

Analisis Stabilitas Lombong (Stope) Blok 1 SOD Level 7 Tambang Emas Bawah Tanah PT. Dempo Maju Cemerlang, Salido, Provinsi Sumatera Barat

Muhamad iqbal^{1*}, Drs. Raimon Kopa, M.T

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*muhammadiqbal052@gmail.com

Abstract. Research was conducted at the underground mine of PT Dempo Maju Cemerlang, which is focused in gold mining and is located in Pesisir Selatan Regency, West Sumatra Province. This research focuses on the analysis of the stability of the stope and pillar in mining. Mining activities are carried out with an underground mining system using the method, shrinkage stoping namely mining by creating a level level. Within these levels are made stopes or rooms. The blasted ore is removed as a whole, forming stope an empty. If it is feared that a collapse will occur, and this is undesirable, then the stope can be filled with waste originating from the tailing dump, therefore it is necessary to analyze the safety factor before and after filling the material using the help of software Phase2 with the mohr-coulumb collapse criteria. In detail, the observation area is carried out at Level 7 SOD Block 1 with block dimensions of 30 x 30 m. From the modeling results stope before and after the filling material, the safety factor is obtained from 1.59 to 3.63 so that it is categorized as safe. However, for the pillar safety factor, there is one point that is in critical condition, namely 1.03, so a support system recommendation is needed. For this reason, a simulation of giving is carried out shotcrete with a thickness of 100 mm on a critical pillar to increase the safety factor, so that the pillar safety factor is 1.63 so it is categorized as safe.

Keywords: shrinkage stoping, safety factor, pillar, filling material

1 Pendahuluan

PT. Dempo Maju Cemerlang merupakan salah satu perusahaan tambang emas yang menggunakan sistem tambang bawah tanah. Proses penambangannya, PT. Dempo maju cemerlang menggunakan metode *shrinkage* yaitu penambangan dengan cara membuat level-level. Didalam level-level tersebut dibuat *stope-stope* atau lombong-lombong. Dalam proses pengambilan bijih dihancurkan secara metode penggalian dari bawah ke atas (*over hand*) dan dibiarkan berkumpul didalam *stope*. Penambangan bijih dilakukan pada sayatan horizontal dimulai dari bagian bawah mengarah keatas melalui suatu *manway*. *Manway* dibuat dekat *pillar vertical* yang memisahkan *stope* yang berdekatan.

Kegiatan penambangan bawah tanah pada PT. DMC dengan cara membuat level-level akan selalu dihadapkan pada masalah deformasi dan kestabilan massa batuan disekitar lubang bukaan bawah tanah yang bersangkutan dengan keselamatan kerja serta lancarnya kegiatan aktifitas penambangan. Penggunaan sistem penyanggaan dan penguatan yang tepat akan berdampak pada lokasi kerja yang lebih aman serta target produksi yang direncanakan dapat tercapai. Untuk memenuhi tuntutan tersebut, maka pembuatan desain penyanggaan harus sesuai dengan kondisi batuan dan keadaan

ketidakmenerusan yang terbentuk dari lokasi penambangan dan kaidah geologi teknik yang baik.

Pemilihan lombong Blok 1 SOD level 7 sebagai tempat pengamatan penelitian karena adanya kegiatan pengambilan ore pada blok 1 area SOD yang nantinya akan meninggalkan *pillar* setelah pengambilan ore selesai. Lombong ini nantinya akan diisi dengan *material filling* untuk menjaga stabilitas kegiatan penambangan yang nantinya akan ditinggalkan setelah kegiatan produksi selesai. Penelitian dilakukan pada Level 7 yang terdapat pada jalur *main vein*. Penggalian penambangan dilakukan searah dengan *vein*. Lubang bukaan utama pada level 7 memiliki dimensi berbentuk tapal kuda dengan ukuran lebar 2,2 m dan tinggi 2,4 m.

Objek utama penelitian adalah lombong blok 1 SOD Level 7 yang berada pada 320 m dari mulut terowongan. Blok 1 SOD memiliki ukuran panjang 30 m ,tinggi 30 m dan lebar 2 m serta berada pada elevasi 171 mdpl – 173 mdpl. Saat ini, blok tersebut telah berhenti produksi dan hanya menyisakan *pillar* dengan tebal 3m dan 5m. Diantara blok penambangan ada *chute* yang jaraknya 5 meter antara *chute* satu dengan yang lainnya. Jenis batuan pada wilayah penambangan yaitu lava andesit, kuarsit dan batu pasir kuarsa.

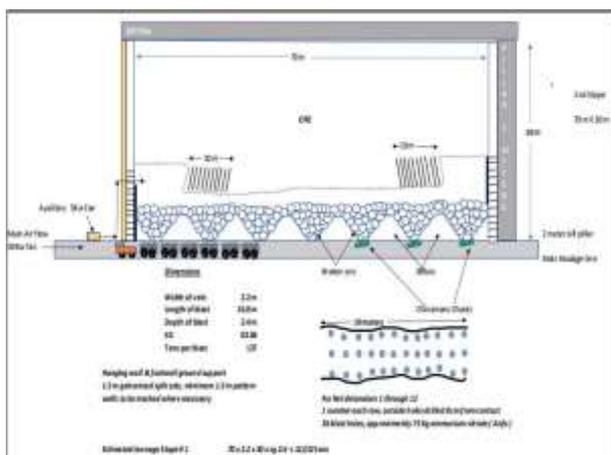
Maka dari itu, perlu dilakukan pengamatan terhadap kondisi lombong dan berbagai uji laboratorium terhadap sampel massa batuan sebagai penyusun lombong tersebut. Analisis ini dapat digunakan menentukan kekuatan batuan dan kelas massa batuan. Dengan menggunakan metode *finite element* pada phase2 untuk mendapatkan faktor keamanan, pada lombong dan pilar saat dalam kondisi kosong dan setelah dilakukan *filling material*.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Teknis Penambangan *Shrinkage Stopping*

Shrinkage stopping adalah sistem penggaliannya dilakukan secara *overhand*. *Shrinkage stopping* diterapkan untuk badan bijih yang besar, kemiringan 50° - 90° (*sleeply*). Metode ini terletak antara kelas *open stope* dan *filled stope*. Bijih dihancurkan secara metode *overhand* dan dibiarkan terkumpul dalam *stope*. Mengingat bijih akan mengembang bila dihancurkan sekitar 35% dari volume batuan yang dihancurkan setiap peledakan harus diambil untuk memberikan ruangan yang cukup bagi pekerja untuk bekerja diantara bagian atas bijih lepas dengan atap. Seperti pada gambar 1.

Apabila bijihnya lemah, maka bagian atas pekerja dapat disangga dengan baut batuan selama penambangan. Dinding *stope* secara otomatis akan disangga oleh bijih lepas sampai kegiatan penambangan bijih selesai. Selanjutnya bijih diambil secara keseluruhan, membentuk *stope* yang kosong. Dalam kasus ini membentuk *open stope* atau metode *shrinkage stopping* general. Apabila dikhawatirkan akan terjadi keruntuhan, dan hal ini tidak diinginkan, maka *stope* dapat diisi oleh *waste* yang berasal dari *stope* atau kegiatan diatasnya, dalam kasus ini membentuk *filled stope* atau metode *shrinkage and fill*.



Sumber: Metode *Shrinkage Stopping* PT.DMC

Gambar 1. Sistem *Shrinkage Stopping*

2.2 Pillar

Istilah *pillar* dikenal sebagai penyanggaan diri dari massa batuan itu sendiri. Sebuah *pillar* dapat

didefinisikan sebagai “batuan in-situ diantara dua atau lebih bukaan bawah tanah”(Coiltes,1981). Pada tambang bawah tanah *pillar* diklasifikasikan menjadi tiga yaitu *protective pillar*, *level pillar*, dan blok *pillar* (Ratan Raj Tatiya, 2005). Seperti gambar 2.

2.2.1 Protetive pillar

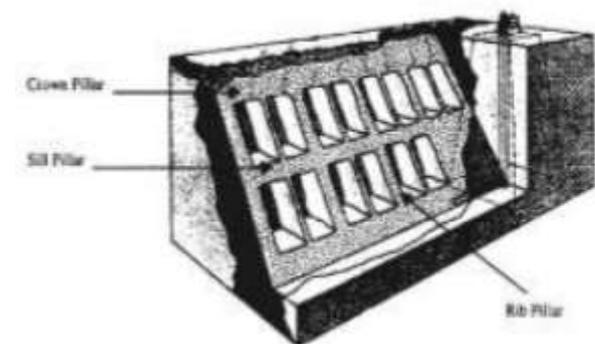
Protetive pillar digunakan untuk melindungi *shaft* pada tambang bawah tanah dan dapat juga untuk membatasi yang ada disebelahnya, *pillar* ini juga dikenal dengan istilah *pillar* batas.

2.2.2 Level pillar

Nama lain *pillar* ini adalah *sill pillar* merupakan *pillar* yang berada diatas dan dibawah level tempat kerja atau sebagai penyangga.

2.2.3 Blok pillar

Merupakan *pillar* yang berada diantara dua *stope* yang saling berdekatan, *pillar* ini juga dikenal dengan istilah *rib pillar*.



Gambar 2. Jenis *pillar* pada tambang batuan keras (betournay, 1989)

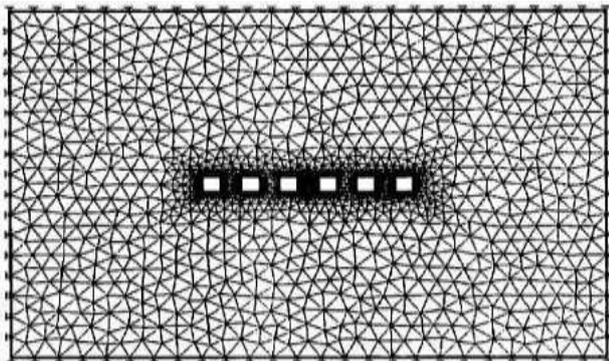
2.3 Sistem Rock Mass Rating

Sistem *Rock Mass Rating* atau dikenal dengan *Geomechanics Classification* telah dimodifikasi berulang kali ketika informasi baru dari studi-studi kasus yang diperoleh dan menjadikannya sesuai dengan Standar Internasional dan prosedur. RMR terdiri dari 5 parameter utama dan 1 parameter pengontrol (6 Poin) untuk membagi massa batuan. Parameter klasifikasi massa batuan berupa UCS (*Uniaxial Compressive Strength*), RQD, spasi bidang diskontinu, kondisi bidang diskontinu, kondisi air tanah serta koreksi orientasi kekar.

2.4 Pemodelan Numerik

Metoda elemen hingga adalah salah satu metoda numerik yang menggunakan pendekatan differensial. Metoda ini dapat digunakan untuk menganalisis kondisi tegangan dan regangan pada suatu struktur batuan yang sangat kompleks. Prinsip dasar perhitungannya adalah dengan cara membagi suatu media continuum menjadi beberapa elemen yang lebih kecil (*diskretize*). Elemen

yang lebih kecil ini merupakan elemen berhingga dan umumnya memiliki bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan dengan continumnya. Salah satu perangkat lunak (*software*) yang sering digunakan dalam pemodelan kondisi suatu struktur batuan yang sangat kompleks yaitu *Phase2* yang dikembangkan oleh *Rockscience*. Mesh dengan elemen hingga untuk program *Phase2* bisa dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Mesh dengan elemen hingga untuk program *Phase2*

2.5 Perhitungan Faktor Keamanan Dengan Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulumb

Nilai faktor keamanan (FK) dapat dihitung dengan menggunakan kriteria Mohr-Coulumb yang mempertimbangkan tegangan principal batuan. Cara perhitungannya dengan berdasarkan pada gambar 4, sehingga dapat dihitung nilai PA dan PB, serta Nilai FK berdasarkan kedua nilai tersebut yang terdapat pada persamaan 2 sampai 3.

$$AC = \sigma_1 = \sigma_c + \sigma_3 \tan \psi \quad (1)$$

$$BC = \sigma_1 \quad (2)$$

$$FK = \frac{AC}{BC} = \frac{\sigma_c + \sigma_3 \tan \psi}{\sigma_1} = \frac{\frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} + \sigma_3 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}{\sigma_1} \quad (3)$$

Dengan:

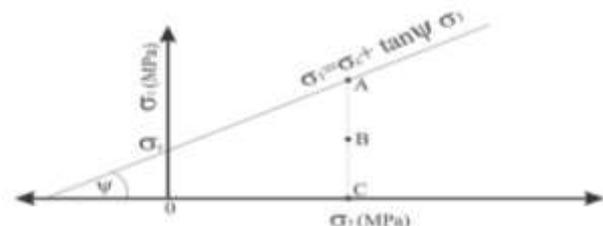
σ_1 = Tegangan Principal Mayor (Mpa)

σ_3 = Tegangan Principal Minor (Mpa)

σ_c = Kuat tekan (UCS) (Mpa)

C = Kohesi (Mpa)

ϕ = Sudut geser dalam ($^{\circ}$)



Gambar 4. Grafik Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulumb

3 Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenis data yang akan diperoleh maka penelitian ini tergolong kedalam penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya.

3.2 Teknik pengumpulan data

Tahap Orientasi di lapangan dilakukan dengan melakukan peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi daerah penelitian dan kegiatan penambangan di lokasi tersebut.

Tahap selanjutnya yaitu pengambilan data lapangan data yang diambil berupa data primer, mencakup pengamatan langsung yang akan dilakukan tepatnya dilubang bukaan produksi area SOD blok 1 berupa struktur geologi, spasi/jarak dari ketidakmenerusan, kondisi dari ketidakmenerusan, (kekasaran, jarak pemisahan bidang ketidakmenerusan, isian bidang ketidakmenerusan, dan pelapukan), kondisi air tanah, orientasi ketidakmenerusan; arah jurus (*strike*) dan kemiringan (*dip*) ketidakmenerusan, pengukuran dimensi *stope* dan pengambilan sampel batuan untuk dilakukan uji sifat fisik dan mekanik batuan.

Data sekunder berupa peta geologi daerah penelitian, peta WIUP dan *layout* blok 1 SOD.

3.3 Teknik Analisis Data

Pengolahan data yang telah dilakukan pertama Melakukan pengolahan terhadap data-data yang diperoleh sebagai acuan dalam pemodelan menggunakan metode elemen hingga. Kedua Pembuatan pemodelan lubang bukaan yang sesuai dengan kondisi lapangan dengan metode elemen hingga. Ketiga Penentuan faktor keamanan lubang bukaan dengan menggunakan metode elemen hingga. hasil pengolahan data tersebut data akan dianalisis dengan menggunakan metode analisis karakteristik batuan *Rock Mass Rating* (RMR) dan pemodelan numeriknya menggunakan metode *finite element* pada software *phase2*.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui, dalam mekanika batuan sifat batuan dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu sifat fisik dan mekanik. Adapun kegiatan yang dilakukan dilaboratorium tambang FT UNP adalah menentukan nilai sifat fisik dan mekanik dari perconton Andesit dan Ore.

4.1.1 Sifat Fisik Batuan

Penentuan sifat fisik batuan dilakukan untuk mengetahui nilai parameter – parameter fisik batuan tanpa merusak perconton batuan (*non destructive test*) yang diuji di laboratorium. Dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

Material Andesit										
Tanggal	Bobot asli (gr/cm ³)	Bobot jernih (gr/cm ³)	Bobot bening (gr/cm ³)	Aggregasi spesifik graviti	Tras spesifik graviti	Kadar air (%)	Kadar lemak (%)	Densitas (gr/cm ³)	Porositas (%)	Angka pori
1	2.46	2.49	2.45	2.45	2.54	0.42	1.34	30.99	3.29	0.03
2	2.50	2.52	2.47	2.47	2.59	1.09	1.88	38.16	4.65	0.05
3	2.45	2.47	2.42	2.42	2.55	1.08	2.11	51.35	5.11	0.05
Rata-rata	2.47	2.49	2.45	2.45	2.56	0.86	1.78	46.83	4.35	0.05

Material ORE										
Tanggal	Bobot asli (gr/cm ³)	Bobot jernih (gr/cm ³)	Bobot bening (gr/cm ³)	Aggregasi spesifik graviti	Tras spesifik graviti	Kadar air (%)	Kadar lemak (%)	Densitas (gr/cm ³)	Porositas (%)	Angka pori
1	2.40	2.43	2.39	2.39	2.48	0.51	1.50	20.59	3.58	0.04
2	2.39	2.42	2.37	2.37	2.48	0.84	1.92	43.68	4.55	0.05
3	2.46	2.48	2.43	2.43	2.56	1.24	2.10	59.14	5.09	0.05
Rata-rata	2.42	2.44	2.40	2.40	2.51	0.80	1.84	41.14	4.41	0.05

4.1.2 Sifat Mekanik Batuan

Uji kuat tekan uniaksial ialah pengujian sifat mekanik batuan untuk mengetahui kuat tekan uniaksial itu sendiri, batas elastis, Modulus Young rata-rata dan Poisson's Ratio. Hasil uji sifat mekanik dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Mekanik Batuan Ore

Material	σ_c	σ_e	E	V
Ore	27.422	21.314	21.070	0.349
Ore2	24.359	21.712	21.766	0.353
Ore3	24.224	21.577	22.416	0.303
Rata-Rata	25.335	21.534	21.751	0.335

Tabel 3. Hasil Uji Sifat Mekanik Batuan Andesit

Material	σ_c	σ_e	E	V
Andesit	33.304	19.440	13.509	0.237
Andesit 2	36.044	24.598	14.286	0.309
Andesit 3	35.854	23.364	14.249	0.320
Rata-Rata	35.067	22.467	14.015	0.288

Keterangan :

- σ_c = Kuat Tekan Uniaksial
- σ_e = Batas Elastik
- E = Modulus Young
- V = Poissons Ratio

4.2 Parameter Pembobotan Kelas Massa Batuan

Dari analisis data *discontinuitas*, maka dapat ditentukan bobot masing-masing parameter *rock mass rating* (RMR). Pertama pembobotan klasifikasi massa batuan pada atap dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pembobotan klasifikasi massa batuan pada Atap

PARAMETER		
	Nilai	Bobot
Intact Rock Strength	25.335	4
RQD	87.98	17
Joint Spacing	0.19	8
Joint Persistence	1 - 2	4
Joint Aperture	None	6
Roughness	Rough	5
Infilling	None	6
Weathering	Slightly Weathered	5
Ground Water	Wet	7
Strike Dip Orientation	Favourable	-2
Jumlah		60

Kedua pembobotan klasifikasi massa batuan pada dinding kanan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pembobotan klasifikasi massa batuan pada dinding kanan.

PARAMETER		
	Nilai	Bobot
Intact Rock Strength	35.1	4
RQD	86.2	17
Joint Spacing	0.15	8
Joint Persistence	<1 m	6
Joint Aperture	None	6
Roughness	Rough	5
Infilling	None	6
Weathering	Slightly weathered	5
Ground Water	Damp	10
Strike Dip Orientation	very favourable	0
Jumlah		67

Ketiga pembobotan klasifikasi massa batuan pada dinding kiri dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Pembobotan klasifikasi massa batuan pada dinding kiri.

PARAMETER		
	Nilai	Bobot
Intact Rock Strength	35.1	4
RQD	85.2	17
Joint Spacing	0.15	8
Joint Persistence	<1 m	6
Joint Aperture	None	6
Roughness	Rough	5
Infilling	None	6
Weathering	Slightly weathered	5
Ground Water	Wet	7
Strike Dip Orientation	Favourable	-2
Jumlah		62

Nilai RMR adalah penjumlahan total dari bobot kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength*), *Rock Quality Designation* (RQD), spasi diskontinuitas, keadaan diskontinuitas, keadaan air tanah dan orientasi diskontinuitas. Bobot masing-masing parameter RMR diperoleh dari tabel ringkasan *rock mass rating system*. Bobot yang digunakan adalah berdasarkan nilai ataupun kondisi parameter.

Dari hasil mapping geotek maka diketahui bahwa kelas massa batuan di Blok 1 SOD termasuk kedalam kelas III pada atap atau kategori sedang (*Fair Rock*) dengan nilai RMR 41-60 dan pada dinding kiri dan kanan termasuk kedalam kelas II atau kategori baik (*Good Rock*) dengan nilai RMR antara 61-80.

4.3 Parameter Massa Batuan

Parameter (tabel 7) berikut digunakan untuk memperoleh nilai kekuatan batuan utuh (*intact rock*), nilai kuat tarik, modulus *deformasi*, *kohesi*, dan sudut geser dalam menggunakan *software Roclab V 1.010* berdasarkan analisis tegangan *Mohr - Coulomb*.

Tabel 7. Parameter input Roclab V 1.010

Nama	σ_c (MPa)	GSI	D	Mi		Bobot Isi (MN/m ³)
				Batuan	Nilai	
Atap	25,335	55	0,8	Kuarsa	20	0,024406
Dinding kiri dan kanan	35,067	57	0,8	Andesit	25	0,024924

Keterangan :

GSI : Geological Strenght Index
 D : Faktor Peledakan
 σ_c : Kuat Tekan (MPa)

Berikut adalah hasil pengolahan data dengan menggunakan *software Roclab V 1.010* (tabel 8). Selanjutnya nilai ini dijadikan parameter input untuk mengetahui kondisi tegangan pada lubang bukaan dan *pillar* dengan menggunakan *software Phase2 V 8.0*.

Tabel 8. Output Pengolahan *Software Roclab*

Nama	σ_c (MPa)	C	ϕ	Mi
				Batuan
Atap	0,815	0,390549	42,7685	Kuarsa
Dinding Kiri dan Kanan	1,318	0,506675	47,7663	Andesit

Keterangan :

ϕ : Sudut Geser Dalam ($^\circ$)
 σ_c : Kuat Tarik (MPa)
 c : Kohesi (MPa)
 Mi : Tipe Batuan

4.4 Bentuk Pemodelan Lombong

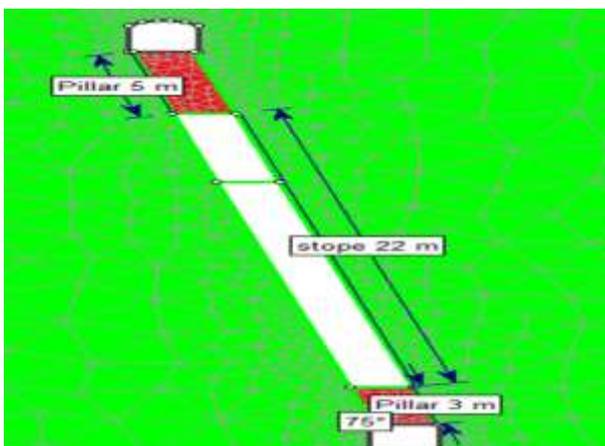
Data masukan material pengisi (*filling material*) untuk pemodelan menggunakan perangkat lunak *phase²* diperoleh dari 62% nilai *material properties* batuan yang dilakukan penggalian (Ore). Material *back filling* diambil dari hasil *tailing dump*. Material itu terdiri dari batuan kuarsa dan material lainnya (*waste*).

Dari data hasil *ouput software roclab* dijadikan masukan untuk pemodelan menggunakan perangkat lunak *phase²* antara lain pada tabel dibawah ini.

Tabel 9. Parameter *input phase2*

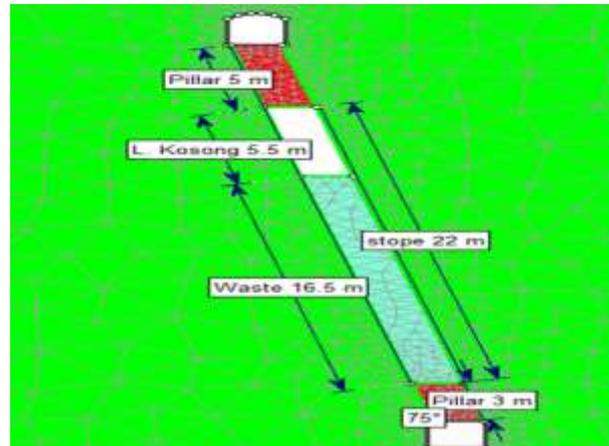
	Ore	Andesit	Waste
<i>Young's Modulus (E) Mpa</i>	1540,3	1838,02	954,9860
<i>Tensile Strength (Mpa)</i>	0,0202	0,0269	0,0125
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3350	0,2880	0,2077
<i>Friction Angle $^\circ$</i>	42,6376	47,8791	26,4353
<i>Cohesion (Mpa)</i>	0,3945	0,5057	0,2446
<i>Unit Weight (MN/m³)</i>	0,02441	0,02492	0,0151

Secara garis besar penilaian dilakukan sebanyak dua jenis pemodelan yaitu satu pemodelan untuk lubang bukaan kosong atau sebelum *filling material*. (Gambar 5)



Gambar 5. Bentuk Pemodelan Sebelum Pengisian Material

kedua adalah pemodelan lubang bukaan setelah *filling material*. (Gambar 6)



Gambar 6. Bentuk Pemodelan Setelah Pengisian material

4.5 Penentuan nilai faktor keamanan dengan pemodelan numerik

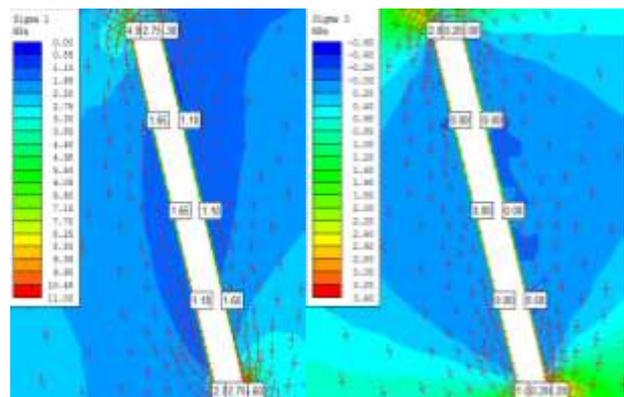
Pemodelan dilakukan untuk melihat bagaimana kondisi tegangan dan faktor keamanan pada lokasi blok 1 SOD. Perubahan kondisi tegangan dan faktor keamanan ditampilkan dalam 2 tahapan (*stage*), yaitu sebelum pengisian dilakukan dan setelah pengisian material.

4.5.1 Faktor Keamanan Sebelum *Filling material*

Penentuan Nilai Faktor Keamanan (FK) sebelum *filling material* menggunakan perangkat lunak *phase2*. Perhitungan nilai faktor keamanan didasarkan pada kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb yakni perbandingan antara kekuatan batuan dengan beban yang diberikan kepadanya.

4.5.1.1 Faktor Keamanan *Stope* Sebelum *Filling Material*

Pada perhitungan faktor keamanan *stope* sebelum dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi sigma 1 dan sigma 3 mengalami penurunan yang didapatkan pada gambar berikut.



Gambar 7. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Stope* Sebelum *Filling Material*

Data hasil titik pendistribusian sigma 1 dan sigma 3 *stope* sebelum *filling material* pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Stope* Sebelum *Filling Material*

Posisi	φ	C	Sigma 1	Sigma 3
Atas	42.6376	0.3945	4.95	2
Atas	42.6376	0.3945	2.75	0.2
Atas	42.6376	0.3945	3.3	1
Kiri	47.8791	0.5057	1.65	0
Kiri	47.8791	0.5057	1.65	0
Kiri	47.8791	0.5057	1.1	0
Kanan	47.8791	0.5057	1.1	0
Kanan	47.8791	0.5057	1.1	0
Kanan	47.8791	0.5057	1.65	0
Bawah	42.6376	0.3945	2.75	1
Bawah	42.6376	0.3945	2.75	0.2
Bawah	42.6376	0.3945	6.6	3.2

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Stope* dan nilai sudut geser dalam (φ) serta nilai kohesi (c) maka didapatkan faktor keamanan :

$$FK = \frac{2 \times 0.3945 \times \cos 42.6376}{1 - \sin 42.6376} + 2 \frac{1 + \sin 42.6376}{1 - \sin 42.6376}$$

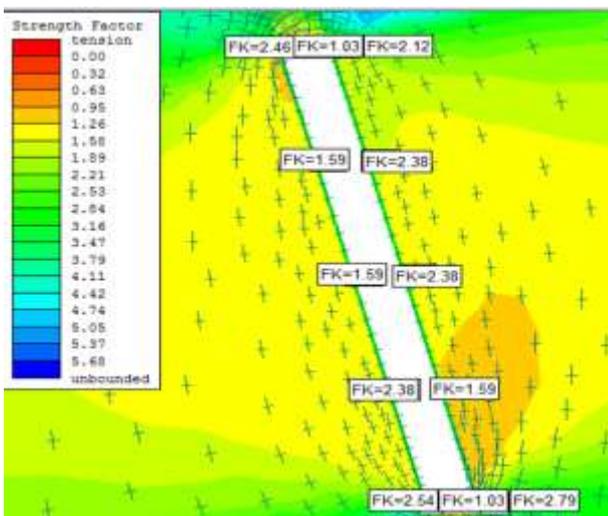
$$FK = 2,463974$$

Berikut hasil keseluruhan Perhitungan FK *Stope* sebelum *Filling Material* dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Perhitungan FK *Stope* Sebelum *Filling Material*

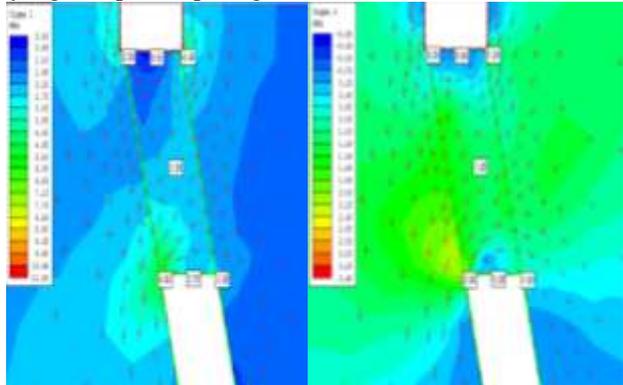
Posisi	FK <i>Stope</i> Sebelum <i>Filling Material</i>
Atas	2,463974
Atas	1,032278
Atas	2,120556
Kiri	1,591819
Kiri	1,591819
Kiri	2,387728
Kanan	2,387728
Kanan	2,387728
Kanan	1,591819
Bawah	2,544667
Bawah	1,032278
Bawah	2,793224

Gambaran hasil perhitungan faktor keamanan *stope* sebelum *filling material* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai FK *Stope* Sebelum *Filling Material*
4.5.1.2 Faktor Keamanan *Pillar* Atas Sebelum *Filling Material*

Pada perhitungan faktor keamanan *pillar* atas sebelum dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi sigma 1 dan sigma 3 mengalami penurunan yang didapatkan pada gambar berikut.



Gambar 9. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *pillar* atas Sebelum *Filling Material*

Data hasil titik pendistribusian sigma 1 dan sigma 3 *pillar* atas sebelum *filling material* dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *pillar* atas sebelum *Filling Material*

Posisi	φ	C	Sigma 1	Sigma 3
Atas	42,6376	0,3945	2,2	0,2
Atas	42,6376	0,3945	0,55	0
Atas	42,6376	0,3945	4,4	1,2
Tengah	42,6376	0,3945	2,2	1,2
Bawah	42,6376	0,3945	4,95	2
Bawah	42,6376	0,3945	2,75	0,2
Bawah	42,6376	0,3945	3,3	1

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Pillar* Atas dan nilai sudut geser dalam (φ) serta nilai kohesi (c) maka didapatkan faktor keamanan :

$$FK = \frac{2 \times 0.3945 \times \cos 42.6376}{1 - \sin 42.6376} + 0.2 \frac{1 + \sin 42.6376}{1 - \sin 42.6376}$$

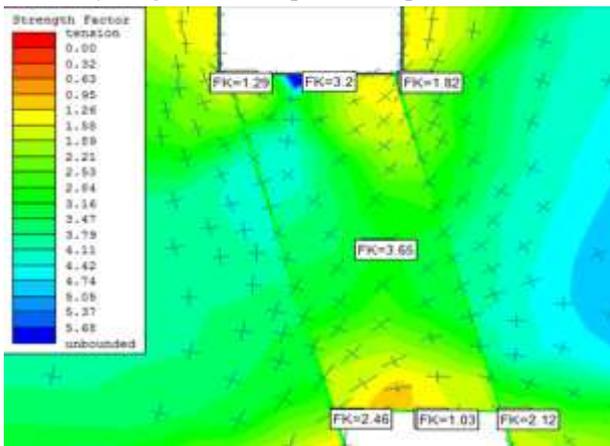
$$FK = 1,290347$$

Berikut hasil keseluruhan Perhitungan FK *pillar* atas sebelum *Filling Material* dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Hasil Perhitungan FK *pillar* atas Sebelum *Filling Material*

Posisi	FK <i>Pillar</i> Atas Sebelum <i>Filling Material</i>
Atas	1,290347
Atas	3,270901
Atas	1,826728
Tengah	3,653455
Bawah	2,463974
Bawah	1,032278
Bawah	2,120556

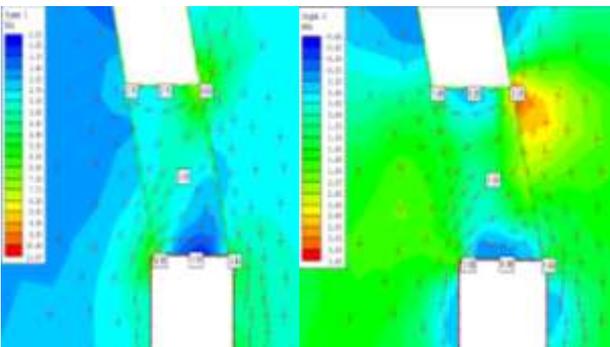
Gambaran hasil perhitungan faktor keamanan *pillar* atas sebelum *filling* material dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Nilai FK *pillar* atas Sebelum *Filling Material*

4.5.1.3 Faktor Keamanan *Pillar* Bawah Sebelum *Filling Material*

Pada perhitungan faktor keamanan *pillar* bawah sebelum dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi sigma 1 dan sigma 3 mengalami penurunan yang didapatkan pada gambar berikut.



Gambar 11. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *pillar* bawah Sebelum *Filling Material*

Data hasil titik pendistribusian sigma 1 dan sigma 3 *pillar* bawah sebelum *filling material* dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *pillar* bawah sebelum *Filling Material*

Posisi	∅	C	Sigma 1	Sigma 3
Atas	42,6376	0,3945	2,75	1
Atas	42,6376	0,3945	2,75	0,2
Atas	42,6376	0,3945	6,6	3,2
Tengah	42,6376	0,3945	3,3	1
Bawah	42,6376	0,3945	4,95	1
Bawah	42,6376	0,3945	1,1	0
Bawah	42,6376	0,3945	3,85	1

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Pillar* Bawah dan nilai sudut geser dalam (∅) serta nilai kohesi (c) maka didapatkan faktor keamanan:

$$FK = \frac{2 \times 0,3945 \times \cos 42,6376}{1 - \sin 42,6376} + 1 \frac{1 + \sin 42,6376}{1 - \sin 42,6376}$$

$$2,75$$

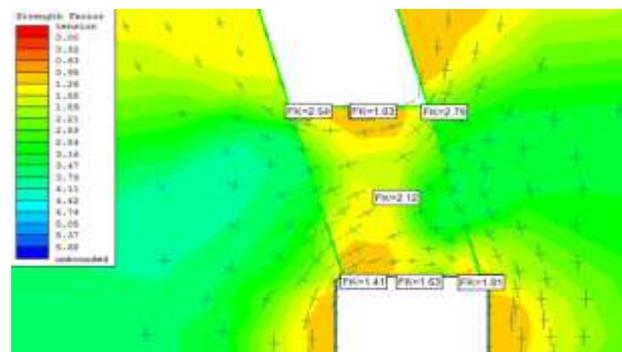
$$FK = 2,544667$$

Berikut hasil keseluruhan Perhitungan FK *pillar* bawah sebelum *Filling Material* dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil Perhitungan FK *pillar* bawah Sebelum *Filling Material*

Posisi	FK <i>Pillar</i> Bawah Sebelum <i>Filling Material</i>
Atas	2,544667
Atas	1,032278
Atas	2,793224
Tengah	2,120556
Bawah	1,413704
Bawah	1,635451
Bawah	1,817619

Gambaran hasil perhitungan faktor keamanan *pillar* bawah sebelum *filling material* dapat dilihat pada Gambar 12.



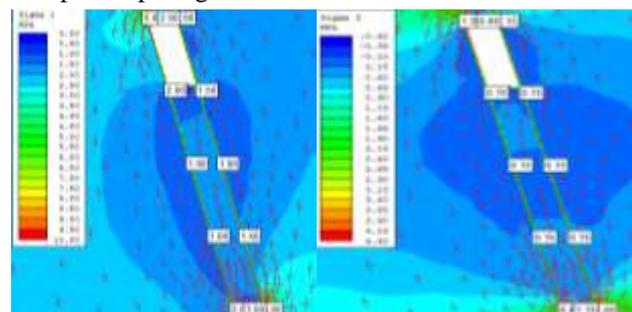
Gambar 12. Nilai FK *pillar* bawah Sebelum *Filling Material*

4.5.2 Faktor Keamanan Setelah *Filling material*

Penentuan Nilai Faktor Keamanan (FK) setelah *filling material* menggunakan perangkat lunak phase2. Perhitungan nilai faktor keamanan didasarkan pada kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb yakni perbandingan antara kekuatan batuan dengan beban yang diberikan kepadanya.

4.5.2.1 Faktor Keamanan *Stope* Setelah *Filling Material*

Pada perhitungan faktor keamanan *stope* setelah dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi sigma 1 dan sigma 3 mengalami kenaikan yang didapatkan pada gambar berikut.



Gambar 13. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Stope* Setelah *Filling Material*

Data hasil titik pendistribusian sigma 1 dan sigma 3 *stope* setelah *filling material* dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Stope* setelah *Filling Material*

Posisi	∅	C	Sigma 1	Sigma 3
Atas	42,6376	0,3945	5	1,9
Atas	42,6376	0,3945	2,5	0,4
Atas	42,6376	0,3945	3	1,15
Kiri	47,8791	0,5057	2	0,15
Kiri	47,8791	0,5057	1	0,15
Kiri	47,8791	0,5057	1	0,15
Kanan	47,8791	0,5057	1,5	0,15
Kanan	47,8791	0,5057	1	0,15
Kanan	47,8791	0,5057	1,5	0,15
Bawah	42,6376	0,3945	2	0,4
Bawah	42,6376	0,3945	3	1,15
Bawah	42,6376	0,3945	6	3,4

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Stope* dan nilai sudut geser dalam (∅) serta nilai kohesi (c) maka didapatkan faktor keamanan :

$$FK = \frac{2 \times 0,3945 \times \cos 42,6376}{1 - \sin 42,6376} + 1,9 \frac{1 + \sin 42,6376}{1 - \sin 42,6376}$$

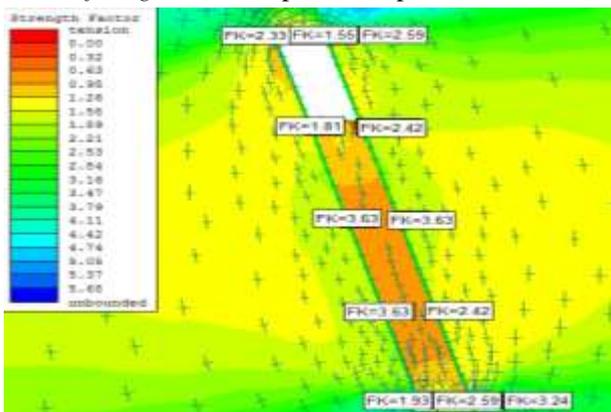
$$FK = 2,335358$$

Berikut hasil keseluruhan Perhitungan FK *stope* setelah *Filling Material* dapat dilihat pada tabel 17.

Tabel 17. Hasil Perhitungan FK *Stope* Setelah *Filling Material*

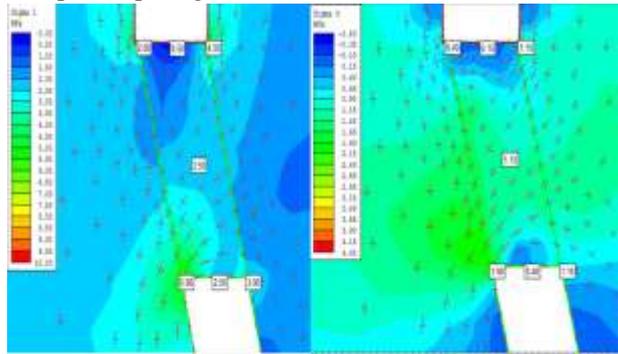
Posisi	FK <i>Stope</i> Setelah <i>Filling Material</i>
Atas	2,335358
Atas	1,551412
Atas	2,592553
Kiri	1,819041
Kiri	3,638082
Kiri	3,638082
Kanan	2,425388
Kanan	3,638082
Kanan	2,425388
Bawah	1,939265
Bawah	2,592553
Bawah	3,245841

Gambaran hasil perhitungan faktor keamanan *stope* setelah *filling material* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Nilai FK *Stope* Setelah *Filling Material*
4.5.2.2 Faktor Keamanan *Pillar* Atas Setelah *Filling Material*

Pada perhitungan faktor keamanan *pillar* atas setelah dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi sigma 1 dan sigma 3 mengalami kenaikan yang didapatkan pada gambar berikut.



Gambar 15. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *pillar* atas Setelah *Filling Material*

Data hasil titik pendistribusian sigma 1 dan sigma 3 *pillar* atas setelah *filling material* dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *pillar* atas Setelah *Filling Material*

Posisi	∅	C	Sigma 1	Sigma 3
Atas	42,6376	0,3945	2	0,4
Atas	42,6376	0,3945	0,5	0,15
Atas	42,6376	0,3945	4,5	1,15
Tengah	42,6376	0,3945	2,5	1,15
Bawah	42,6376	0,3945	5	1,9
Bawah	42,6376	0,3945	2,5	0,4
Bawah	42,6376	0,3945	3	1,15

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Pillar* Atas dan nilai sudut geser dalam (∅) serta nilai kohesi (c) maka didapatkan faktor keamanan :

$$FK = \frac{2 \times 0,3945 \times \cos 42,6376}{1 - \sin 42,6376} + 0,4 \frac{1 + \sin 42,6376}{1 - \sin 42,6376}$$

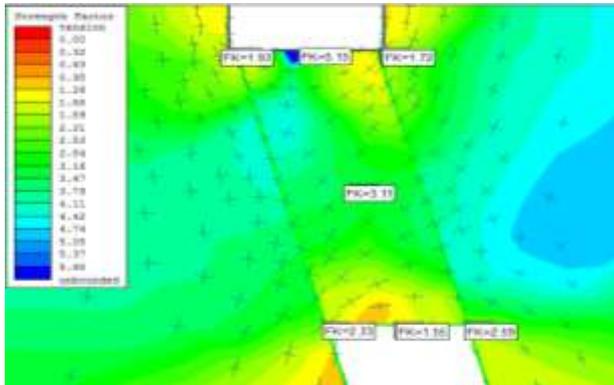
$$FK = 1,939265$$

Berikut hasil keseluruhan Perhitungan FK *pillar* atas setelah *Filling Material* dapat dilihat pada tabel 19.

Tabel 19. Hasil Perhitungan FK *pillar* atas Setelah *Filling Material*

Posisi	FK <i>Pillar</i> Atas Setelah <i>Filling Material</i>
Atas	1,939265
Atas	5,157643
Atas	1,728369
Tengah	3,111064
Bawah	2,335358
Bawah	1,551412
Bawah	2,592553

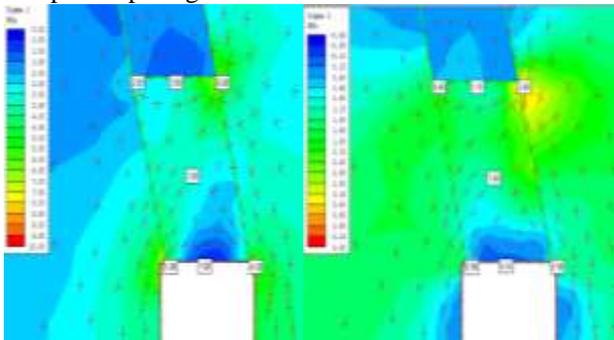
Gambaran hasil perhitungan faktor keamanan *pillar* atas setelah *filling material* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Nilai FK *Pillar* Atas Setelah *Filling Material*

4.5.2.3 Faktor Keamanan *Pillar* Bawah Setelah *Filling Material*

Pada perhitungan faktor keamanan *pillar* bawah setelah dilakukan *filling material* sebagian besar titik-titik distribusi sigma 1 dan sigma 3 mengalami kenaikan yang didapatkan pada gambar berikut.



Gambar 17. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Pillar* Bawah Setelah *Filling Material*

Data hasil titik pendistribusian sigma 1 dan sigma 3 *pillar* bawah setelah *filling material* dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Pillar* Bawah Setelah *Filling Material*

Posisi	∅	C	Sigma 1	Sigma 3
Atas	42,6376	0,3945	2	0,4
Atas	42,6376	0,3945	3	1,15
Atas	42,6376	0,3945	6	3,4
Tengah	42,6376	0,3945	3	1,4
Bawah	42,6376	0,3945	5	0,9
Bawah	42,6376	0,3945	1	0,15
Bawah	42,6376	0,3945	4,5	0,9

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Pillar* Bawah dan nilai sudut geser dalam (∅) serta nilai kohesi (c) maka didapatkan faktor keamanan:

$$FK = \frac{2 \times 0,3945 \times \cos 42,6376}{1 - \sin 42,6376} + 0,4 \frac{1 + \sin 42,6376}{1 - \sin 42,6376}$$

2

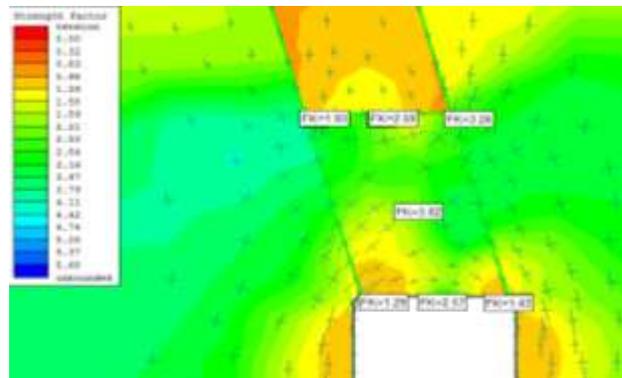
$$FK = 1,939265$$

Berikut hasil keseluruhan Perhitungan FK *pillar* bawah setelah *Filling Material* dapat dilihat pada tabel 21.

Tabel 21. Hasil Perhitungan FK *pillar* bawah Setelah *Filling Material*

Posisi	FK <i>Pillar</i> bawah Setelah <i>Filling Material</i>
Atas	1,939265
Atas	2,592553
Atas	3,245841
Tengah	3,02579
Bawah	1,29559
Bawah	2,578821
Bawah	1,439544

Gambaran hasil perhitungan faktor keamanan *pillar* bawah setelah *filling material* dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Nilai FK *pillar* bawah Setelah *Filling Material*

4.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan yaitu pada saat lubang bukaan sebelum dan sesudah *filling material* terjadi kenaikan pada nilai faktor keamanan, dimana dapat dilihat pada tabel 22 hasil FK *stope* sebelum dan setelah *filling material*.

Tabel 22. Hasil FK *Stope* Sebelum Dan Setelah *Filling Material*

Posisi	FK <i>Stope</i> Sebelum <i>Filling Material</i>	FK <i>Stope</i> Sesudah <i>Filling Material</i>
Atas	2,463974	2,335358
Atas	1,032278	1,551412
Atas	2,120556	2,592553
Kiri	1,591819	1,819041
Kiri	1,591819	3,638082
Kiri	2,387728	3,638082
Kanan	2,387728	2,425388
Kanan	2,387728	3,638082
Kanan	1,591819	2,425388
Bawah	2,544667	1,939265
Bawah	1,032278	2,592553
Bawah	2,793224	3,245841

Sedangkan hasil FK *pillar* atas sebelum dan setelah *filling material* juga mengalami kenaikan seperti pada tabel 23.

Tabel 23. Hasil FK *Pillar* Atas Sebelum Dan Setelah

Posisi	FK <i>Pillar</i> Atas Sebelum <i>Filling Material</i>	FK <i>Pillar</i> Atas Sesudah <i>Filling Material</i>
Atas	1.290347	1.939265
Atas	3.270901	5.157643
Atas	1.826728	1.728369
Tengah	3.653455	3.111064
Bawah	2.463974	2.335358
Bawah	1.032278	1.551412
Bawah	2.120556	2.592553

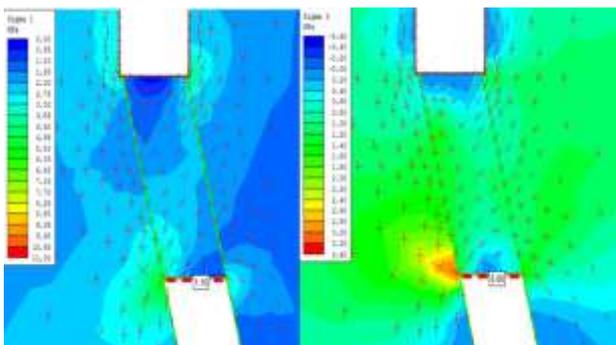
Dan sama hal dengan hasil FK *pillar* bawah sebelum dan setelah *filling material* juga mengalami kenaikan seperti pada tabel 24.

Tabel 24. Hasil FK *Pillar* Bawah Sebelum Dan Setelah *Filling Material*

Posisi	FK <i>Pillar</i> Bawah Sebelum <i>Filling Material</i>	FK <i>Pillar</i> Bawah Sesudah <i>Filling Material</i>
Atas	2.544667	1.939265
Atas	1.032278	2.592553
Atas	2.793224	3.245841
Tengah	2.120556	3.02579
Bawah	1.413704	1.29559
Bawah	1.635451	2.578821
Bawah	1.817619	1.439544

Dari hasil analisis pada *pillar* bawah dan atas diketahui bahwa ada satu titik yang kritis yaitu dengan nilai FK 1,032278 dengan nilai sigma 1 dan 3 yaitu 2,75 dan 0,3, maka untuk menaikkan faktor keamanan itu direkomendasikan untuk memberikan *shotcrete*. Rekomendasi *shotcrete* ini berdasarkan RMR-Sistem *Ground Support Recommendation* (GSR) yaitu tebal *shotcrete* 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding.

Untuk itu diperlukan simulasi sistem penyangga agar mencapai kestabilan pilar dan memperbesar faktor keamanan. Simulasi dilakukan dengan cara memberikan *shotcrete* pada *pillar* dengan ketebalan 100 mm pada bagian atap. Maka didapatkan hasil pada gambar berikut:



Gambar 19. Hasil Sigma 1 dan Sigma 3 *Pillar* setelah di *shotcrete*

Berdasarkan hasil sigma 1 dan sigma 3 pada *Pillar* dimana nilai sudut geser dalam (ϕ) 42,6376 dan nilai kohesi (c) 0,3945 maka di dapatkan faktor keamanan :

$$FK = \frac{2 \times 0,3945 \times \cos 42,6376 + 0 \times \frac{1 + \sin 42,6376}{1 - \sin 42,6376}}{1 - \sin 42,6376} \times 1.1$$

$$FK = 1,635451$$

Dari hasil rekomendasi penyangga didapat kenaikan pada faktor keamanan dari *pillar* dimana dari FK 1,032278 sebelum di *shotcrete*, setelah di *shotcrete* didapatkan FK 1,635451 sehingga didapatkan kondisi aman pada *pillar*.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan, penelitian dan perhitungan terhadap kestabilan lubang bukaan pada Level 7 area SOD Blok 1, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil kuat tekan batuan didapatkan andesit merupakan material yang paling kuat, dengan nilai kuat tekan uniaksial 35,067 Mpa, sedangkan Ore 25,335 Mpa.
2. Dari hasil mapping geotek maka diketahui bahwa kelas massa batuan di Blok 1 SOD bagian atap termasuk kedalam kelas III atau kategori sedang (*Fair Rock*) dengan nilai RMR 41-60 sedangkan pada dinding termasuk kedalam kelas II atau kategori baik (*Good Rock*) dengan nilai RMR 61-80.
3. Bentuk pemodelan dilakukan sebanyak dua jenis pemodelan yaitu satu pemodelan untuk lombong kosong atau sebelum *filling material* dan yang kedua adalah pemodelan lombong setelah *filling material*.
4. Kondisi *stope* masih dalam kondisi aman yang ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan yang mengalami peningkatan setelah dilakukannya material *filling* yaitu dari 1,59 menjadi 3,63.
5. Dari hasil analisis pada *pillar* bawah dan atas diketahui bahwa ada satu titik yang kritis yaitu dengan nilai FK 1,03 maka untuk menaikkan faktor keamanannya direkomendasikan *shotcrete* dengan tebal 100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding.
6. Dari hasil rekomendasi penyangga didapat kenaikan pada faktor keamanan dari *pillar* dimana dari FK 1,03 sebelum di *shotcrete*, setelah di *shotcrete* didapatkan FK 1,63 sehingga didapatkan kondisi aman.

5.2 Saran

1. Kegiatan *filling material* harus secepat mungkin dilakukan agar keamanan dan kekuatan dari lubang bukaan maupun *stope* stabil dan supaya tidak terjadi *failure*.

2. Pemasangan penyanggan yang tepat dapat membantu pillar dan menahan beban yang ada di atasnya.

Daftar Pustaka

- [1] Bieniawski, Z.T., 1976. *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- [2] Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Clasifications.*, John Wiley & Sons, New York, p. 251.
- [3] Das, Ratan. 2017. "Numerical analysis of surface subsidence in asymmetric parallel highway tunnels". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 9 (2017) 170-179.
- [4] Fadhillah, Ryan ahmad. 2016. " Analisis Geoteknik Terowongan Batuan Geurutee Aceh Menggunakan Metode Elemen Hingga". *Jurusan Teknik Sipil Itenas* (Vol. 2 No. 4 Desember 2016)
- [5] Fandy, Patrcik marcell. 2018. "Rancangan Alternatif Penyangga Dan Kestabilan Ramp Down Cgt Cross Cut Iv, Tambang Gudang Handak L500, PT. Aneka Tambang. Tbk, Upbe Pongkor, Jawa Barat". *Jurnal Geosapta* (Vol. 4 No. 2 Juli 2018)
- [6] Firaz, Muh. Fathin, dkk. 2013. "Analisis Kestabilan Lubang Bukaam Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga". *Jurnal Teknik Pertambangan UPN, Yogyakarta* (Tahun 2013).
- [7] Hanim, Anisa. "Analisis Lubang Bukaam Decline Channel (CH) 677 Blok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya". *Jurnal Bina Tambang* (Vol.4, No. 3)
- [8] Hudson J. A. 1940. *Rock Mechanics Principles in Engineering Practice.* London: CIRIA.
- [9] Hoek E. dan E. T. Brown. 1980. *Underground Excavation in Rock.* London: Institution of Mining and Metallurgy.
- [10] Panji, Mehdi. 2016. "Stability analysis of shallow tunnels subjected to eccentric loads by a boundary element method". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 8 (2016) 480-488.
- [11] Priyono, Arwan. 2010. "Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga". *Dinamika Rekayasa* (Vol. 6 No. 1 Februari 2010)
- [12] Rai, Made Astawa, dkk. 2012. *Mekanika Batuan.* ITB : Bandung.
- [13] *Rocscience.* 2012. Phase 2 Tutorial
- [14] Sharma, K.G.2009. "Numerical Analysis of Underground Structures". *Indian Geotechnical Journal*, 39(1), 2009, 1-63.
- [15] Tavakoli,M.(1994). " *Underground metal mine crown pillar stability analysis*", PhD thesis,wollongong, new south wales : university of wollongong.
- [16] Umar, Tarmizi W. 2018. "Evaluasi Desain Stope Berdasarkan Equivalent Linear Overbreak/Slough (Elos) pada Vein Damar Unit Penambangan Emas Tambang Bawah Tanah Toguraci". *Prosiding Teknik Pertambangan* (Volume 4, No. 2, Tahun 2018)
- [17] Vo, Thien M. 2017. "Stability of twin circular tunnels in cohesive-frictional soil using the node-based smoothed finite element method (NS-FEM)". *Journal Of Vibroengineering.* (Feb 2017, Vol. 19, Issue 1)
- [18] Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. 2004. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining.* 4rd. (ed). New York: Spoon