lingkaran Mohr mempengaruhi kriteria *failure*. *Failure* terjadi apabila lingkaran Mohr menyinggung kurva Mohr (kurva intrinsik) dan lingkaran tersebut disebut lingkaran *failure*. Keruntuhan suatu batuan tergantung pada kohesi material dan besarnya tegangan normal yang bekerja pada dinding keruntuhan tersebut. Oleh karena itu kriteria Mohr-Coulomb didefinisikan sebagai berikut :

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

Dengan :

τ = Tegangan geser

C = Kohesi

σ = Tegangan normal

$\tan \phi$ = Koefisien geser dalam dari batuan

Berdasarkan Gambar 1 tegangan geser dinyatakan dalam rumus :

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Dalam Sumbu Kartesian x dan y :

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (3)$$

Dan menurut Mohr :

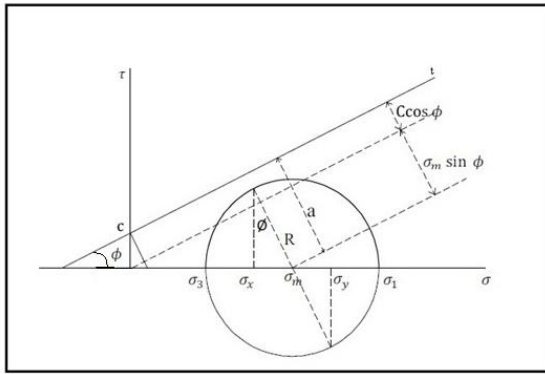
$$a = C \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (4)$$

$$a = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + C \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{R}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \dots \dots \dots (6)$$

2. Dalam Sumbu Kartesian x dan y :

$$a = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \sin \phi + C \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (7)$$



Gambar 1 : Kurva Mohr-Coulomb

Keterangan :

σ_1 = Tegangan Mayor (MPa)

σ_3 = Tegangan Minor (MPa)

τ = Tegangan Geser (MPa)

ϕ = Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)

c = Kohesi (MPa)

a = Jarak dari pusat lingkaran menuju kurva intrinsik (cm)

R = Jari-jari lingkaran (cm)

t = Kurva intrinsik

Faktor keamanan (*safety factor*) dengan menggunakan kriteria Mohr-Coulomb berdasarkan jarak dari titik pusat lingkaran Mohr ke garis kekuatan batuan (kurva intrinsik) Dibagi dengan jari-jari lingkaran Mohr (lihat Gambar 3.3). Faktor keamanan (FK) ini menyatakan perbandingan keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut. Dimana :

$$FK = \frac{a}{R} \dots \dots \dots (8)$$

$$FK = \frac{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + C \cdot \cos \phi}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}} \dots \dots \dots (9)$$

Apabila nilai $FK > 1$ maka batuan dinyatakan dalam kondisi aman, jika nilai $FK < 1$ maka batuan dinyatakan runtuh dan jika nilai $FK = 1$ maka batuan dinyatakan dalam keadaan kondisi kritis.

3. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif noneksperimental. Penelitian dilakukan dengan mengamati keadaan batuan secara langsung dan mengambil sampel secara sistematis pada lubang bukaan untuk dilakukan uji laboratorium.

3.1. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi. Data yang dikumpulkan dari lapangan berupa data RMR batuan yakni nilai RQD, PLI, kondisi kekar, isian kekar, kekasaran kekar, air tanah dan orientasi kekar terhadap terowongan.

3.2. Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif. Metode ini diterapkan karena data yang diperoleh dilakukan analisis

terhadapnya dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif. Uji laboratorium untuk kekuatan batuan juga dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik dari batuan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Kegiatan Lapangan

Data hasil kegiatan lapangan adalah pengklasifikasian batuan. Pengklasifikasian batuan menggunakan Rock Mass Rating System (Bianawski, 1984). Pengklasifikasian kelas batuan berdasarkan sistem RMR ini berdasarkan penilaian kuantitatif terhadap kondisi kualitatif dan kuantitatif masa batuan yang terdiri atas kuat tekan batuan utuh (dengan *point load test*), Rock Quality Designation, spasi joint, kondisi retakan, kondisi air tanah di *stope* (hasil *mapping*). Data tersebut, kemudian dikoreksi (*adjustment*) dengan orientasi *strike/dip* batuan terhadap *stope*.

Hasil penilaian menunjukkan batuan di Level 2 MH 3 berada pada kelas III (*fair rock*) untuk *country rock* dan kelas III (*fair rock*) juga untuk *vein*, baik untuk batuan *country rock*, maupun *vein* klasifikasi massa batumannya dapat dilihat pada table berikut.

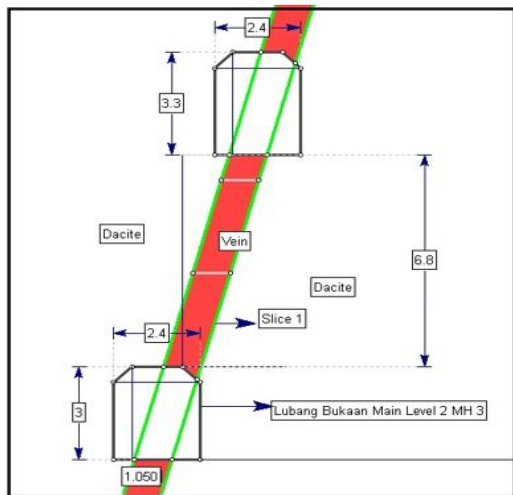
Tabel 1 : Hasil Pembobotan Klasifikasi Massa Batuan Lokasi Penelitian

Stope	Batuan	Kuat Tekan	RQD	Spasi	Rekahan	Air Tanah	Adjustment by Strike and Dip	Nilai RMR	Kelas
Level 2	Kuarsa	1	13	8	20	10	0	52	III
	MH3	Dacite	1	13	10	20	15	0	59

Selain nilai RMR data yang diperoleh di lapangan adalah berupa dimensi dari setiap lubang bukaan baik dimensi *main level* dan juga dimensi *sublevel-sublevelnya*. Kondisi *existing* dari *main level 2 MH 3* dapat dilihat pada gambar 1. Lubang bukaan untuk kegiatan produksi mengikuti arah *vein* sehingga hampir semua lubang bukaan produksi berada pada lokasi *vein*. Penggalan *vein* dilakukan dari bawah ke atas. *Main level* terlebih dahulu dibuat kemudian ekstraksi material dilakukan ke atas mengikuti *vein* dan pada ketianggian ± 7 m dibuat *sublevel* untuk menunjang kinerja alat dan dimaksudkan untuk mempermudah dalam kegiatan produksi.

Tabel 2 : Dimensi dan Kondis Lubang Bukaan Saat Penelitian Dilakukan.

Ket.	Lokasi Stope	Level	Lebar (m)	Tinggi (m)	Posisi stope	Material di atas	Jarak Stope Dari Permukaan (m)
Existing	Lubang Bukaan MH 3	2	2,3	3	Vein	Vein dan Country Rock	84,1
Existing	Sublevel 1 MH 3	2	2,3	4	Vein	Vein dan Country Rock	72,1
Existing	Sublevel 2 MH 3	2	2,4	2,4	Vein	Vein dan Country Rock	62,8
Existing	Sublevel 3 MH 3	2	2,4	3,5	Vein	Vein dan Country Rock	52,3
Existing	Sublevel 4 MH 3	2	2,4	2,3	Vein	Vein dan Country Rock	34,2



Gambar 2 : Dimensi Lubang Bukaannya Existing Main Level 2 MH 3

Setelah data lapangan diperoleh maka dilakukan pengambilan sampel secara sistematis untuk dilakukan pengujian di laboratorium. Pengujian di laboratorium menghasilkan parameter-parameter yang nantinya dibutuhkan untuk analisis kekuatan batuan. Parameter-parameter ini adalah nilai GSI (*geological strength index*), sudut geser dalam, kuat tekan batuan, kohesi dan tipe batuan. Adapun nilai parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada table 3 berikut ini.

Tabel 3 : Parameter Hasil Uji Laboratorium Untuk Setiap Jenis Batuan

No	Posisi	Foot Wall dan Hanging Wall				Ore							
		GSI	σ_c (Mpa)	E (Mpa)	D	GSI	σ_c (Mpa)	E (Mpa)	D				
1	Main Level	49	1,02	62,25	0,8	Dasit	25	52	1,32	94,34	0,8	Kuarsa	20
2	Sublevel 1	49	1,02	62,25	0,8	Dasit	25	52	1,32	94,34	0,8	Kuarsa	20
3	Sublevel 2	49	1,02	62,25	0,8	Dasit	25	52	1,32	94,34	0,8	Kuarsa	20
4	Sublevel 3	49	1,02	62,25	0,8	Dasit	25	52	1,32	94,34	0,8	Kuarsa	20

Keterangan :

GSI : *Geological Strength Index*

ϕ : Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)

E : Modulus Elastisitas (MPa)

σ_c : Kuat Tekan (MPa)

c : Kohesi (MPa)

Mi : Tipe Batuan

Setelah nilai parameter dari uji laboratorium didapatkan maka parameter tersebut dimasukkan dalam perangkat lunak *roclab* untuk memperoleh nilai konversi dari *intack rock* menjadi *mass rock*. Hal ini dilakukan untuk dapat melakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode elemen hingga menggunakan bantuan perangkat lunak *phase²*. Data keluaran *roclab* yang digunakan sebagai data masukan untuk *phase²* dapat dilihat pada table 4 berikut ini.

Tabel 4 : Data Hasil Konversi *Intack Rock* Menjadi *Rock Mass* dengan bantuan perangkat lunak *roclab*

No	Posisi	Foot Wall dan Hanging Wall				Ore					
		E (Mpa)	C (Mpa)	ϕ ($^{\circ}$)	σ_c (Mpa)	Batuan (mi)	E (Mpa)	C (Mpa)	ϕ ($^{\circ}$)	σ_c (Mpa)	Batuan (mi)
1	Main Level	10,43	0,127	23,30	-0,001	Dasit	10,64	0,102	21,26	-0,001	Kuarsa
2	Sublevel 1	10,43	0,127	23,30	-0,001	Dasit	10,64	0,102	21,26	-0,001	Kuarsa
3	Sublevel 2	10,43	0,127	23,30	-0,001	Dasit	10,64	0,102	21,26	-0,001	Kuarsa
4	Sublevel 3	10,43	0,127	23,30	-0,001	Dasit	10,64	0,102	21,26	-0,001	Kuarsa

Keterangan :

D : Faktor Peledakan

E : Modulus Elastisitas (MPa)

σ_c : Kuat Tekan (MPa)

c : Kohesi (MPa)

ϕ : Sudut Geser Dalam

Mi : Tipe Batuan

Tahap pemodelan pada penelitian ini terdiri atas dua tahap, yaitu pemodelan kondisi *existing*, *extract material*. Pemodelan *stopeexisting* diperlukan sebagai pijakan awal model dan sebagai koreksi *properties* material sebagai data masukan dalam pemodelan *stope*. Pemodelan tahap kedua bertujuan untuk mengambil *material* yang tersisa dengan cara membuat *stopebar* di atas *stopeexisting* (*slicing*) dengan asumsi *stopeexisting* telah selesai diisi dengan *filling waste*.

Dalam penelitian ini parameter yang akan diinterpretasi berdasarkan hasil model *numeric* berupa besar perpindahan (*displacement*), *strength factor*, dan faktor keamanan, di sekitar *stope* (*right/left wall* dan *roof*).

Data masukan material pengisi (*filling material*) untuk pemodelan menggunakan perangkat lunak *phase²* diperoleh dari 75% nilai *material properties* batuan yang dilakukan penggalian (dasit). Material *back filling* diambil dari material disekitar lubang bukaan. Material sekitar lubang bukaan terdiri dari batuan dasit dan material lainnya (*waste*). Parameter *input filling material properties* antara lain :

Young's Modulus (E) = 7,82 MPa

Tensile Strength = -0,00075 Mpa

Poisson's Ratio = 0,117

Friction Angle = 17,47 $^{\circ}$

Cohesion = 0,095 Mpa

Beberapa pendekatan yang digunakan dalam uji model *numeric* adalah :

1. Ukuran *stope* sesuai dengan hasil pengukuran lapangan (Tabel 4.5)
2. Penggambaran kondisi *stope*, baik *filling floor*, tinggi *pillar*, maupun *filling* diatas *pillar* akan digambarkan sesuai dengan kondisi masing-masing *stope*.
3. Tinggi *ore pillar* adalah ± 7 meter.
4. Permodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Phase²*.

Secara garis besar penilaian dilakukan sebanyak dua jenis pemodelan yaitu satu pemodelan untuk lubang bukaan saat penggalian dan yang kedua adalah pemodelan pengisian material pengisi pada lubang bukaan yang ditinggalkan.

4.2. Pembahasan

Penentuan kekuatan suatu lubang bukaan didasarkan pada kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan lubang bukaan itu sendiri. Dalam hal ini analisis kestabilan lubang bukaan pada Level 2 MH 3 dengan metode *Sublevel Stope* ditentukan dari kestabilan batuan pada setiap *stope* antar level. Setiap *stope* dalam level ini memiliki kestabilan yang berbeda-beda, mulai dari kondisi aman, kritis hingga kondisi tidak aman. Bentuk dan geometri dari *vein* itu sendiri juga mempengaruhi kestabilan lubang bukaan. Sehingga dalam pembahasan ini akan dilakukan analisis terhadap kestabilan lubang bukaannya.

4.2.1. Hasil Pemodelan Numerik

Hasil pemodelan numerik akan diberikan dalam dua tampilan data, yang pertama adalah penilaian terhadap lubang bukaan hasil penggalian dan yang kedua adalah penilaian terhadap lubang bukaan yang telah dilakukan pengisian material pengisi.

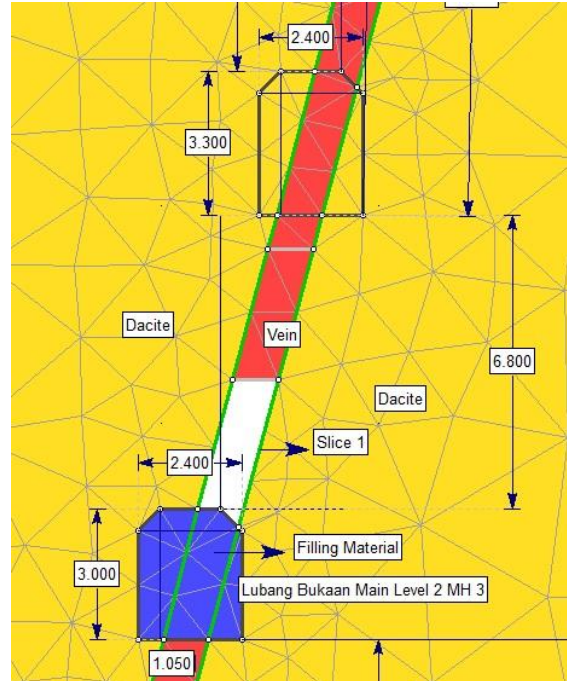
Pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak *phase²* menghasilkan luaran yang dapat digunakan untuk menghitung besar perpindahan lubang bukaan, *strength factor* dan *factor* keamanan. Perhitungan akan dilakukan pada *main level* dan *slice 1*. Sedangkan perhitungan untuk *sublevel* yang lain beserta *slice-slicenya* memiliki cara perhitungan yang sama sehingga pembahasan hanya pada *main level* dan *slice 1* saja.

4.2.1.1. Nilai Total Displacement

Nilai 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.

a. Main Level

Pada perhitungan sebelum dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi penilaian faktor keamanan mengalami keruntuhan akibat kekuatan batuan yang lebih kecil dari batas aman nilai *strength factor* dan *factor* keamanan (perhitungan manual).



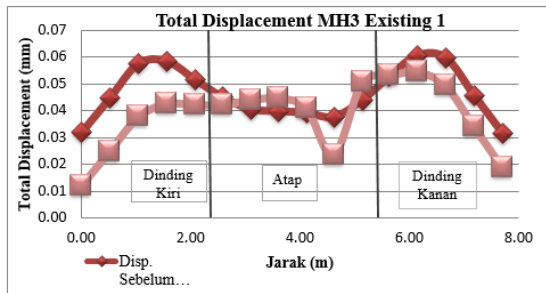
Gambar 3 :Keadaan *Stope* Dan *Slice 1* Setelah Dilakukan *Filling Material*

Nilai perpindahan batuan pada bukaan *main level* tidak terlalu besar. Besar nilai perpindahan hanya berkisar pada nilai 0,01 mm hingga 0,02 mm. Dari keseluruhan titik-titik yang menjadi acuan penilaian baik dinding kiri, dinding kanan dan atap lubang bukaan *main level* ini, perpindahan batuan justru semakin menurun nilainya dikarenakan telah dilakukan *filling material*.

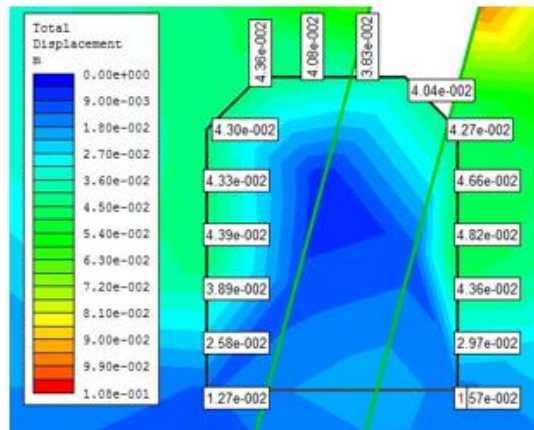
Gambaran grafiknya dapat dilihat pada Gambar 3. Grafik warna merah adalah distribusi titik yang dinilai dan merupakan nilai perpindahan sebelum dilakukan *filling material*. Sedangkan grafik warna ping adalah sebaran titik-titik penilaian setelah dilakukannya *filling material*. Adapun garis tegak hitam adalah batasan dari dinding kiri, dinding kanan dan atap lubang bukaan.

Tabel 5 : Nilai *Total Displacement Main Level* Setelah Dilakukan *Filling Material*

Lokasi Galian	Jarak (m)	Disp. Sebelum Filling	Disp. Sesudah Filling
Left Wall	0,00	0,03	0,01
Left Wall	0,52	0,04	0,02
Left Wall	1,04	0,06	0,04
Left Wall	1,56	0,06	0,04
Left Wall	2,08	0,05	0,04
Roof	2,58	0,05	0,04
Roof	3,10	0,04	0,04
Roof	3,60	0,04	0,04
Roof	4,12	0,04	0,04
Roof	4,62	0,04	0,02
Roof	5,14	0,04	0,05
Right Wall	5,64	0,05	0,05
Right Wall	6,16	0,06	0,05
Right Wall	6,68	0,06	0,05
Right Wall	7,20	0,05	0,03
Right Wall	7,72	0,03	0,02



Gambar 4 :Grafik *Total Displacement Main Level* Setelah *Filling Material*



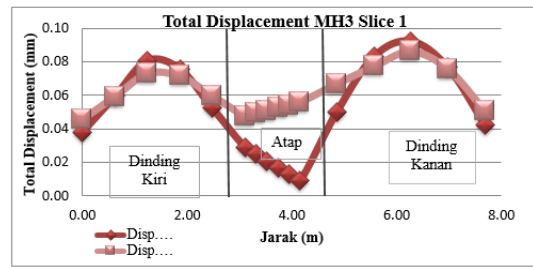
Gambar 5 : Hasil *Total Displacement Main Level* Setelah *Filling Material*

b. Slice 1

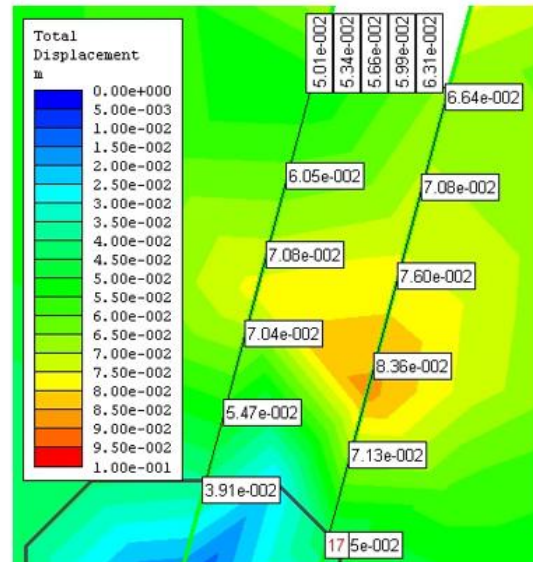
Nilai perpindahan batuan pada bukaan *slice 1* tidak terlalu besar. Bahkan nilai perpindahan bergerak menurun yang menandakan bahwa keadaan perpindahan batuan semakin kecil dan menggambarkan keadaan batuan yang semakin stabil. Besar nilai perpindahan hanya berkisar pada nilai 0,01 mm hingga 0,02 mm. Dari keseluruhan titik-titik yang menjadi acuan penilaian baik dinding kiri, dinding kanan dan atap lubang bukaan *slice 1* ini dapat dikatakan masih dalam keadaan aman berdasarkan penilaian perpindahan massa batuan nya. Data hasil perhitungan nilai perpindahan batuan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 : Nilai *Total Displacement Slice 1* Setelah *Filling Material*

Lokasi Galian	Jarak (m)	Disp. Sebelum Filling	Disp. Sesudah Filling
Left Wall	0,00	0,04	0,05
Left Wall	0,62	0,06	0,06
Left Wall	1,24	0,08	0,07
Left Wall	1,86	0,08	0,07
Left Wall	2,48	0,05	0,06
Roof	3,11	0,03	0,05
Roof	3,32	0,02	0,05
Roof	3,53	0,02	0,05
Roof	3,74	0,02	0,05
Roof	3,95	0,01	0,05
Roof	4,16	0,01	0,06
Right Wall	4,86	0,05	0,07
Right Wall	5,57	0,08	0,08
Right Wall	6,28	0,09	0,09
Right Wall	6,98	0,08	0,08
Right Wall	7,69	0,04	0,05



Gambar 6 : Hasil *Total Displacement slice 1* Setelah *Filling Material*



Gambar 7 : Hasil *Total Displacement Slice 1* Setelah *Filling Material*

4.2.1.2. Nilai Strength Factor

Strength factor adalah nilai yang dihitung dengan membagi kekuatan batuan dengan tegangan terinduksi pada setiap titik dalam *mesh*, kekuatan batuan yang dimaksud tergantung dari kriteria keruntuhan yang digunakan (kriteria Mohr Coulomb) dan tegangan terinduksi merupakan tegangan yang muncul akibat pengaruh kegiatan penambangan disekitar batuan seperti kegiatan pengeboran dan peledakan.

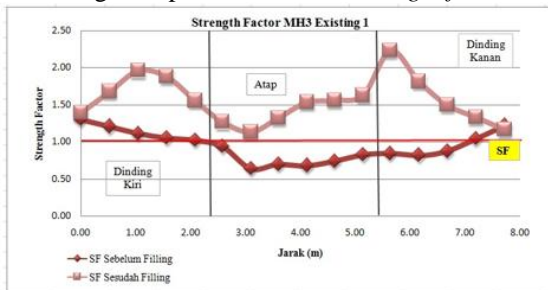
a. Main Level

Nilai *strength factor* yang ditunjukkan *phase²* (Tabel 5.3) memperlihatkan bahwa pada titik-titik penilaian mengalami kenaikan terutama pada atap dan dinding kanan. Kenaikan nilai *strength factor* ini terjadi karena ada *filling material* yang diberikan terhadap batuan sehingga kestabilan batuan lebih terjaga kestabilannya dan tidak terjadi keruntuhan. Nilai *strength factor* berada di antara 0 sampai 1, jika nilai SF > 1 maka batuan nya aman, jika = 1 maka keadaan batuan kritis dan jika nilai SF < 1 maka batuan dinyatakan *failure*.

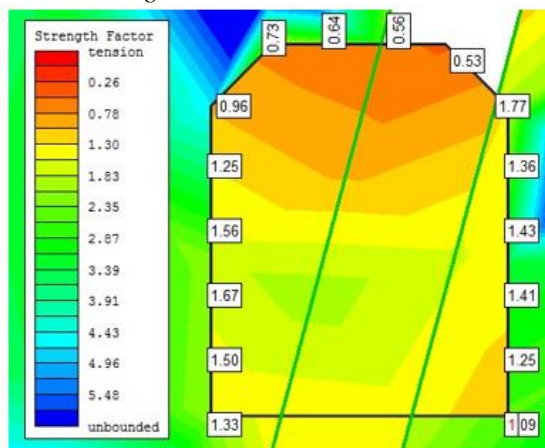
Tabel 7 : Nilai *Strength Factor Main Level* Setelah *Filling Material*

Lokasi Galian	Jarak (m)	SF Sebelum Filling	SF Sesudah Filling
Left Wall	0,00	1,30	1,39
Left Wall	0,52	1,21	1,68
Left Wall	1,04	1,11	1,96
Left Wall	1,56	1,05	1,88
Left Wall	2,08	1,02	1,55
Roof	2,58	0,94	1,27
Roof	3,10	0,64	1,13
Roof	3,60	0,70	1,32
Roof	4,12	0,68	1,53
Roof	4,62	0,74	1,56
Roof	5,14	0,83	1,63
Right Wall	5,64	0,84	2,23
Right Wall	6,16	0,82	1,81
Right Wall	6,68	0,87	1,50
Right Wall	7,20	1,04	1,33
Right Wall	7,72	1,22	1,17

Gambaran grafiknya dapat dilihat pada Gambar 7. Dalam grafik di atas dapat dilihat bahwa grafik warna merah adalah distribusi titik yang dinilai dan merupakan nilai perpindahan sebelum dilakukan *filling material*. Sedangkan grafik warna ping adalah sebaran titik-titik penilaian setelah dilakukannya *filling material*. Adapun garis tegak hitam adalah batasan dari dinding kiri, dinding kanan dan atap lubang bukaan. Garis merah yang melintang merupakan batas nilai *strength factor*.



Gambar 8 : Grafik *Strength Factor Main Level* Setelah *Filling Material*



Gambar 9 : Hasil Numerik *Strength Factor Main Level* Setelah *Filling Material*

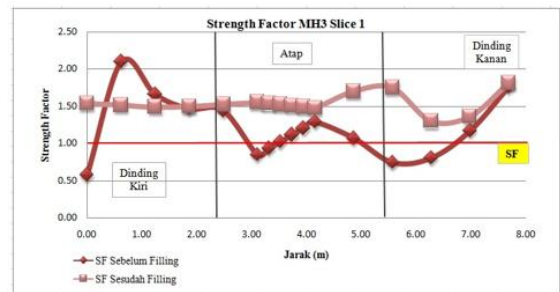
b. Slice 1

Nilai *strength factor* yang ditunjukkan *phase*² memperlihatkan bahwa pada titik-titik penilaian mengalami kenaikan dan dalam kondisi aman. Kenaikan nilai *strength factor* ini terjadi karena *filling material* terhadap batuan sehingga kestabilan batuan terjaga dan kekuatan batuan mengalami

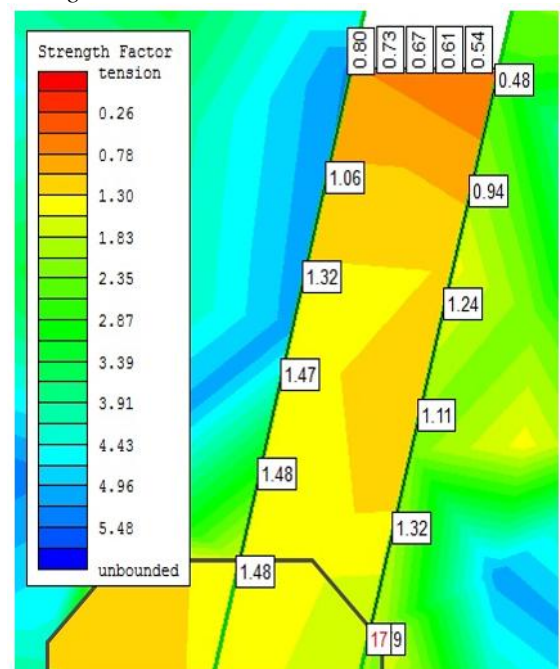
kenaikan yang dapat menjaga kestabilan batuan. Namun penurunan tidak terlalu banyak dikarenakan penggalian *slice 1* tidak membongkar batuan dengan dimensi bukaan yang besar seperti halnya pada *main level*.

Tabel 8 : Nilai *Strength Factor Slice 1* Setelah *Filling Material*

Lokasi Galian	Jarak (m)	SF Sebelum Filling	SF Sesudah Filling
Left Wall	0,00	0,58	1,54
Left Wall	0,62	2,10	1,51
Left Wall	1,24	1,66	1,49
Left Wall	1,86	1,47	1,50
Left Wall	2,48	1,44	1,52
Roof	3,11	0,85	1,55
Roof	3,32	0,93	1,54
Roof	3,53	1,02	1,52
Roof	3,74	1,11	1,51
Roof	3,95	1,20	1,49
Roof	4,16	1,29	1,48
Right Wall	4,86	1,07	1,70
Right Wall	5,57	0,74	1,75
Right Wall	6,28	0,80	1,30
Right Wall	6,98	1,17	1,36
Right Wall	7,69	1,76	1,81



Gambar 10 : Grafik *Strength Factor Slice 1* Setelah *Filling Material*



Gambar 11 : Hasil Numerik *Strength Factor Slice 1* Setelah *Filling Material*

4.2.1.3. Faktor Keamanan

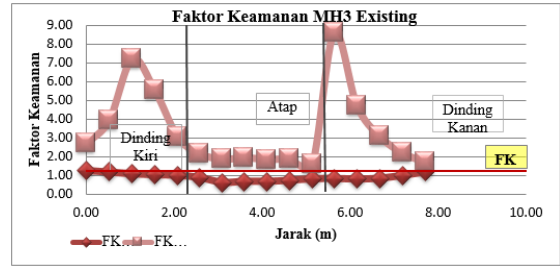
Nilai Faktor Keamanan (FK) juga menggunakan perangkat lunak *phase²* dalam penentuan nilainya. Perhitungan nilai faktor keamanan didasarkan pada kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb yakni perbandingan antara kekuatan batuan dengan beban yang diberikan kepadanya. Adapun parameter yang digunakan pada penentuan nilai FK ini adalah sudut geser dalam (ϕ), kohesi (C), sigma 1 (σ_1) dan sigma (σ_3).

a. Main Level

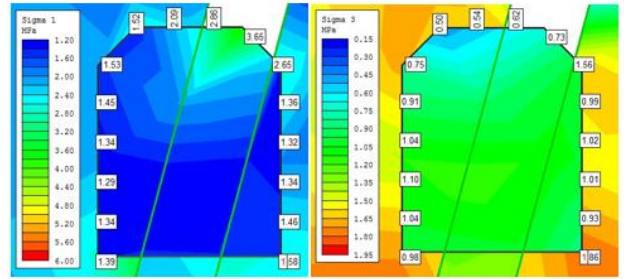
Nilai Faktor Keamanan setelah dilakukannya *filling material* terlihat mengalami kenaikan pada semua sisi lubang bukaan. Hal ini terjadi karena kestabilan batuan dapat terjaga dan mengalami kenaikan sehingga dapat mencegah terjadinya keruntuhan. Gaya-gaya yang berada pada semua sisi lubang bukaan tidak dapat menekan kearah bukaan karena telah terisi dengan *filling material* sehingga dapat menjaga kestabilan batuan. Jika dilihat dari hasil perhitungan Faktor Keamanan ini maka dapat dipastikan bahwa batuan ini aman dan tidak *failure*. Data hasil perhitungan faktor keamanannya dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10 yang terdapat pada lampiran. Hubungan antara hasil perhitungan sebelum dan sesudah penggalian dapat dilihat pada Gambar 12. Grafik merah adalah distribusi titik penilaian faktor keamanan sebelum penggalian sedangkan grafik warna ping adalah distribusi penilaian faktor keamanan sesudah *filling material*. Garis hitam adalah pembatas antara dinding dan atap. Garis merah adalah batas nilai Faktor Keamanan.

Tabel 9 : Nilai faktor keamanan *Main Level* sebelum dan sesudah *filling material*.

No.	Jarak (m)	Lokasi Galian	FK Sebelum Filling	FK Sesudah Filling
1	0.00	Dinding Kiri	1.29	2.69
2	0.52	Dinding Kiri	1.20	3.93
3	1.04	Dinding Kiri	1.11	7.19
4	1.56	Dinding Kiri	1.05	5.52
5	2.08	Dinding Kiri	1.02	3.04
6	2.58	Atap	0.90	2.17
7	3.10	Atap	0.63	1.86
8	3.60	Atap	0.69	1.95
9	4.12	Atap	0.69	1.85
10	4.62	Atap	0.74	1.87
11	5.14	Atap	0.83	1.59
12	5.64	Dinding Kanan	0.84	8.57
13	6.16	Dinding Kanan	0.82	4.72
14	6.68	Dinding Kanan	0.86	3.08
15	7.20	Dinding Kanan	1.02	2.19
16	7.72	Dinding Kanan	1.21	1.71



Gambar 12 : Grafik Faktor Keamanan *Main Level* Setelah *Filling Material*

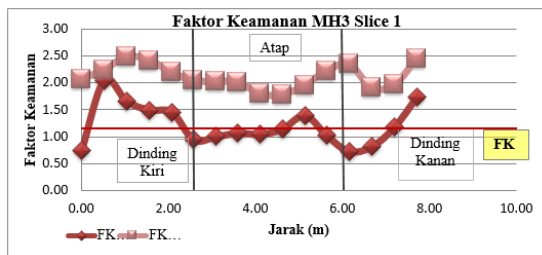


Gambar 13 : Hasil *Sigma 1* Dan *Sigma 3 Main Level* Setelah *Filling Material*

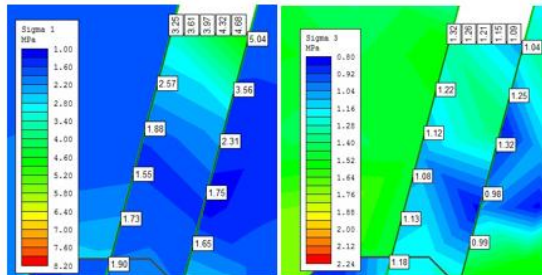
b. Slice 1

Nilai Faktor Keamanan pada *slice 1* setelah dilakukannya *filling material* terlihat mengalami kenaikan pada semua sisi lubang bukaan. Hal ini terjadi karena kestabilan batuan dapat terjaga dan mengalami kenaikan sehingga dapat mengurangi terjadinya keruntuhan. Gaya-gaya yang berada pada semua sisi lubang bukaan tidak dapat menekan kearah bukaan karena telah terisi dengan *filling material* sehingga dapat menjaga kestabilan batuan. Jika dilihat dari hasil perhitungan Faktor Keamanan ini maka dapat dipastikan bahwa batuan ini aman dan tidak *failure*. Hubungan antara hasil perhitungan sebelum dan sesudah penggalian dapat dilihat pada Gambar 14. Grafik merah adalah distribusi titik penilaian faktor keamanan sebelum penggalian sedangkan grafik warna ping adalah distribusi penilaian faktor keamanan sesudah *filling material*. Garis hitam adalah pembatas antara dinding dan atap. Garis merah adalah batas nilai Faktor Keamanan. Adapun table nilai hasil perhitungan faktor keamanan dapat dilihat pada table 11 dan 12 yang terdapat pada lampiran. Tabel 10: Nilai faktor keamanan *Slice 1* sebelum dan sesudah *filling material*.

No.	Jarak (m)	Lokasi	FK Sebelum	FK Sesudah
			Filling	Filling
1	0.00	Left Wall	0.74	2.06
2	0.52	Left Wall	2.05	2.24
3	1.04	Left Wall	1.66	2.48
4	1.56	Left Wall	1.50	2.41
5	2.08	Left Wall	1.46	2.19
6	2.58	Roof	0.94	2.04
7	3.10	Roof	1.00	2.02
8	3.60	Roof	1.07	2.00
9	4.12	Roof	1.05	1.79
10	4.62	Roof	1.14	1.78
11	5.14	Roof	1.40	1.95
12	5.64	Right Wall	1.03	2.22
13	6.16	Right Wall	0.73	2.34
14	6.68	Right Wall	0.81	1.90
15	7.20	Right Wall	1.17	1.97
16	7.72	Right Wall	1.74	2.45



Gambar 14 : Grafik Faktor Keamanan Slice 1 Setelah Filling Material



Gambar 15 : Hasil Sigma 1 Dan Sigma 3 Slice 1 Setelah Filling Material

5. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan, penelitian dan perhitungan terhadap kestabilan lubang bukaan pada Level 2 MH 3 lokasi tambang Way Semuong, maka dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Total Displacement

a. Main Level

Kondisi *stope main level* secara *overall* masih dalam keadaan aman ditunjukkan dari nilai *total displacement* yang meningkat setelah dilakukannya *filling material* yaitu dari 0,05 mm menjadi 0,04 mm.

b. Slice 1

Hal yang sama ditunjukkan pada *slice 1* masih dalam keadaan aman dengan nilai *total displacement* meningkat setelah dilakukannya *filling material* yaitu dari 0,06 mm menjadi 0,05 mm.

2. Strength Factor

a. Main Level

Kondisi *stope main level* masih dalam kondisi aman yang ditunjukkan dengan nilai *strength factor* yang mengalami peningkatan setelah dilakukannya *material filling* yaitu dari 0,94 menjadi 1,56. Dengan batas *failure* untuk *strength factor* = 1.

b. Slice 1

Kondisi *slice 1* juga menunjukkan peningkatan nilai *strength factor* setelah dilakukannya *material filling* yaitu 1,2 menjadi 1,54. Dengan batas *failure* untuk *strength factor* = 1.

3. Faktor Keamanan

a. Main Level

Kondisi *stope main level* masih dalam kondisi aman yang ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan yang mengalami peningkatan setelah dilakukannya *material filling* yaitu dari 0,93 menjadi 3,37. Dengan batas *failure* untuk faktor keamanan= 1,2.

b. Slice 1

Demikian juga dengan *slice 1* yang juga mengalami peningkatan nilai faktor keamanan dari 1,2 menjadi 2,1 setelah dilakukannya *filling material*. Dengan batas *failure* untuk faktor keamanan= 1,2.

Data selengkapnya mengenai nilai *total displacement*, *strength factor* dan faktor keamanan untuk setiap lubang bukaan pada Level 2 MH 3 termasuk dengan *slicenya* dapat dilihat pada Tabel 13 yang terdapat pada lampiran.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada PT. Natarang Mining dan semua yang telah membantu dalam kegiatan penelitian di lokasi, Tim penguji laboratorium yang telah bekerja dengan sangat baik, serta Tim dosen Teknik Pertambangan UPN"Veteran"Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z.T., 1976, *Rock Mass Classifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling.*, The Pennsylvania State University, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 272.
- Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Rock Mass Classifications.*, John Wiley & Sons, New York, p. 251.
- Brady, B.H.G., Brown, E.T., 2005, *Rock Mechanics for Underground Mining*, 3 Ed., Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, p. 356-357.
- Dwinagara, B., Bagus, W., Idris, M. O., 2008, *Aplikasi Pemodelan Numerik (Phase²) Pada Tambang Bawah Tanah, UBPE Pongkor PT. Antam Tbk.*

- Hoek, E., Brown, E.T., 1980, *Underground Excavation in Rock.*, Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 527.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering*, 3 Ed., Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 402.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995, *Rock Support for Underground Excavations in Hard Rock.*, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 215.
- Hoek, E., Ceranza-Torres, C., Corkum B., 2002, *Hoek-Brown Failure* - Ed. 2002., Proceeding of The 5th North American Rock Mechanics Symposium, and 17th Tunnelling Association of Canada Conference, NARM-TAC 2002., July 7-10., University of Toronto, p. 267-271.
- Hudson, J.A., 1989, *Rock Mechanics Principles in Engineering Practice.*, CIRIA Ground Engineering Report, p. 72.
- Kresno, Siri, H. T., 2001, *Metode Tambang Bawah Tanah.*, Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. CV. Awan Poetih.
- PT. Natarang Mining, (1998), *Way Linggo Project Feasibility Study Report*, PT. Natarang Mining, Jakarta.
- Sudarsono., Hariyanto, R., 2010, *Klasifikasi Batuan Untuk Menentukan Jenis Penyangga*, Buku Panduan Praktek Tambang Bawah Tanah., Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. CV. Awan Poetih.