

Evaluasi Desain Stope Berdasarkan Equivalent Linear Overbreak/Slough (Elos) pada Vein Damar Unit Penambangan Emas Tambang Bawah Tanah Toguraci

(Studi Kasus : PT Nusa Halmahera Minerals Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara)

Evaluation of Stope Design Based on Equivalent Linear Overbreak / Slough (Elos) at Vein Damar Toguraci Underground Mining Unit

(Case Study: PT Nusa Halmahera Minerals North Halmahera District North Maluku Province)

¹Tarmizi W. Umar, ²Maryanto, ³Yuliadi

^{1,2,3}Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

email: ¹tamaguante@gmail.com, ²Maryanto_Geo@yahoo.com, ³yuliadi_ms@yahoo.com.

Abstract. The Underground Mining in PT Nusa Halmahera Minerals site Toguraci uses a combination method, that is Under Hand Cut and Fill (UHCF) and Open Stope (Sub Level – Blind Stope). The ore mining has large amount of volume. The condition always causes big chances of fall probability to the Tunnel and the Stope. The present sequence is on the elevation ± 130 meter under ground surface with the Lava Andesites formation. The Evaluation of this research is done to the ore body (vein) of Damar with 23 Stope in 15m – 20m Stope length (span). From the result of classification of rock mass with Q-system modify (Q') and Stability Number (N'), the Hanging wall part of the ore body (vein) of Damar is classified as Fair Rock Category, and Poor Rock for the Foot Wall. Mathews Stability Graph is a approach method that used in Open Stope design and planning, which provides Equivalent Linear Overbreak/Slough (ELOS) value that can be rating to the stability. Rock mass quality which is classified as Poor Rock at the Foot Wall part of the Damar ore body (vein) causes to Overbreak that can be happened in a actual condition. According to the calculation of ELOS (1m – 2m), it is different with the Hanging Wall that categorized as Stable (ELOS <1m). According to the result of this research, this condition is assumed less synchronized geometry design of Open Stope (Hydraulic Radius) to the competence of rock mass (Stability Number N'). To minimize the overbreak possibility or big ELOS, there is some given recommendations; (a) At the Hanging Wall, the maximum Hydraulic Radius (HR) is [3m in Stability Number (N') value < 1 or stope (span) length is not longer than 15m; and (b) At Foot Wall, the recommended maximum Hydraulic Radius (HR) is <2,5m in Stability Number (N') <1 or stope (span) length is not longer than 15m.

Keywords: Underground Mining Stability, Rock Mass Quality, Open Stope, Mathews Stability Graph, ELOS

Abstrak. Penambangan bawah tanah di PT Nusa Halmahera Minerals site Toguraci menggunakan kombinasi metode yaitu Under Hand Cut and Fill (UHCF) dan Open Stope (Sub Level – Blind Stope) yang mana pengambilan Ore dilakukan dengan jumlah volume yang besar. Kondisi ini selalu menimbulkan potensi runtuh yang besar pada terowongan baik Tunnel maupun Stope. Penggalian saat ini berada pada elevasi ± 130 meter di bawah permukaan tanah dengan jenis batuan lava andesit. Evaluasi dilakukan di badan bijih (vein) Damar sebanyak 23 Stope dengan panjang Stope (span) 15m – 20m. Dari hasil pengklasifikasian massa batuan dengan Q-system Modify (Q') dan Stability Number (N'), bagian Hanging Wall dari badan bijih (vein) Damar termasuk dalam kategori Fair Rock, dan Poor Rock pada bagian Foot Wall. Mathews Stability Graph adalah salah satu metode pendekatan yang digunakan dalam desain dan perancangan bukaan Stope, dimana metode ini menyediakan nilai Equivalent Linear Overbreak / Slough (ELOS) yang dapat dijadikan penilaian terhadap kestabilannya. Kualitas massa batuan yang dinilai Poor Rock pada bagian Foot Wall dari badan bijih (vein) Damar mempengaruhi besarnya Overbreak yang terjadi pada kondisi aktual. Berdasarkan perhitungan ELOS (1m – 2m) pada bagian Foot Wall yang berbeda dengan bagian Hanging Wall yang tergolong stabil (ELOS < 1m). Dari hasil penelitian, kondisi ini dinilai kurang sinkronnya desain geometri bukaan stope (Hydraulic Radius) terhadap kompetensi massa batuan (Stability Number N'). Untuk meminimalisir potensi overbreak atau ELOS yang besar, adapun rekomendasi yang diberikan; (a) Pada bagian Hanging Wall, Hydraulic Radius (HR) maksimum adalah [3m pada nilai Stability Number (N') < 1 atau panjang stope (span) tidak lebih dari 15m; dan (b) pada bagian Foot Wall, Hydraulic Radius (HR)

maksimum yang direkomendasi adalah $< 2,5\text{m}$ pada nilai Stability Number (N') < 1 atau panjang stope (span) tidak lebih dari 15m.

Kata Kunci: Kestabilan Tambang Bawah Tanah, Kualitas Massa Batuan, Open Stope, Mathews Stability Graph, ELOS

A. Pendahuluan

Unit Penambangan Emas PT Nusa Halmahera Minerals (PT NHM) merupakan salah satu perusahaan tambang yang menggunakan variasi metode penambangan bawah tanah sesuai dengan kondisi batuan sekitar lubang bukaan (country rock). Metode penambangan bawah tanah yang digunakan pada Underground Toguraci untuk mengambil ore yaitu Under Hand Cut and Fill (UHCF) dan Open Stope Mining Method.

Metode penambangan Open Stope ini mempunyai kecenderungan risiko terhadap dilution dan failure yang tinggi. Oleh karena itu, memerlukan kajian dan evaluasi khusus terhadap kondisi batuan sekitar sebelum melakukan ekstraksi atau penggalan, yaitu klasifikasi massa batuan (Rock Mass Classification) maupun tegangan (insitu stress) yang ada disekitar lubang bukaan.

Pada kondisi aktual di lapangan, proses pengambilan ore pada tambang bawah tanah Toguraci ini selalu terjadi overbreak dan berdampak pada dilution. Kondisi ini membuat kegiatan penambangan yang kurang efektif baik secara teknis maupun ekonomis.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah, “Bagaimana kestabilan bukaan *stope* pada badan bijih damar dengan pengaruh kondisi masa batuan yang ada?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

1. Mengklasifikasikan massa batuan pada area dan sekitar bukaan Stope.
2. Menentukan kestabilan bukaan Stope pada badan bijih Damar.
3. Rekomendasi desain geometri dalam perancangan bukaan Stope meliputi panjang (span) untuk dilakukan penggalan.

B. Landasan Teori

Terdapat beberapa variasi lebar dari bentuk orebody dan karakteristik massa batuan yang ditemukan di dalam tambang bawah tanah pada setiap tambang terdapat sebuah keunikan mendesain yang menantang. Tipe dari metode-metode tambang harus dimodifikasi dengan tepat untuk bebarapa keganjilan dari sifat-sifat setiap batuan yang ada di tambang bawah tanah. Proses terjadinya massa batuan adalah terbentuk secara alamiah, sehingga memiliki sifat yang cenderung unik (tidak ada kembarannya) meskipun secara deskriptif namanya sama. Oleh karena itu, sifat massa batuan di alam adalah heterogen, anisotrop, dan diskontinu.

Perilaku massa batuan dikontrol melalui komponen-komponen berikut.

1. Kekuatan Batuan Utuh

Kepadatan secara umum berhubungan langsung dengan kekuatan batuan (Deere, 1968).

2. Tekanan Bidang

Pada kedalaman sedang, massa batuan cenderung tertahan sebagai kesatuan. Dekat permukaan, pada tahap akhir penambangan dimana area penambangan sudah terbuka, dapat terbentuk kekar, sehingga mengurangi kepadatan, kekuatan, dan kestabilan. Pada kedalaman yang besar, tekanan yang disebabkan oleh penggalan dapat melampaui kekuatan batuan, menghasilkan rekahan dan ketidak-stabilan.

3. Kepadatan Rekahan dan Kualitas Inti Bor

Beberapa hancuran pada inti bor mengindikasikan massa batuan yang pecah atau

terkekarkan sehingga cenderung tidak stabil ketika digali.

4. Kemenerusan Kekar

Kekar dengan kemenerusan yang tinggi cenderung untuk bergabung dengan struktur lainnya membentuk bidang bebas yang besar pada batuan, dibandingkan dengan kekar yang kemenerusannya rendah.

5. Jarak / Spasi Kekar

Semakin dekat jarak kekar menghasilkan ukuran bidang yang kecil, meningkatkan potensi pergeseran dan rotasi internal saat deformasi massa batuan, dan mengurangi kestabilan.

6. Kontur Kekar, Bukaan dan Kondisi Permukaan

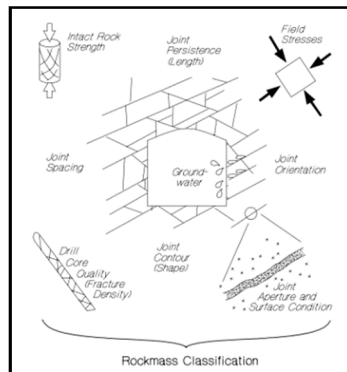
Bidang kekar memiliki kemungkinan longsor yang lebih besar dibandingkan dengan permukaan yang bergelombang. Sama halnya dengan permukaan halus yang memiliki tahanan gesek gelincir yang lebih kecil dibandingkan dengan permukaan yang kasar. Kekar terbuka atau kekar yang tidak terisi lebih lemah dibandingkan rekahan yang terisi.

7. Air Tanah

Air tanah dapat menurunkan kestabilan suatu penggalian dengan mengikis permukaan kekar dan bidang kosong. Lebih jelasnya, tekanan air mengurangi tahanan gesek sehingga kemungkinan terjadi gelincir sepanjang rekahan dan lebih jauhnya melemahkan massa batuan.

8. Orientasi Kekar

Kekar dapat memotong suatu penggalian yang dilakukan pada orientasi yang buruk, memungkinkan terjadinya longsor bidang atau tekanan yang dapat menyebabkan terjadinya gelincir.



Gambar 1. Skema Dasar Komponen dari Klasifikasi Massa Batuan

Barton et al. (1974) mempelajari banyak kasus penggalian bawah tanah dan mengembangkan Tunneling Quality Index, *Q*. Ini bertujuan untuk mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan parameter insitu termasuk kualitas batuan, kondisi bidang lemah dan tekanan. *Q* ditentukan dengan persamaan:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \dots\dots\dots (1)$$

SRF dibuat 1,0 yang mana setara dengan kepadatan menengah tapi bukan merupakan massa batuan dengan tekanan berlebihan. Lebih jauh, kebanyakan lingkungan tambang bawah tanah (batuan keras), penggalian relatif kering (tidak termasuk aliran air tambang sementara dari pengeboran atau pengisian-kembali).

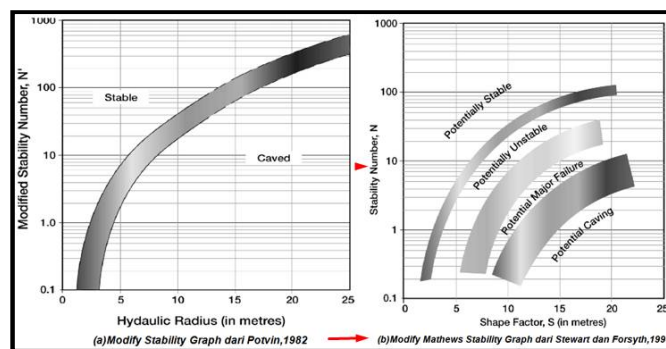
Karena itu, J_w dapat juga diatur 1,0 dalam kasus ini. Pada lingkungan dengan tekanan air tinggi, analisis berdasarkan tekanan harus melibatkan efek tekanan dan aliran air apabila J_w diturunkan dari Q' . Saat menentukan Indeks Modifikasi Kualitas Batuan, selalu gunakan apostrof (') untuk membedakannya dengan Q temuan Barton.

Parameter ini haruslah menggambarkan sifat yang melekat pada massa batuan dengan baik, tidak terikat pada ukuran dan bentuk penggalan yang mana digolongkan secara terpisah pada analisis selanjutnya. Gunakan Q' untuk menghitung Modulus (E_{rm}) dan kekuatan dari massa batuan (Hoek et al., 1995). Sebaliknya, gunakan Q asli secara langsung ketika menerapkan kestabilan Barton dan rekomendasi penyanggaan. Persamaan faktor Q' dengan J_w diatur menjadi 1,0.

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan diatas digunakan bersamaan dengan beberapa factor lainnya (termasuk bidang lemah, geometri jenjang dan tekanan berlebihan) untuk menentukan *Modify Stability Number* (N'), yang mana digunakan dalam metode Grafik Modifikasi Kestabilan (Mathews et al., 1981, Potvin, 1988; Bawden, 1993 dan Hoek et al., 1995) untuk pembuatan dimensi *open slope* dalam penambangan dan untuk rancangan penyangga *cabolebolt*.

Klasifikasi massa batuan dan masalah penggalan tersendiri diselesaikan dengan Metode Grafik Modifikasi Kestabilan melalui penggunaan *Modify Stability Number* (N'), sebagaimana dispesifikasikan oleh Potvin (1988), Potvin dan Milne (1992) dan Bawden (1993).



Gambar 2. Mathews Stability Graph

N' didasari oleh Q' , pada persamaan (2).

Dimana:

RQD/j_n : ukuran bidang untuk massa batuan terkekarkan

J_r/J_n : ukuran kekuatan dan kepadatan kekar permukaan

Modified Stability Number, N':

$$N' = Q' \times A \times B \times C \dots\dots\dots (3)$$

Rock Stress Factor, A

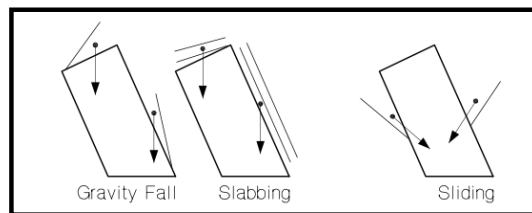
Faktor A ini merupakan ukuran dari perbandingan kekuatan batuan utuh dengan tekanan yang timbul. Sebagaimana tekanan maksimum bekerja parallel terhadap permukaan bebas *slope* mendekati kekuatan uniaxial batuan, faktor A menjadi kecil terkait ketidakstabilan akibat respon balik batuan.

Joint Orientation Factor, B

Faktor B ini merupakan ukuran orientasi relatif dari kekar dominan berkenaan dengan permukaan penggalian. Kekar yang membentuk sudut agak landai (10-30°) dengan bidang ebas cenderung tidak stabil. Kekar yang tegak lurus terhadap permukaan diasumsikan memiliki pengaruh yang kecil terhadap kestabilan.

Gravity Adjusment Factor, C

Faktor C ini merupakan ukuran pengaruh gravitasi pada kestabilan permukaan kerja. Permukaan *stope* yang menggantung atau struktur lemah yang berorientasi buruk terkait gelinciran akibat gravitasi sangat berdampak buruk terhadap kestabilan. (Gambar 3)

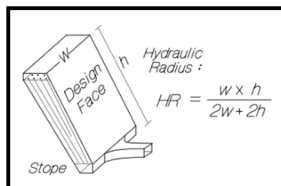


Gambar 3. Model Runtuhan untuk Penentuan Faktor C

Hydraulic Radius (HR) dan Equivalent Linear Overbreak / Slough (ELOS)

Sebelum menggunakan Grafik Stabilitas, perlu dipahami maksud radius hidrolik (HR) terlebih dahulu. Singkatnya, HR dihitung dengan membagi area permukaan stope sesuai dengan perimeter permukaan.

Sebagian besar sistem klasifikasi batuan (RMR dan Q) menentukan kestabilan dan zona pernyangga berdasarkan 1 nilai *span*. Hal ini dikarenakan metode-metode ini diturunkan dari data dasar pembuatan terowongan dimana panjang *span* diasumsikan tak terbatas dan *span* pendek merupakan dimensi kritis. (Gambar. 4)



Gambar 4. Hydraulic Radius (HR)

Performa masing-masing permukaan kemudian diklasifikasikan menjadi stabil, tidak stabil dan gagal/longsor. ELOS digunakan dalam perhitungan untuk memastikan konsistensi dalam *range* data, sebagaimana dijelaskan oleh Pakanis (1996). (Gambar. 5) Nilai ELOS dari masing-masing *Stope Wall* diplot ke *Stability Graph* dan akan memberikan indikasi ukuran runtuh. Suorineni, F.T, dkk (1999).

ELOS value (m)	Category description
0-1	Stable
1-3	Overbreak
>3	Significant overbreak

Blast Damage and Drillhole Deviation	< 0.3m ELOS
Minor Slough	0.3 - 1.0 m ELOS
Moderate Slough	1.0 - 2.0 m ELOS
Severe Slough	> 2.0 m ELOS.

The diagram shows a cross-section of a stope wall with a shaded area representing 'Overbreak/Sloughage' and a line indicating the 'ELOS' measurement.

Gambar 5. Klasifikasi Kestabilan *Stope* Berdasarkan Kategori ELOS

Peringkat stabilitas ini tidak mencakup tonase dan kadar dari *final stope*. Peringkat stabilitas ini hanya menggambarkan volume runtuh batuan. Untuk menghitung ELOS masing-masing *stope wall*, hasil *Cavity Monitoring System (CMS)* dan desain bentuk dari *stope* ditampilkan bersamaan dengan bantuan di *softwaer 3D*, dimana memungkinkan perbandingan antara keduanya.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berikut nilai hasil perhitungan Stability Number N' dengan persamaan (3) setelah kegiatan pengukuran dan pengamatan dari beberapa parameter/faktor yang digunakan dalam pertimbangan penilaian masa batuan.

Tabel 1. Data Hasil Evaluasi Kompetensi Masa Batuan di Area Penambangan

STABILITY NUMBER N'																			
LEVEL	STOPE	Q'				A		B		C		Aktual		N		G CMP			
		Model		G CMP		G CMP		Aktual		Aktual		G CMP							
		HW	FW	HW	FW	HW	FW	HW	FW	HW	FW	HW	FW	HW	FW				
4998	A_S	1	10,7	2,5	0,53	0,72	1	1	0,2	0,3	7,6	6,9	7,6	3,3	8,6	1,5	16,2	2,1	
		2	3,5	0,1	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	7,4	7,5	7,4	3,5	2,7	0,1	5,2	0,1	
		3	3,3	0,8	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	7,2	7,5	7,2	3,5	2,7	0,4	5,0	0,6	
		4 (INT)	0,4	0,3	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	6,6	6,4	6,6	3	0,3	0,1	0,6	0,2	
	A_N	1	0,9	2,5	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	7	5,9	7	4	0,6	1,4	1,2	2,0	
		2	8,8	2,1	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	6,8	6,8	6,8	3,6	7,3	1,1	13,8	1,5	
	B_S	1	9,1	7,0	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	6,5	6,8	6,5	3	6,2	3,0	11,8	4,2	
		2	41,3	2,2	0,53	0,72	1	1	0,3	0,2	6,4	6,4	6,4	4,2	35,0	1,5	66,0	2,0	
		3	8,3	1,8	0,53	0,72	1	1	0,2	0,2	6,5	5,4	6,5	5,3	5,7	1,4	10,7	1,9	
		4	0,4	2,3	0,53	0,72	1	1	0,2	0,3	5,2	6,4	5,2	4,6	0,2	2,0	0,4	2,8	
	4988	A_N	6	5	2,5	0,62	0,72	1	1	0,3	0,2	7,8	7,7	7,8	3,1	6,3	1,1	10,1	1,6
			5	0,96	0,94	0,62	0,72	1	1	0,3	0,2	6,5	6,1	6,5	3,4	1,0	0,5	1,6	0,7
4		4,08	1,56	0,62	0,72	1	1	0,3	0,2	6,5	6,1	6,5	3,4	4,4	0,8	7,2	1,1		
3		0,82	4,83	0,62	0,72	1	1	0,3	0,2	6,1	5,8	6,1	3,6	0,8	2,8	1,3	3,8		
2		0,95	1,56	0,62	0,72	1	1	0,2	0,2	6,5	5,7	6,5	3,4	0,8	0,8	1,2	1,2		
1		4	1,56	0,62	0,72	1	1	0,2	0,2	6,6	5,9	6,6	3,6	3,3	0,9	5,3	1,3		
B_S		1	0,48	1,15	0,62	0,72	1	1	0,2	0,2	6,9	5,8	6,9	3,5	0,5	0,6	0,8	0,8	
		2	1,56	0,11	0,62	0,72	1	1	0,3	0,2	6,8	7,1	6,8	3,5	1,7	0,1	2,8	0,1	
		3	0,39	1,67	0,62	0,72	1	1	0,2	0,2	6,4	7,0	6,4	3,2	0,4	0,8	0,6	1,1	
		4	0,39	1,88	0,62	0,72	1	1	0,3	0,2	5,9	6,7	5,9	3,1	0,4	0,8	0,6	1,2	
4970	A_N	1	3,69	1,46	0,47	0,63	1	1	0,2	0,2	5,8	7,4	5,8	3	2,0	0,6	4,3	0,9	
		2	1,67	1,44	0,47	0,63	1	1	0,3	0,2	5,8	5,9	5,8	3,2	1,1	0,6	2,4	0,9	
	3	1,88	2,08	0,47	0,63	1	1	0,2	0,2	5,5	7,2	5,5	3,1	1,1	0,8	2,4	1,3		

Berdasarkan hasil perhitungan menurut klasifikasi Q-system index, massa batuan pada tambang bawah tanah Toguraci, khususnya pada badan bijih Damar, bagian hanging wall memiliki kelas batuan Fair - Good Rock (5-20), dan foot wall dengan kelas batuan Poor Rock (1-4).

Sementara penggalian tambang bawah tanah Toguraci berada pada level ±150 meter di bawah permukaan tanah, dimana menurut GCMP (Ground Control Management Plan) Toguraci Underground Mine / aplikasinya, kondisi tegangan pada batuan masih dinilai Low Stress atau 1 pada faktor A. Secara teoritis, insitu stress pada massa batuan di bawah permukaan tanah akan mengalami perubahan tegangan apabila dilakukan penggalian ataupun bertambahnya level. Ini terlihat dari hasil pemodelan geoteknik yang menunjukkan adanya perbedaan tegangan pada batuan.

Faktor A (Rock Stress) adalah pendekatan yang menilai stress dari perbandingan nilai kuat tekan batuan terhadap nilai mayor principal stress (σ_c/σ_1). Sehingga apabila penggalian dilakukan pada level 125 mdpt (TD4998) dengan nilai kuat tekan batuan $\sigma_c = 80$ MPa (batuan andesit lava) dan nilai $\sigma_1 = 13,5$ MPa pada bagian Foot Wall dan 10,5 MPa pada bagian Hanging Wall (Gambar 4.12 Model Geoteknik), maka nilai Faktor A adalah sebesar 0,53 dan 0,72.

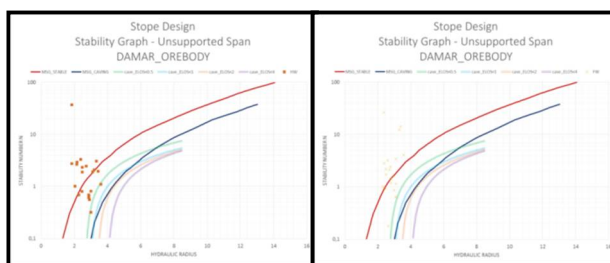
Pada faktor lain, bidang lemah yang berada di sekitar bukaan mempunyai orientasi yang relatif paralel terhadap orientasi bidang stope. Dengan rata-rata

perbedaan dip 100 - 350. Baik pada bagian hanging wall maupun foot wall dari badan bijih Damar, kemiringan bidang lemah semakin kecil (tegak) terhadap bukaan seiring bertambahnya level penggalian.

Kondisi dimana badan bijih Damar dengan arah kemiringan NW-SE, maka dengan bertambahnya kedalaman penggalian, bagian hanging wall dari bukaan stope relatif sejajar terhadap bidang lemah. Berbeda dengan bagian foot wall dimana kemiringan dari bidang stope yang semakin berlawanan terhadap bidang lemah.

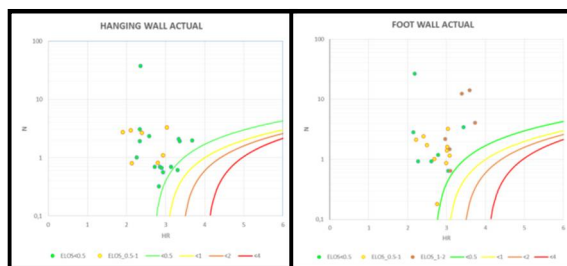
Hubungannya dengan faktor C, pada bagian hanging wall akan berefek lebih stabil jika dibandingkan dengan bagian foot wall. Aplikasinya di lapangan, terhadap model runtuh (gravity adjusment) dari 2 bagian ini dinilai sama dalam penerapannya terhadap parameter Stability Graph, yaitu Slabbing dan Gravity Fall. Namun pada aktual di lapangan, kondisi seperti pada bagian foot wall lebih tepat membentuk model runtuh Sliding, dimana kemiringan dari bidang lemah memotong bidang bukaan stope.

Berikut hasil desain bukaan stope dengan Mathews Stability Graph,



Gambar 6. *Stability Graph* Hasil Desain

Dari hasil evaluasi, terdapat perbedaan penilaian pada faktor A dan C yang digunakan dalam mendesain bukaan stope pada tambang bawah tanah Toguraci. Faktor rock stress (A) dan gravity adjusment (C) dinilai terlalu besar dan kurang sinkronnya terhadap aktualnya di lapangan. Dengan hasil diatas, kualitas massa batuan berdasarkan Stability Number N' , bagian hanging wall mempunyai rating $N' = 2-10$, dan $N' = 0-3$ pada bagian foot wall.



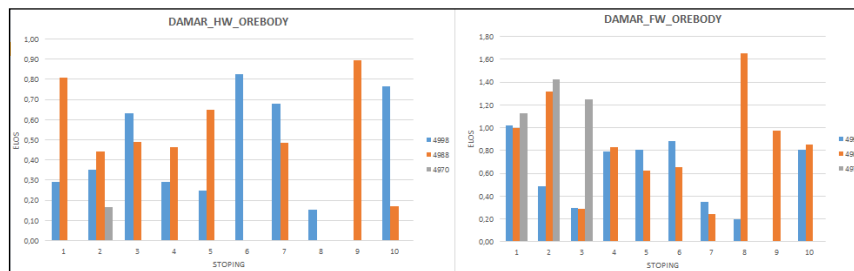
Gambar 7. *Stability Graph* Aktual di Lapangan

Hubungannya dengan nilai overbreak / ELOS, kualitas massa batuan menjadi bagian besar yang paling berpengaruh terhadap desain bukaan Stope.(Palkanis, 1994).

Dari hasil pengklasifikasian massa batuan, baik menurut Q-system index maupun nilai N' Number, menyebutkan bahwa, massa batuan pada bagian footwall relatif lebih lemah (kecil) dari badan bijih Damar dibandingkan dengan bagian hanging wall.

Hal ini menunjukkan bahwa potensi terjadi overbreak / ELOS pada bagian foot wall lebih besar dibandingkan pada bagian hanging wall. Pada kondisi aktual, rata-rata terjadi overbreak / ELOS < 1m pada bagian hanging wall, dan bagian foot wall terjadi

overbreak / ELOS >1 m. Dari hasil pengukuran *overbreak* / ELOS pada bukaan *stope* di badan bijih Damar, kondisi aktual di lapangan berbeda dengan desain yang diestimasi stabil (ELOS < 1m).



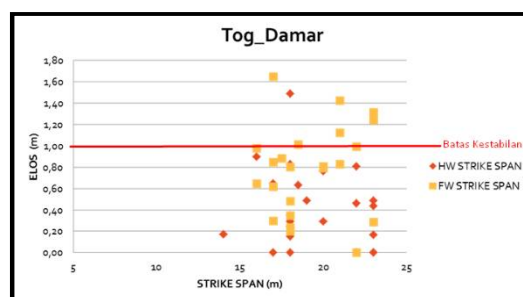
Gambar 8. Plotting ELOS Pada Perbedaan Level Penggalian

Secara keseluruhan, hasil plot *stability graph* dari kondisi aktual penggalian menunjukkan :

- Bagian *hanging wall* badan bijih mengalami *Overbreak* hingga 1 m pada.
- Dan pada bagian *foot wall*, sebesar 30% dari total bukaan *stope* yang diestimasi akan stabil, terjadi *overbreak* yang besar (1m >) atau termasuk dalam kategori *moderate slough*.

Kondisi ini tentu hubungannya dengan nilai *N' Number* (kualitas massa batuan) terhadap dimensi *span* dari bukaan *stope* atau *Hydraulic Radius* yang digunakan pada penambangan di badan bijih Damar rata – rata memiliki ukuran yang besar (2,5 m – 4 m / panjang blok 15 m – 20 m) untuk kualitas batuan yang dimilikinya.

Pada grafik di bawah (Gambar 9), menunjukkan bahwa panjang blok atau bukaan *stope* yang lebih dari 20 m pada bagian *hanging wall* masih stabil (ELOS < 1 m), sedangkan pada bagian *foot wall* relatif mengalami *Overbreak* / *Moderate Slough* (ELOS > 1m) pada *stope* dengan panjang yang lebih dari 16 m.



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara *Span* dengan Nilai ELOS Aktual pada Desain *Stope*

Untuk parameter *Hydraulic Radius* (HR), *stope* dengan panjang 20 m atau lebih mempunyai nilai sebesar $\pm 3,5$ m, dan *stope* dengan panjang 16 m mempunyai HR > 2,5 m. Yang artinya penggalian di badan bijih Damar pada bagian *foot wall* tidak boleh melebihi dari 15 m atau kurang darinya.

Pada tahap evaluasi dilakukan juga pemodelan geoteknik yang dapat dipakai untuk mengestimasi insitu principal stress pada penggalian bawah tanah, pendekatan yang didapat dari model geoteknik adalah Horizontal Displacement dan Yield / Loosening Zone dimana menggambarkan area massa batuan yang berpotensi lepas akibat penggalian. Parameter ini kemudian dapat diasumsikan sebagai potensi overbreak

dan unplanned dilution yang muncul. Dimensional Hoek-Brown Yield Criterion, oleh Hudson, J.A (1988). Berikut *Rock Mass Properties* dan hasil pemodelan perilaku batuan pada kegiatan penambangan.

Tabel 2. Propertis Masa Batuan Hasil Pengujian Laboratorium

Rock Mass Domain	ρ (t/m^3)	E_i (GPa)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	D	Intermediate σ_3 (MPa)	segment 1		segment 2		σ_{tm} (MPa)	ψ (°)	E_{rm} (GPa)	ν_{rm}	
								Max σ_3 (MPa)	c (MPa)	ϕ (°)	c (MPa)					ϕ (°)
Andesite	2.8	23.2	58	45	20	0	2.06	10	0.87	51	3.63	35	0.05	10	5.19	0.25
Diorite	2.7	19.5	60	40	25	0	1.99	10	0.79	52	3.62	36	0.03	10	3.11	0.26
Basalt	2.7	28.0	80	40	25	0	2.03	10	0.89	54	3.98	38	0.04	10	4.47	0.26

ρ = density

E_{rm} = Young's modulus for the Intact Rock

σ_{ci} = Uniaxial Compressive Strength of Intact Rock

GSI = Geological Strength Index

m_i = Hoek-Brown material constant for intact rock

D = Hoek-Brown disturbance factor

σ_3 = Minor Principal Stress

c = Rock Mass Cohesion

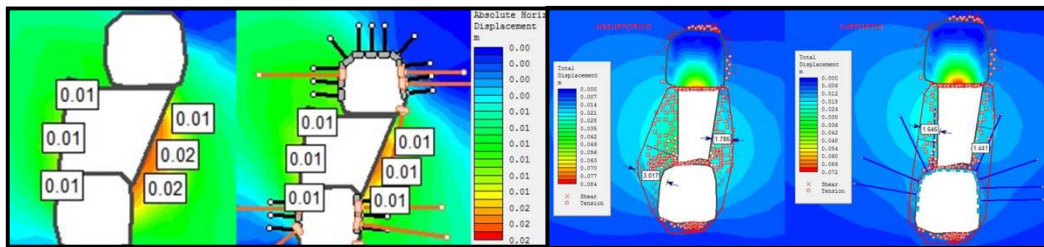
ϕ = Rock Mass Friction Angle

σ_{tm} = Rock Mass Tensile Strength

ψ = Rock Mass Dilation Angle

E_{rm} = Young's modulus for the Rock Mass

ν_{rm} = Poisson's ratio for the Rock Mass



Gambar 10. Hasil Pemodelan Meliputi *Horintal Displacement* dan *Yield Zone* (Loosening Potential), Unsupported (kiri) Supported (kanan)

Pada metode Mathews Stability Graph dalam mempertimbangkan faktor Stress (A) yang disebutkan mengacu pada model geoteknik untuk menentukan Stress yang bekerja pada batuan sekitar, baik sebelum maupun setelah dilakukan penggalian bawah tanah. Pada hasil pemodelan terlihat perbedaan tegangan batuan (σ_1 ; σ_3) mengikuti stage penggalian.

Pada level 4998, perbandingannya (13,5 MPa ; 1,2 MPa), sedangkan penggalian pada level 1970 adalah (16 MPa ; 2,75 MPa). Dimana tegangan pada batuan mengalami peningkatan dengan bertambahnya kedalaman, ini berdampak pada besarnya ELOS / Overbreak yang terjadi. Ini terlihat pada kegiatan penggalian di level TD4998 - TD4970, dimana ELOS terjadi mulai dari 1 m – 1,5 m.

Pada contoh model di atas (gambar kanan), model potensi yield zone yang muncul apabila dilakukan penggalian pada bukaan stope sebelum (kiri) dan telah ditambahkan perkuatan (reinforcement) dengan cable bolt (kanan). Pada kasus, dapat dilihat juga pada model Displacement dan Yield Element yang mana terjadi perpindahan sebesar 70% pada penggalian di level 4998 dan 100% pada level 4970.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi desain bukaan stope di tambang bawah tanah Toguraci PT Nusa Halmahera Minerals khususnya pada badan bijih (vein) Damar, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan klasifikasi massa batuan Q-System Modify (Q') dan Stability Number N', bagian Hanging Wall dari badan bijih (vein) Damar termasuk dalam kategori Fair Rock, dan Poor Rock pada bagian Foot Wall.

2. Kelas massa batuan yang dinilai Poor Rock pada bagian Foot Wall dari badan bijih (vein) Damar mempengaruhi besarnya Overbreak yang terjadi pada kondisi aktual, dimana dinilai tidak stabil berdasarkan perhitungan ELOS (1m – 2m), berbeda dengan bagian Hanging Wall yang tergolong stabil (ELOS < 1m).
3. Pertimbangan yang dapat digunakan untuk meminimalisir potensi overbreak pada penggalian di badan bijih Damar adalah :
 Pada bagian hanging wall, Hydraulic Radius (HR) maksimum yang direkomendasi adalah [3m pada nilai Stability Number (N') < 1 atau panjang stope (span) tidak lebih dari 15m.
 Sedangkan pada bagian foot wall, Hydraulic Radius (HR) maksimum yang direkomendasi adalah < 2,5m pada nilai Stability Number (N') < 1 atau panjang stope (span) tidak lebih dari 15m.

Daftar Pustaka

- Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classification. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Barton, N.R. dkk. 1974. Engineering Classification Of Jointed Rock Masses For The Design Of Tunnel Support. Rock mechanics vol.6.
- Diederichs, Hutchinson. 1996. Cablebolting in Underground Mines. BiTechs Ltd, Canada.
- Hudson, J.A. 1988. A Simplified Three-Dimensional Hoek-Brown Yield Criterion. Rock mechanics and power Plants, rotterdam.
- Nickson, S.D. 1992. Cable Support Guidelines Of Underground Hard Rock Mine Operations. Unpublished MSc. Thesis. Dept. Mining and mineral processing, University of British, Columbia.
- Palkanis, R., Nicson, dkk. 1996. Empirical Method For The Design Of Mine Structure. Mining Association of Quebec.
- Potvin, Y., M. Hudyma, dkk. 1989. Design Guidelines For Open Stope Support. The University Of British, Columbia.
- Suorineni, F.T. dkk. 1999. Determination Of Fault - Related Sloughe In Open Stopes. International journal of Rock mechanics and mining sciences. Canada.