

EVALUASI GROUND SUPPORT
BERDASARKAN KLASIFIKASI
MASSA BATUAN ROCK MASS
INDEX DAN ROCK MASS RATING
SERTA MENGGUNAKAN FINITE
ELEMENT METHOD NUMERICAL
MODELING PADA TAMBANG
BAWAH TANAH KENCANA PT

Submission date: 16-Sep-2021 10:00AM (UTC+0700)

Submission ID: 1649578288

File name: ss_Rating_serta_Menggunakan_Finite_Element_Method_Numerical.pdf (1.19M)

Word count: 5343

Character count: 29070

NUSA HA
by Barlian Dwi Nagara

**EVALUASI GROUND SUPPORT BERDASARKAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN
ROCK MASS INDEX DAN ROCK MASS RATING SERTA MENGGUNAKAN
FINITE ELEMENT METHOD NUMERICAL MODELING
PADA TAMBANG BAWAH TANAH KENCANA
PT NUSA HALMAHERA MINERALS**

¹Barlian Dwi Nagara, ²Dyah Probowati, ³Richy A. U.

^{1/2/3}UPN "Veteran" Yogyakarta

Afiliasi/Institusi Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta,
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

⁴Email: richkyutama@gmail.com

ABSTRACT

PT. Nusa Halmahera Minerals (PT NHM) is an underground gold mining company which is owned between Newcrest Mining Limited 75% and PT Antam Persero, Tbk 25%. Located in Kao District, North Halmahera Regency, North Maluku Province. The study was carried out at the Kencana Underground Mine which mining method is Underhand Cut and Fill (UHCF) which has been operating since 2005.

Underground mining activities will always related to the problem of deformation and stability of rock mass around the underground openings. Rock mass characteristics and geological structures will affect the selection of ground support. Therefore, it is necessary to evaluate the application of the ground support that has been applied to the underground openings. Evaluation is used based on the Rock Mass Index (RMI) and Rock Mass Rating (RMR). Then numerical modeling is applied with the Finite Element Method.

The research was conducted at the location of K1 SUB 2B UC1 S OD03 and KN-EXP DRIVE. The rock mass classes based on RMI are moderate, with 11 pieces and 9 pieces splitset, 100 mm and 60 mm shotcrete thickness, while based on RMR the rock mass classes are fair rock to good rock, with 15 pieces of splits and 75 mm shotcrete thickness. Then based on Finite Element Method Numerical Modeling and Mohr Columb Failure Criterion obtained the lowest Factor of Safety on the roofs and walls for K1 SUB 2B UC 1 S OD03 with a value of 1.22, for KN-EXP DRIVE with a value of 1.91 with ground support by RMI and RMR. Ground Support that is applied by PT Nusa Halmahera Minerals based on RMR is suitable with rock mass condition, but in general, considering from the modeling of ground support needs and yield zones, as well as the total displacement of the underground openings, the RMI classification is more effective in terms of use and efficient in terms of ground support needs.

Keywords : Underground Mining, Rock Mass Classification, Ground Support, Finite Element Method

ABSTRAK

PT. Nusa Halmahera Minerals (PT NHM) merupakan perusahaan tambang emas bawah tanah yang merupakan gabungan saham antara Newcrest Mining Limited 75% dan PT Antam Persero, Tbk 25%. Terletak di Kecamatan Kao, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara. Penelitian dilakukan pada Tambang Bawah Tanah Kencana yang melakukan penambangan dengan metode *Underhand Cut and Fill* (UHCF) yang telah beroperasi sejak tahun 2005.

Kegiatan penambangan bawah tanah akan selalu berkaitan pada masalah deformasi dan kestabilan massa batuan di sekitar lubang bukaan. Karakteristik massa batuan dan struktur geologi akan berpengaruh dalam penerapan *ground support*. Maka, untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap penerapan rancangan *ground support* yang telah diterapkan pada lubang bukaan tersebut. Evaluasi yang digunakan adalah berdasarkan *Rock Mass index* (RMI) dan *Rock Mass Rating* (RMR). Kemudian dilakukan pemodelan numerik dengan *Finite Element Method*.

Penelitian dilakukan di lokasi K1 SUB 2B UC1 S OD03 dan KN-EXP DRIVE. Batuan yang terdapat pada lokasi penelitian memiliki kelas massa batuan berdasarkan RMI adalah *moderate*, dengan kebutuhan *Rock Bolt* jenis *splitset* berjumlah 11 buah dan 9 buah, ketebalan *shotcrete* 100 mm dan 60 mm, sedangkan berdasarkan RMR memiliki kelas *fair rock* hingga *good rock*, dengan kebutuhan *Rock Bolt* jenis *splitset* berjumlah 15 buah dan ketebalan *shotcrete* 75 mm. Kemudian berdasarkan *Finite Element Method* dan Kriteria Keruntuhan Mohr Coloumb dengan Faktor Keamanan pada atap dan dinding terendah untuk lokasi K1 SUB 2B UC 1 S OD03 adalah 1.30 dan untuk lokasi KN-EXP DRIVE adalah 1.91 dalam penggunaan *ground support* berdasarkan RMI dan RMR. *Ground Support* yang telah diterapkan oleh PT Nusa Halmahera Minerals berdasarkan RMR dinilai sudah tepat sesuai kondisi massa batuan, tetapi secara umum dilihat dari kebutuhan pemodelan *ground support* dan *zona yield*, serta *total displacement* dari lubang bukaan, Klasifikasi RMI lebih efektif dari segi penggunaan serta efisien dari segi kebutuhan *ground support*.

Kata kunci : Tambang Bawah Tanah, Klasifikasi Massa Batuan, *Ground Support*, *Finite Element Method*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan bawah tanah akan selalu berkaitan pada masalah deformasi dan kestabilan massa batuan di sekitar lubang bukaan. Dalam menghadapi hal ini, perlu diterapkan *ground support* yang efektif terhadap lubang bukaan guna menjamin keselamatan manusia dan peralatan tambang dalam proses penambangan. Karakteristik massa batuan dan struktur geologi akan berpengaruh dalam penerapan *ground support*. Maka, untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap penerapan rancangan *ground support* yang telah diterapkan pada lubang bukaan tersebut.

Evaluasi yang digunakan adalah berdasarkan Klasifikasi *Rock Mass index* (RMI) dan *Rock Mass Rating* (RMR). Kemudian dilakukan pemodelan numerik dengan *Finite Element Method* dikarenakan lubang bukaan memiliki bentuk yang tidak beraturan dan adanya struktur geologi, sifat-sifat massa batuan yang dikaji sangat beragam.

1.2 Permasalahan

Masalah yang ditemui dalam penambangan bawah tanah adalah masalah mengenai ketidakstabilan lubang bukaan bawah tanah. Terjadinya beberapa kejadian *groundfall* baik diakses *development* utama maupun sekunder dan juga area kerja produksi, keanekaragaman kondisi massa batuan dan kompleksitas permasalahan struktur batuan yang beragam, serta belum adanya metode komparasi kelas massa batuan di lokasi penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Melakukan klasifikasi massa batuan *Rock Mass index* (RMI) dan *Rock Mass Rating* (RMR) pada daerah penelitian untuk menentukan kelas massa batuan tersebut, serta menentukan kebutuhan *ground support*.
2. Menentukan kondisi stabilitas lubang bukaan melalui *Finite Element Method Numerical Modeling*, serta menghitung Faktor Keamanan berdasarkan Kriteria Runtuh Mohr-Coulomb.
3. Mengevaluasi hasil *ground support* berdasarkan RMI dengan *ground support* yang telah diterapkan oleh PT Nusa Halmahera Minerals berdasarkan RMR dari aspek keefektifan dari *ground support* dilihat dari pemodelan penyangga dan zona *yield*, serta *total displacement* dari lubang bukaan..

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Faktor seismik diabaikan pada pemodelan numerik.
2. Volume blok ditentukan melalui hubungan dengan *Rock Quality Designation*.
3. Pengukuran jarak spasi kekar tidak menggunakan faktor koreksi.

II. METODE

2.1 Rock Mass index (RMI)

Rock Mass index (RMI) adalah sebuah sistem berdasar parameter (Tabel 2.1.) yang melekat pada massa batuan. Pada intinya, sistem ini menggabungkan kekuatan kompresif dari batuan utuh dan parameter kondisi kekar, RMI dapat diterapkan untuk berbagai keperluan dalam mekanika batuan dan rekayasa batuan, salah satunya untuk penilaian terhadap *ground support*.

5 (lima) parameter dasar untuk klasifikasi *Rock Mass index* (RMI) adalah Kuat tekan uniaksial batuan (σ_c), Volume Blok Batuan (V_b), Faktor kekasaran *joint* (J_R), Faktor alterasi *joint* (J_A), Faktor kemenerusan *joint* (J_L).

Tabel 2.1. Nilai dan Parameter RMI

Kuat Tekan Uniaksial Batuan (σ_c atau σ_c')	Masih pengapian ke dua sumbu dan tabel modulus																																				
Volume Blok (V_b)	Batas m^3 (lihat definisi di halaman atau mt to 1)																																				
Faktor Kondisi <i>joint</i> (J_C)	$J_C = J_R \times J_A / J_L$ (lihat pada tabel 6 bawah)																																				
Faktor Kekasaran <i>joint</i> (J_R) (terhadap pengembangan blok besar maupun kecil, yang sejajar di dalam Q-system)	Tingkat pengembangan (kecuraman) pada permukaan J_R di																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>kecuraman</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>terhadap blok</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>hadap blok</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4.5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>hadap blok</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>hadap blok</td> <td>1.1</td> <td>1</td> <td>1.1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	kecuraman	1	2	3	4	5	terhadap blok	2	3	4	5	6	hadap blok	1.5	2	3	4.5	6	hadap blok	1	1.5	2	3	4	hadap blok	1.1	1	1.1	2	3						
kecuraman	1	2	3	4	5																																
terhadap blok	2	3	4	5	6																																
hadap blok	1.5	2	3	4.5	6																																
hadap blok	1	1.5	2	3	4																																
hadap blok	1.1	1	1.1	2	3																																
	Untuk pengapian $J_R = 1$ adalah pengapian J_R di batuan																																				
	Untuk pengapian yang lain, lihat pengapian pada gambar pengapian pengapian																																				
Faktor Alterasi <i>joint</i> (J_A) (nilai berdasarkan J_A dalam Q-system)																																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Alterasi <i>joint</i> (J_A)</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>tidak teralterasi</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi ringan</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi sedang</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi berat</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi sangat berat</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Alterasi <i>joint</i> (J_A)	1	2	3	4	5	tidak teralterasi	1	1	1	1	1	alterasi ringan	1	1	1	1	1	alterasi sedang	1	1	1	1	1	alterasi berat	1	1	1	1	1	alterasi sangat berat	1	1	1	1	1
Alterasi <i>joint</i> (J_A)	1	2	3	4	5																																
tidak teralterasi	1	1	1	1	1																																
alterasi ringan	1	1	1	1	1																																
alterasi sedang	1	1	1	1	1																																
alterasi berat	1	1	1	1	1																																
alterasi sangat berat	1	1	1	1	1																																
Faktor Kemenerusan <i>joint</i> (J_L) (terdiri dari panjang dan kemenerusan <i>joint</i>)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kemenerusan J_L</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>tidak teralterasi</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi ringan</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi sedang</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi berat</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>alterasi sangat berat</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Kemenerusan J_L	1	2	3	4	5	tidak teralterasi	1	1	1	1	1	alterasi ringan	1	1	1	1	1	alterasi sedang	1	1	1	1	1	alterasi berat	1	1	1	1	1	alterasi sangat berat	1	1	1	1	1
Kemenerusan J_L	1	2	3	4	5																																
tidak teralterasi	1	1	1	1	1																																
alterasi ringan	1	1	1	1	1																																
alterasi sedang	1	1	1	1	1																																
alterasi berat	1	1	1	1	1																																
alterasi sangat berat	1	1	1	1	1																																
Penilaian RMI																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RMI</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	RMI	1	2	3	4	5	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
RMI	1	2	3	4	5																																
1	1	1	1	1	1																																
2	1	1	1	1	1																																
3	1	1	1	1	1																																
4	1	1	1	1	1																																
5	1	1	1	1	1																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Penilaian RMI</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Penilaian RMI	1	2	3	4	5	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
Penilaian RMI	1	2	3	4	5																																
1	1	1	1	1	1																																
2	1	1	1	1	1																																
3	1	1	1	1	1																																
4	1	1	1	1	1																																
5	1	1	1	1	1																																

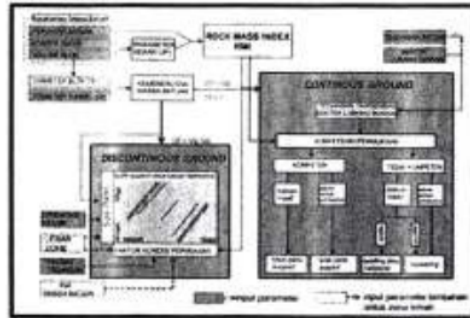
Perhitungan nilai RMI adalah sebagai berikut:
 $RMI = \sigma_c \cdot JP$
 $= \sigma_c \cdot 0.2 \sqrt{jC \times V_b^D}$, $D = 0,37jC^{0.2}$
 $jC = jR \times jL / jA$ (2-1)
 Dimana, σ_c = nilai kuat tekan uniaksial (MPa)
 JP = *Joint Parameter*
 jC = *Joint Condition*
 V_b = Volume Blok Batuan (m^3)

Setelah nilai RMI didapat, kemudian ditentukan kelasnya. (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Nilai dan Kelas RMI

$RM_i = 100 - 40$	<i>Very High</i>
$RM_i = 40 - 10$	<i>High</i>
$RM_i = 10 - 1$	<i>Moderate</i>
$RM_i = 0,4 - 0,1$	<i>Very Low</i>
$RM_i = 0,1 - 0,01$	<i>Extremely Low</i>

Diagram Alir Klasifikasi R_{Mi} dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram Alir Klasifikasi R_{Mi}

2.2 Rock Mass Rating (RMR)

Enam parameter berikut digunakan untuk mengklasifikasikan massa batuan menggunakan sistem RMR (Klasifikasi Geomekanik):

1. Kuat tekan uniaksial batuan utuh
2. *Rock quality designation* (RQD)
3. Spasi bidang diskontinu
4. Kondisi bidang diskontinu
5. Kondisi air tanah
6. Koreksi dapat dilakukan bila diperlukan untuk orientasi diskontinuitas

Masing-masing parameter di atas memiliki nilai pembobotan yang dibuat berdasarkan pengalaman di berbagai lokasi tambang. Bobot-bobot dari setiap parameter nantinya akan dijumlahkan untuk memperoleh bobot total massa batuan. Melalui total bobot kelima parameter tersebut massa batuan nantinya akan dibagi menjadi lima kelas. (lihat Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Pembobotan RMR

No	Kategori	Nilai					Bobot
		100-40	40-10	10-1	1-0,4	0,4-0,1	
1	Kuat tekan uniaksial batuan utuh	25	15	10	5	2	25
2	RQD	10	5	2	1	1	10
3	Spasi bidang diskontinu	10	5	2	1	1	10
4	Kondisi bidang diskontinu	10	5	2	1	1	10
5	Kondisi air tanah	10	5	2	1	1	10
6	Koreksi dapat dilakukan bila diperlukan untuk orientasi diskontinuitas	10	5	2	1	1	10
Total							100

2.3 Finite Element Method Numerical Modeling

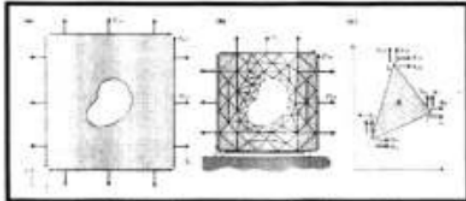
Tujuan dari pemodelan numerik dengan *Finite Element Method* harus diketahui. Struktur geoteknik harus memiliki memiliki keamanan yang memadai terhadap keruntuhan, sehingga perlu adanya pendekatan untuk memprediksinya sebagai dasar untuk pengambilan keputusan.

Dasar dari *Finite Element Method* adalah pendefinisian domain permasalahan di sekitar sebuah lubang bukaan dan pembagian domain tersebut mejadi serangkaian elemen yang saling berinteraksi (Brady & Brown, 2005).

Kebanyakan lubang bukaan bawah tanah mempunyai bentuk yang tidak beraturan dan seringkali beberapa lubang bukaan dibuat di dekat lubang bukaan lainnya. Sekelompok lubang bukaan ini dapat mempunyai bentuk tiga dimensi yang kompleks. Selain itu, karena adanya struktur-struktur geologi, sifat-sifat massa batuan dalam sebuah volume yang dikaji sangat beragam. Kondisi sebenarnya dari lubang bukaan dan massa batuan membuat kemampuan solusi-solusi bentuk untuk perhitungan tegangan, perpindahan, dan keruntuhan massa batuan di sekitar lubang bukaan bawah tanah menjadi terbatas. Untuk itu, sejumlah metode numerik berbasis komputer telah dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir dan metode-metode ini menjadi alat untuk mendapatkan solusi pendekatan dari permasalahan. Salah satunya adalah metode elemen hingga.

Asumsi dalam metode elemen hingga adalah bahwa transmisi gaya-gaya internal antara sisi-sisi elemen-elemen yang berdekatan dapat direpresentasikan oleh interaksi-interaksi pada titik simpul-titik simpul dari elemen-elemen. Oleh karena itu diperlukan ekspresi untuk gaya-gaya titik simpul yang ekuivalen secara

statika dengan gaya-gaya yang bekerja antara elemen-elemen sepanjang sisi-sisi yang sesuai sehingga prosedurnya bertujuan menganalisis perpindahan media kontinu (Gambar 2.2a) berdasarkan gaya-gaya dan perpindahan-perpindahan titik simpul untuk domain yang didiskretisasi (Gambar 2.2b). Prosedur solusi yang diberikan berikut ini, untuk tujuan ilustrasi, adalah untuk elemen hingga, variasi linier perpindahan sehubungan dengan koordinat-koordinat intrinsik elemen, dan tegangan konstan yang dihasilkan di dalam sebuah elemen.



Gambar 2.2 Pembuatan Model Elemen Hingga Permasalahan Kontinu (Brady & Brown, 2005)

III. HASIL PENELITIAN

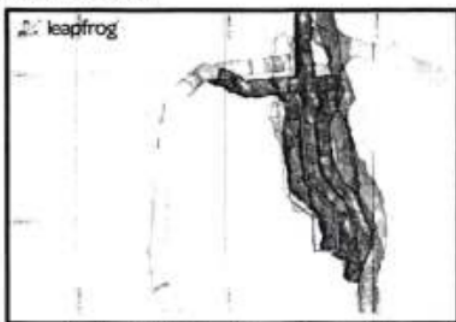
3.1 Lokasi Penelitian

Dalam menentukan *ground support* yang tepat, perlu diketahui salah satunya mengenai kondisi massa batuan dari daerah yang akan diteliti. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data empirik di lapangan untuk mendapatkan parameter-parameter dalam mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan *Rock Mass index (RMI)* dan *Rock Mass Rating (RMR)*.

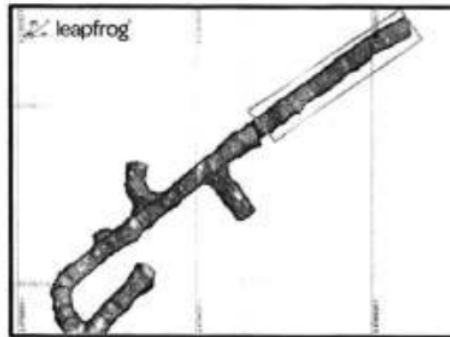
Lokasi yang dijadikan tempat penelitian adalah

1. K1-SUB 2B UC1 S OD03
2. KN-EXP DRIVE

Pada *Heading* lokasi tersebut dilakukan observasi melalui *face mapping* untuk mengetahui karakteristik dari massa batuan yang akan ditentukan *ground support*. Penelitian dilakukan berdasarkan kemajuan dari masing-masing lubang bukaan. (lihat Gambar 3.1 dan Gambar 3.2).



Gambar 3.1 Lokasi *Face Mapping* Lubang Bukaan K1-SUB 2B UC1 S OD03



Gambar 3.2 Lokasi *Face Mapping* Lubang Bukaan KN-EXP DRIVE

3.2. Kondisi Lubang Bukaan

Dalam melakukan pemodelan lubang bukaan yang ada diharapkan dapat mendekati kondisi yang ada di lapangan. Dimensi serta bentuk dari lubang bukaan harus mencerminkan keadaan aktual yang ada. Begitu juga rata-rata setiap kemajuan serta input batuan yang ada pada dinding serta atap lubang bukaan juga harus

No	Lokasi	Dimensi			Batuan
		Tinggi (m)	Lebar (m)	Kemajuan rata-rata (m)	
1.	K1 SUB 2B UC 1 S OD 03	4,97	6,45	2,5	Breccia Quartz
2.	KN-EXP DRIVE	6,02	5,74	3	Andesit

disertakan. Kondisi lubang bukaan aktual dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kondisi Lubang Bukaan Aktual

3.3. Pemerian Klasifikasi Massa Batuan

3.3.1 Parameter *Rock Mass index (RMI)*

Hasil *Face Mapping* RMI pada dua lokasi dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Pemerian RMI K1-SUB 2B UC1 S OD03

Parameter RMI	Nilai	Keterangan
UCS (σ_c)	54 MPa	Quartz Breccia
Volume Blok (Vb)	0,0088 m ³	
Kekasaran Joint (jR)	1	Filled Joints
Alerasi Joint (jA)	4	Thin Filling of Sand
Kemenerusan Joint (jL)	2	1 - 10 m
Faktor Tegangan (SL)	1	Medium Stress Level
Faktor Air Tanah (GW)	1	Lembab (Damp)
Continuity Factor (CF)	31,29	Discontinuous Ground
Ground Condition	Atap	1,04
	Dinding	5,19
Size Ratio (Sr)	Atap	31,29
	Dinding	62,59
Nilai RMI	1,04	Very Low

Tabel 3.3 Pemerian RMI KN-EXP DRIVE

Parameter RMI	Nilai	Keterangan
UCS (σ_c)	60 MPa	Andesite
Volume Blok (Vb)	0,0066 m ³	
Kekasaran Joint (jR)	3	Undulating Rough
Alterasi Joint (jA)	1	Fresh Joint Walls
Kemenerusan Joint (jL)	2	1-10 m
Faktor Tegangan (SL)	1,5	High Stress Level
Faktor Air Tanah (GW)	1	Kering (Dry)
Continuity Factor (CF)	30,58	Discontinuous Ground
Ground Condition	Atap	11,95
	Dinding	59,76
Size Ratio (Sr)	Atap	30,59
	Dinding	61,17
Nilai RMI	7,97	Moderate

3.3.1.1 Rekomendasi Panjang Bolt

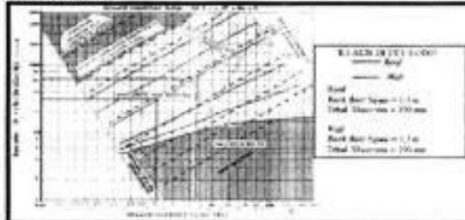
Hasil Perhitungan Rekomendasi Panjang Bolt dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Panjang Bolt

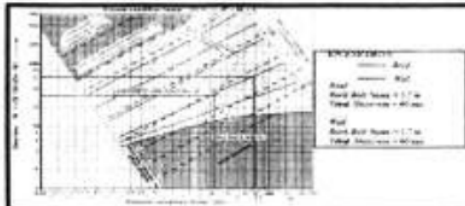
No	Lokasi	Diameter Blok Batuan (D _b)	Diameter Tunnel (D _t)	Tinggi Dinding (W)	Panjang Bolt Atap (L _{batap})	Panjang Bolt Dinding (L _{dinding})
1.	K1 SUB 2B UC 1 S OD 03	0,21 m	6,45 m	4,97 m	2,92 m	2,45 m
2.	KN-EXP DRIVE	0,19 m	5,74 m	6,02 m	2,81 m	2,46 m

3.3.1.2 Penentuan Kebutuhan Ground Support

Hasil Kebutuhan Ground Support berdasarkan RMI pada dua lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4



Gambar 3.3 Kebutuhan Ground Support K1 SUB 2B UC 1 S OD03



Gambar 3.4 Kebutuhan Ground Support KN-EXP DRIVE

3.3.2 Parameter Rock Mass Rating (RMR)

Hasil Face Mapping RMI pada dua lokasi dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Pemerian RMR K1 SUB 2B UC1 S OD03

Parameter RMR	Nilai	Keterangan
Kekuatan Batuan	7	54 MPa

RQD	13	69,9 %
Spasi Diskontinuitas	10	200-600 mm
Kemenerusan Joint	2	3 - 10 m
Bukaan/Rekahan Joint	4	0,1 - 1 mm
Kekasaran Joint	3	Slightly Rough
Infilling	4	Hard Filling < 5 mm
Pelapukan	5	Slightly Weathered
Kondisi Air Tanah	10	Lembab (Damp)
Orientasi Joint	-12	Parallel - Very Unfaourable
Nilai RMR	46	Fair Rock

Tabel 3.5 Pemerian RMR KN-EXP DRIVE

Parameter RMR	Nilai	Keterangan
Kekuatan Batuan	7	60 MPa
RQD	13	66,26%
Spasi Diskontinuitas	10	200 - 600 mm
Kemenerusan Joint	2	3 - 10 m
Bukaan/Rekahan Joint	5	< 0,1 mm
Kekasaran Joint	5	Rough
Infilling	6	None
Pelapukan	6	Unweathered
Kondisi Air Tanah	15	Dry
Orientasi Joint	-5	Perpendicular - Fair
Nilai RMR	64	Good Rock

3.3.3 Komparasi Kelas Massa Batuan

Tujuan dilakukan komparasi adalah untuk membandingkan kondisi massa batuan yang diteliti di setiap lokasi berdasarkan klasifikasi yang dipakai yang selanjutnya nanti akan ditentukan ground support yang sesuai. Jadi untuk melakukan suatu evaluasi tidak hanya dilakukan satu klasifikasi saja, tetapi perlu adanya pembanding. Hasil komparasi dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Komparasi Kelas Massa Batuan

No	Lokasi	RMI	RMR
1.	K1 SUB 2B UC 1 S OD 03	III-Moderate	III-Fair Rock
2.	KN-EXP DRIVE	III-Moderate	II-Good Rock

3.4. Hasil Properties Massa Batuan dengan Metode Hoek-Brown

Dilakukan interpretasi data sifat mekanik massa batuan dengan metode Hoek-Brown menggunakan software dari Rocscience, yaitu Roclab yang diperlukan untuk menganalisis pemodelan numerik pada lubang bukaan. Hasil interpretasi dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Data Sifat Mekanik Massa Batuan

3.5. Hasil Perhitungan Stabilitas Lubang Bukaan Bawah Tanah

No	Lokasi	Grade	UCS (MPa)	CS (%)	Kekerasan (MPa)	Gamma (kN/m ³)	Stabilitas (MPa)	Grade (MPa)
1	K1 SUB 2B UC 1 S OD 03	Horizontal (Dip=0)	54	40	0,4	35,0	1131,0	0,00
2	KN-EXP DRIVE	Vertical	60	50	1,0	41,0	2060,0	0,05

3.5.1. Laju Perpindahan Kritis (Vr) dan Laju Perpindahan Maksimal (Vrmax)

Laju Perpindahan Kritis (Vr) & Laju Perpindahan Maksimal (Vr max) adalah hal penting dalam *monitoring* ketidakstabilan lubang bukaan bawah tanah. Laju Perpindahan Kritis (Vr) & Laju Perpindahan Maksimal (Vrmax) sebagai peringatan jika nilainya sudah melebihi ambang batas dari nilai yang didapatkan (lihat Tabel 3.8).

Tabel 3.8. Laju Perpindahan Kritis dan Maksimal

No	Lokasi	Nilai RMR	Lebar Bukaan	Bobot (bi)	Laju Perpindahan Kritis	Laju Perpindahan Maksimal
1.	K1-SUB-2B UC1 S OD03	46	6,45 m	2550 kg m ⁻³	0,66 mm/hari	1,68 mm/hari
2.	KN-EXP DRIVE	61	5,74 m	2650 kg m ⁻³	0,086 mm/hari	0,55 mm/hari

3.5.2. Tegangan Insitu Pada Lubang Bukaan

Hasil perhitungan tegangan insitu lihat Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Tegangan Insitu Lubang Bukaan

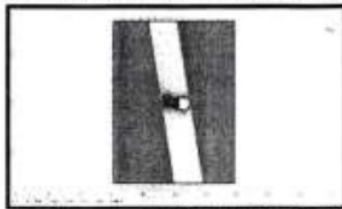
No	Lokasi	Tegangan Insitu	
		Tegangan Vertikal (σ _v)	Tegangan Horizontal (σ _h)
1.	K1-SUB-2B UC1 S OD03	3,81 MPa	1,18 MPa
2.	KN-EXP DRIVE	11,22 MPa	4,38 MPa

3.6. Finite Element Method Numerical Modeling

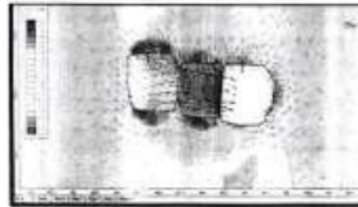
Keterbatasan perhitungan dengan metode analitik untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan penggalian bawah tanah dapat diperbaiki dengan menggunakan pendekatan metode numerik, yaitu *Finite Element Method* dengan bantuan *software Phase2 v.8 PT Nusa Halmahera Minerals*.

3.6.1 Hasil Pemodelan Numerik

Boundary Model pada K1 SUB 2B UC1 S OD03 dengan ukuran *external boundary* 5R (jari-jari lubang bukaan) (Lihat Gambar 3.5) diisi oleh material *Breccia Quartz (Ore)* yang ditunjukkan dengan warna kuning dan batuan sampingnya adalah *breccia* yang ditunjukkan dengan warna jingga. Untuk *heading* yang telah dilakukan *backfill* dengan pasta ditunjukkan dengan warna coklat. Arah deformasi pada lubang bukaan dapat dilihat pada Gambar 3.6.

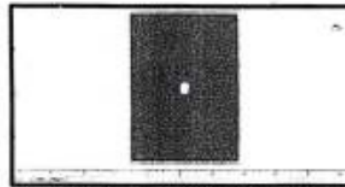


Gambar 3.5 *Boundary Model* K1 SUB 2B UC1 S OD03

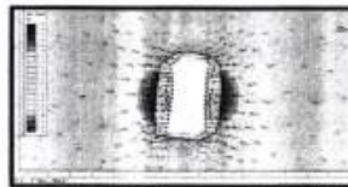


Gambar 3.6 Arah Deformasi K1 SUB 2B UC1 S OD03

Boundary Model pada KN-EXP DRIVE dengan ukuran *external boundary* 5R (jari-jari lubang bukaan) (Lihat Gambar 3.7) diisi oleh material *Andesite* yang ditunjukkan dengan warna hijau. Arah deformasi pada lubang bukaan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 *Boundary Model* KN-EXP DRIVE



Gambar 3.8 Arah Deformasi KN-EXP DRIVE

IV. PEMBAHASAN

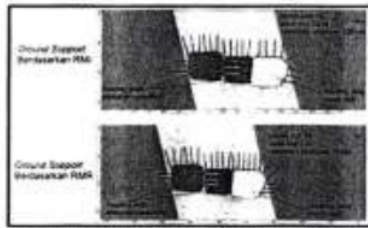
4.1 Analisis Kebutuhan *Ground Support* Berdasarkan Klasifikasi Massa Batuan

Dalam pembahasan ini, penelitian akan membandingkan kebutuhan *ground support* berdasarkan RMI dengan kebutuhan *ground support* yang diterapkan oleh *Section Geotech* PT Nusa Halmahera Minerals berdasarkan RMR.

1. K1 SUB 2B UC1 S OD03

K1 SUB 2B UC1 S OD03 mempunyai batuan *Breccia Quartz (Ore)* dan batuan samping adalah *Breccia*. Dari perbandingan ini (Lihat Gambar 4.1) dapat dilihat bahwa berdasarkan RMI, kebutuhan *ground support* pada lokasi K1 SUB 2B UC1 S OD03 dapat dievaluasi dari segi kebutuhan *shotcrete* lebih tebal daripada berdasarkan RMR yang diterapkan oleh Perusahaan Minerals, hal ini dikarenakan berdasarkan RMI jika *shotcrete* lebih tebal maka akan lebih memperkuat lubang bukaan tersebut. Sedangkan dari segi kebutuhan *Rockbolt* jenis *splitset*, pemodelan *ground support* jumlahnya lebih sedikit daripada yang diterapkan oleh Perusahaan berdasarkan RMR. Hal ini dikarenakan spasi *splitset* yang berbeda dari masing-masing pemodelan yang membuat jumlah *splitset*

berdasarkan R_{Mi} lebih sedikit sehingga akan lebih efisien dari segi kuantitas kebutuhan *ground support*.

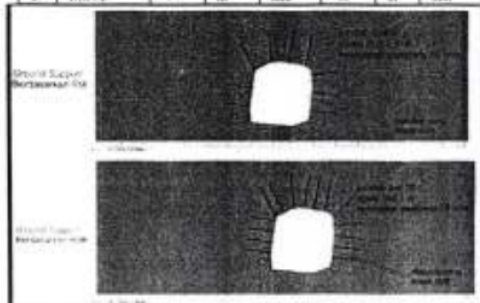


Gambar 4.1 Kebutuhan *Ground Support* K1 SUB 2B UC1 S OD03

2. KN-EXP DRIVE

KN-EXP DRIVE mempunyai batuan *Andesite*. Dari perbandingan ini (Lihat Gambar 4.2) dapat dilihat bahwa berdasarkan R_{Mi}, kebutuhan *ground support* pada lokasi KN-EXP DRIVE dapat dievaluasi dari segi kebutuhan *shotcrete* lebih tipis daripada berdasarkan RMR yang diterapkan oleh PT Nusa Halmahera Minerals, hal ini dikarenakan berdasarkan R_{Mi} dengan *shotcrete* 60 mm sudah cukup untuk memperkuat lubang bukaan tersebut. Sedangkan dari segi kebutuhan *Rockbolt* jenis *splitset*, pemodelan *ground support* jumlahnya lebih sedikit daripada yang diterapkan oleh Perusahaan berdasarkan RMR. Hal ini dikarenakan spasi *splitset* yang berbeda dari masing-masing pemodelan yang membuat jumlah *splitset* berdasarkan R_{Mi} lebih sedikit sehingga akan lebih efisien dari segi kuantitas kebutuhan *ground support*.

No	Lokasi	Kebutuhan <i>Ground Support</i>					
		Berdasarkan R _{Mi}			Berdasarkan RMR		
		Jumlah Bat	Spasi Bat	Skala Bat	Jumlah Bat	Spasi Bat	Skala Bat
1	K1 SUB 2B UC1 S OD03	11	1,3 m	100 mm	13	1 m	75 mm
2	KN-EXP DRIVE	9	1,3 m	10 mm	13	1 m	75 mm



Gambar 4.2 Kebutuhan *Ground Support* KN-EXP DRIVE

Tabulasi perbandingan kebutuhan *ground support* dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Perbandingan Kebutuhan *Ground Support*

4.2 Analisis Rekomendasi Panjang Bolt Berdasarkan Tebal Zona Yield / Daerah Plastik

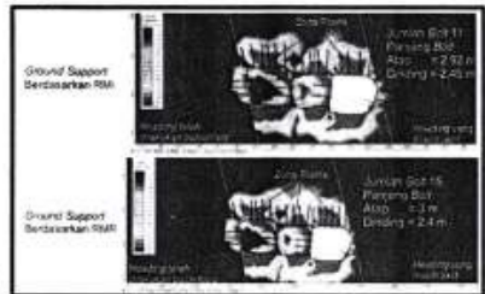
Lubang bukaan yang telah dilakukan penggalian berarti menyebabkan sifat massa batuan di daerah penggalian tersebut tidak seluruhnya elastik sehingga menyebabkan terjadinya daerah plastik pada sekitar lubang bukaan.

Panjang *Rockbolt* harus menembus zona yield / daerah plastik dari lubang bukaan agar batuan yang ada di daerah plastik dapat disangga sehingga tidak menyebabkan terjadinya ambruk (*ground fall*) pada lubang bukaan tersebut. (lihat Tabel 4.2)

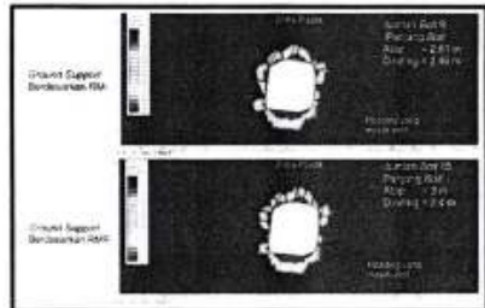
Pada lokasi K1 SUB 2B UC1 S OD03, untuk panjang *bolt* sesuai diameter blok batuan dan dimensi lubang bukaan berdasarkan R_{Mi} dan RMR (Gambar 4.3).

Pada lokasi KN-EXP DRIVE, untuk panjang *bolt* sesuai diameter blok batuan dan dimensi lubang bukaan berdasarkan R_{Mi} RMR (Gambar 4.4).

Sehingga dapat ditentukan bahwa kedua lokasi tersebut untuk panjang *bolt* berdasarkan R_{Mi} dan RMR telah menembus zona yield pada lubang bukaan yang diteliti.



Gambar 4.3 Zona Yield dan Panjang *Rockbolt* K1 SUB 2B UC1 S OD03



Gambar 4.4 Zona Yield dan Panjang *Rockbolt* KN-EXP DRIVE

Tabel 4.2 Rekomendasi Panjang Bolt

No.	Lokasi	Pemasang Baty			
		Rock Mass Index (RMI)		Rock Mass Rating (RMR)	
		Atap	Dinding	Atap	Dinding
1.	K1 SUB 2B UC 1 S OD03	2,92 m	2,45 m	3 m	2,4 m
2.	KN-EXP DRIVE	2,81 m	2,46 m	3 m	2,4 m

4.3 Analisis Penentuan Kondisi Stabilitas Lubang Bukaan

4.3.1. Penentuan Kondisi Stabilitas Lubang Bukaan Berdasarkan Laju Perpindahan

Analisis ini sangat diperlukan sebagai dasar untuk melakukan *monitoring* terhadap lubang bukaan tersebut. Laju perpindahan dalam pembahasan ini berdasarkan dihitung dengan persamaan Ghosh dan Ghose (1995) kemudian dikaitkan dengan pengalaman dari Kriteria Cording (1974).

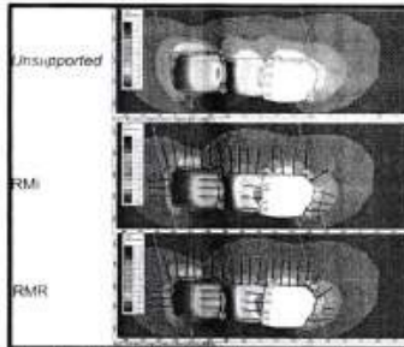
Nilai *total displacement* terbesar pada lokasi K1 SUB 2B UC 1 S OD03 pada atap saat sebelum dilakukan pemasangan *ground support* adalah 21 mm dan pada dinding adalah 56 mm. Setelah dipasang *ground support* berdasarkan RMI nilai *total displacement* terbesar pada atap berkurang menjadi 12 mm dan pada dinding menjadi 54 mm. Sedangkan nilai *total displacement* terbesar berdasarkan *ground support* yang diterapkan oleh Perusahaan menurut RMR pada atap berkurang menjadi adalah 12 mm dan pada dinding menjadi 54 mm (lihat pada Gambar 5.5 dan Tabel 5.3).

4.3.2. Analisis Penentuan Kondisi Stabilitas Lubang Bukaan Berdasarkan Finite Element Method Numerical Modeling

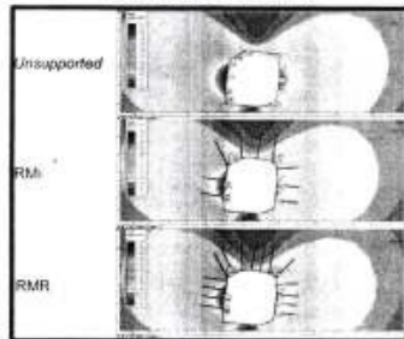
Penentuan ini adalah evaluasi yang dilakukan berdasarkan *finite element method numerical modeling*. Dari Pemodelan ini disajikan sebuah perbandingan untuk *ground support* yang baik sehingga didapatkan efektifitas dan efisiensi *ground support* yang dibutuhkan untuk setiap lubang bukaan yang diteliti.

4.3.2.1. Analisis Total Displacement Pada Atap dan Dinding Lubang Bukaan

Total Displacement adalah total perpindahan massa batuan dari keadaan semula akibat penggalian Dengan mengetahui *total displacement* maka dapat diketahui total perpindahan yang terjadi pada lokasi yang diteliti. Lihat Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Pemodelan Nilai *Total Displacement* K1 SUB 2B UC 1 S OD03



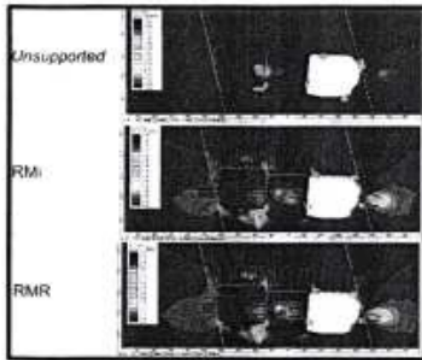
Gambar 4.6 Pemodelan Nilai *Total Displacement* KN-EXP DRIVE

Penelitian yang dilakukan tidak membahas mengenai total perpindahan dengan *monitoring*/pemantauan langsung di lapangan akan tetapi hanya dengan Analisis *total displacement* dilakukan dengan *finite element method numerical modeling* Alangkah lebih baiknya apabila dilakukan juga pemantauan langsung di lapangan agar didapatkan nilai perpindahan harian untuk menentukan adanya potensi *groundfall* pada lubang bukaan

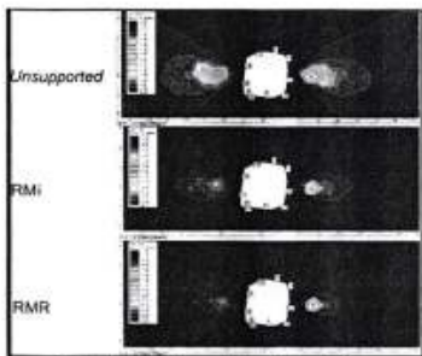
4.3.2.2. Analisis Faktor Keamanan Pada Atap dan Dinding Lubang Bukaan

Analisis Faktor Keamanan (FK) sangat diperlukan untuk menganalisis kestabilan lubang bukaan. Nilai FK menjadi acuan dalam melakukan pemasangan *ground support*. Kriteria FK minimal yang diterapkan di lokasi penelitian adalah 1,2. Pada Perhitungan Faktor Keamanan menggunakan fungsi *defined user data* pada *software* dengan persamaan Kriteria Keruntuhan Mohr Coloumb.

Berikut adalah hasil penentuan kondisi stabilitas lubang bukaan berdasarkan Faktor Keamanan yang dianalisis dengan *Finite Element Method Numerical Modeling*.



Gambar 4.7 Pemodelan Faktor Keamanan K1 SUB 2B UC 1 S OD03



Gambar 4.8 Pemodelan Faktor Keamanan KN-EXP DRIVE

Kemudian disajikan perbandingan kondisi stabilitas lubang bukaan baik dengan ground support atau tanpa ground support berdasarkan RMI dan RMR. Lihat Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Stabilitas RMI dan RMR

Lokasi	Klasifikasi	Faktor Keamanan					
		Support	Rock Mass	Rock Mass	Rock Mass	Rock Mass	Rock Mass
K1 SUB 2B UC 1 S OD03	RMI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
	RMR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
KN-EXP DRIVE	RMI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
	RMR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

Pada Lokasi K1 SUB 2B UC 1 S OD03 Hasil dari Faktor Keamanan tersebut jika merujuk dengan yang diterapkan di lapangan menurut Rimas Pakalnis telah mencapai kriteria aman ($FK > 1,2$) dengan FK terendah adalah 1,30 dan jika dihubungkan dengan KEPMEN ESDM RI nomor 1827 K/30/MEM/2018 belum tercapai dikarenakan untuk *nonfixed facilities* pada nilai FK minimal adalah 1,5. Hal ini perlu diperhatikan karena nilai FK yang lebih tinggi memberikan tingkat keamanan yang lebih baik.

Pada Lokasi KN-EXP DRIVE Hasil dari Faktor Keamanan tersebut jika merujuk dengan yang diterapkan di lapangan menurut Rimas Pakalnis telah mencapai kriteria aman ($FK > 1,2$) dengan FK terendah adalah 1,86 dan sudah sesuai dengan KEPMEN ESDM RI nomor 1827 K/30/MEM/2018 pada nilai faktor keamanan minimal 1,5 untuk *nonfixed facilities*.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Nusa Halmahera Minerals atas kesempatan yang telah diberikan untuk melakukan penelitian, serta kepada Bapak Dr. Ir. Barlian Dwinagara, MT dan Ibu Dyah Probowati, MT yang telah membimbing dalam proses penyusunan skripsi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

- Batuan yang terdapat pada lokasi K1 SUB 2B UC 1 S OD03 dan KN-EXP DRIVE memiliki kelas massa batuan berdasarkan RMI adalah *moderate*, dengan kebutuhan *Rock Bolt* jenis *splitset* berjumlah 11 buah dan 9 buah, ketebalan *shotcrete* 100 mm dan 60 mm, sedangkan berdasarkan RMR memiliki kelas *fair rock* hingga *good rock*, dengan kebutuhan *Rock Bolt* jenis *splitset* berjumlah 15 buah dan ketebalan *shotcrete* 75 mm.
- Kondisi stabilitas lubang bukaan berdasarkan *Finite Element Method* dan Kriteria Keruntuhan Mohr Coloumb dengan Faktor Keamanan pada atap dan dinding terendah untuk lokasi K1 SUB 2B UC 1 S OD03 adalah 1,30 dan untuk lokasi KN-EXP DRIVE adalah 1,91 dalam penggunaan *ground support* berdasarkan RMI dan RMR.
- Secara umum dilihat dari kebutuhan pemodelan *ground support* dan zona *yield*, serta *total displacement* dari lubang bukaan. Klasifikasi RMI lebih efektif dari segi penggunaan serta efisien dari segi kebutuhan *ground support*.

6.2 Saran

- Perlu terus dilakukan *Face Mapping* mengingat kondisi karakteristik massa batuan di tambang bawah tanah kencana sangat heterogen dan memiliki struktur yang kompleks agar dapat menentukan *ground support* yang paling tepat sesuai kondisi massa batuan.
- Kondisi stabilitas lubang bukaan untuk Faktor Keamanan direkomendasikan untuk mengikuti KEPMEN ESDM RI nomor 1827 K/30/MEM/2018 dan untuk perpindahan lubang bukaan tidak hanya dianalisis berdasarkan berdasarkan pemodelan numerik tetapi perlu dilakukan pemantauan secara langsung agar dapat memantau perpindahan secara aktual.
- Harus dilakukan *trial* mengenai keefektifan *ground support* berdasarkan RMI sesuai kondisi

aktual di lapangan dan mengevaluasi *ground support* tambang bawah tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Astawa Raj, Made . Suseno, Kramadibrata., dan Ridho, Kresna Wattimena. dkk. 2014. *Mekanika Batuan*. Penerbit ITB : Bandung.
2. Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Rock Mass Classifications – A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering*, John Wiley and Sons, New York.
6. Finn,David.2017. *Ground Control Management Plan*. PT Nusa Halmahera Minerals.
7. Ghosh,CN, Ghose AK. 1995. *Prediction of Ground Stability Through Convergence Velocity. Proceeding 35th US Rock Mechanics Symposium*,AA Balkema, Rotterdam.
8. Hoek, E., Kaiser, P.K dan Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavation in Hard Rock*, A.A Balkema, Rotterdam.
9. Hoek E ., Brown E.T. 1980. *Underground Excavations in Rock*. London : Institution of Mining and Metallurgy.
10. Hoek E ., Brown E.T. 1997. *Practical Estimates of Rock Mass Strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science.
11. Hoek,E dan Paul Marinos. 2000. *GSI, a geologically friendly tool for rock mass strength estimation*.
12. Hoek, E. 2006. *Practical Rock Engineering*. Capilano Crescent: Canada
13. Palmström, A., (1995), "Characterizing Rock Mass by the RMI for Use in Practical Rock Engineering" : Part I - The development of the Rock Mass *Journal of Tunneling and Underground Space Technology* Vol. 11 No. 2 1996, Norway.
14. Palmström, A. "A short introduction to the Rock Mass index (RMI) and its all applications", www.rockmass.net
15. Palmström, A., (1995), "Characterizing Rock Mass by the RMI for Use in Practical Rock Engineering" : Part II – Some practical applications of the Rock Mass index (RMI). *Journal of Tunneling and Underground Space Technology* Vol. 11 No. 2 1996, Norway.
3. Bieniawski, Z.T., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. AA , Balkema, Rotterdam.
4. Brady, B.H.G dan Brown, E.T., 2005, *Rock Mechanics for Underground Mining – Third Edition*, Kluwer Academic Publisher, New York.
5. Less,A.2016.*Geotechnical Finite Element Analysis*. Ice Publishing.London
16. Palmström, A., (1995), Thesis : *RMI - A Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purposes*, Norwegian Geotechnical Institute, Norway.
17. Palmström, A., (1995), "Recent Development in Rock Support Estimates by the RMI", *Journal of Rock Mechanics and Tunneling Technology* Vol.6 No.1 May 2000, Norway.
18. Palmström, A., (1995), "RMI - a system for characterizing rock mass strength for use in rock engineering". *Journal of Rock Mechanics and Tunneling Technology* Vol. 1 No. 2, Norway.
19. Palmström, A., 2001. *In-Situ Characterization of Rocks* : Chapter 2 – Measurement and Characterization of Rock Mass Jointing, A.A Balkema, Rotterdam.
20. Palmström, A., 2005. *Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)*, www.rockmass.net
21. Palmström, A., Stille H. 2015. *Practical Rock Engineering*. Ice Publishing.London.
22. Priest,S.D.,Hudson,J.A.1976. *Discontinuity in Rock*. International Journal of Rock Mechancis and Mining Science. Pergamon Press: Great Britain
23. PT Nusa Halmahera Minerals. *Feasibility Study*
24. PT Nusa Halmahera Minerals. *Minerals Department*.
25. PT Nusa Halmahera Minerals. *Ore Treatment Department*.
26. PT Nusa Halmahera Minerals. *Production Department*.
27. Wattimena, RK.2017. *Mekanika Batuan dan Perancangan Konstruksi Bawah Tanah*. Penerbit : ITB Bandung

EVALUASI GROUND SUPPORT BERDASARKAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN ROCK MASS INDEX DAN ROCT MASS RATING SERTA MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD NUMERICAL MODELING PADA TAMBANG BAWAH TANAH KENCANA PT NUSA HA

ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 2%