

## **Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang dengan Integrasi Metode Rmr dan Smr pada Area Tambang Air Laya (TAL) Selatan Lokasi Suban, di PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan**

Mine Slope Stability Reversed Analysis with the RMR and SMR Integration Method in Mine Area Air Laya (TAL) South Location Suban, PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim, South Sumatra

<sup>1</sup>Achmad Ibnu Taufik, <sup>2</sup>Yuliadi, <sup>3</sup>Sriyanti

<sup>1,2,3</sup>*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,*

*Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116*

*e-mail: <sup>1</sup>Achmadibnutaufik@yahoo.com*

**Abstrak:** Reversed analysis research of landslide area of *Low Wall Claystone l* layer at mine area of South Air Laya (TAL) Suban location PT Bukit Asam (Persero) Tbk in Tanjung Enim village, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan province, executed using Monte Carlo probability method. Geotechnical study has done to estimate slope model at area opening mine. Actual slope condition at research location attained value of FK 1.958 on whole high slope *Claystone* (landslide material) 17.047 m, angle of  $22^{\circ}$ , with ground water condition (MAT) saturated and earthquake factor 0.15 g. Prior data for reversed analysis used is result of drilling core at LBG 44, LBG 43 and LBG 41 and result of rocks' mechanical test, rocks' mass classification with RMR and GSI method. Result attained from geotechnical mapping is RMR (*Rock Mass Rating*) value = 36 (*Poor Rock*) GSI (*Geological Strength Index*) value = 39 (*Poor Surface Condition*). Slope mass classification using SMR method, result gained from geotechnical mapping is SMR (*Slope Mass Rating*) value = 32.1 (detrimental slope condition). Result from reversed analysis on *Claystone* layer with cohesion value 28.95 kPa and value of sliding angle  $4.98^{\circ}$ . Based on simulation value on *Low Wall* slope, slope geometric recommended is *Overall Slope Angel* for *Claystone* layer  $15^{\circ}$  and whole high slope for *Claystone* layer 15.806 m.

**Kata Kunci :** RMR, GSI, SMR, Monte Carlo probabilistic, & Reversed analysis.

**Abstrak:** Penelitian Analisis Balik pada longsoran bidang di *Low Wall* lapisan *Claystone* pada Area Tambang Air Laya (TAL) Selatan Lokasi Suban PT Bukit Asam (Persero) Tbk di Desa Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan, dilakukan dengan menggunakan metode Probabilistik Monte Carlo. Kajian geoteknik ini dilakukan agar dapat memperkirakan model lereng (slope) pada area bukaan tambang. Kondisi lereng aktual pada lokasi penelitian didapatkan nilai FK 1.958 pada tinggi lereng keseluruhan *Claystone* (material longsor) 17.047 m, sudut  $22^{\circ}$ , dengan kondisi muka air tanah (MAT) jenuh dan faktor kegempaan 0.15 g. Data awal untuk analisis balik yang digunakan adalah hasil pengeboran inti pada LBG 44, LBG 43 dan LBG 41 dan hasil uji sifat mekanik batuan, klasifikasi massa batuan dengan metode RMR dan GSI. Hasil yang didapat dari pemetaan geoteknik adalah dengan nilai RMR (*Rock Mass Rating*) = 36 (*Poor Rock*) nilai GSI (*Geological Strength Index*) = 39 (*Poor Surface Condition*). Dan juga dilakukan klasifikasi massa lereng dengan metode SMR, hasil yang didapat dari pemetaan geoteknik adalah dengan nilai SMR (*Slope Mass Rating*) = 32.1 (*Kondisi Lereng Buruk*). Hasil yang didapatkan dari analisis balik pada lapisan *Claystone*, dengan nilai kohesi 28.95 kPa dan nilai sudut geser dalam  $4.98^{\circ}$ . Berdasarkan hasil simulasi untuk lereng *Low Wall* diperoleh geometri lereng yang direkomendasikan yaitu *Overall Slope Angel* untuk lapisan *Claystone*  $15^{\circ}$  dan tinggi lereng keseluruhan untuk lapisan *Claystone* 15.806 m.

**Kata Kunci :** RMR, GSI, SMR, Probabilistik Monte Carlo, & Analisis Balik.

### **A. Pendahuluan**

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk saat ini memiliki 7 (tujuh) pit aktif, dengan 2 (dua) area penambangan, salah satunya pit Tambang Air Laya (TAL). Pit TAL bagian Selatan lokasi Suban dipilih sebagai lokasi penelitian karena di daerah tersebut berkembang struktur geologi seperti rekahan, lipatan, dan patahan yang cukup intensif.

Sehubungan dengan kelongsoran yang terjadi pada *low wall* Pit TAL bagian Selatan lokasi Suban, PT Bukit Asam memutuskan perlu melakukan kajian geoteknik untuk menilai apakah penambangan masih memungkinkan untuk dilanjutkan sampai tahap akhir.

Adapun penelitian ini meliputi analisis struktur geologi berupa analisis kinematik dan analisis berdasarkan geoteknik dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) di lokasi penelitian.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui klasifikasi massa batuan dengan metode RMR serta dikombinasikan dengan SMR.
2. Mengetahui parameter terbaru yang meliputi kohesi (C), dan sudut geser dalam ( $\Phi$ ) berdasarkan hasil analisis balik.
3. Mengetahui nilai faktor keamanan (FK) pada lokasi TAL Selatan Pit Suban.

## B. Landasan Teori

Kemantapan atau kestabilan suatu lereng tergantung pada besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincirnya. Gaya penahan adalah gaya yang menahan terjadinya suatu longsor sedangkan gaya penggerak merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya longsor. Kestabilan suatu lereng dapat dinyatakan dengan nilai Faktor Keamanan (FK) yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. (Bagus Wiyono, 2006).

Dengan demikian, diperlukan suatu nilai faktor keamanan minimum dengan suatu nilai tertentu yang disarankan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman sehingga lereng dapat dinyatakan stabil atau tidak. Sehingga pada penelitian ini, faktor keamanan minimum yang digunakan adalah  $FK \geq$  (*sama dengan atau lebih besar*) dari 1.25, sesuai prosedur dari *Joseph E. Bowles* (2000).

Ada beberapa jenis longsor yang umum dijumpai pada massa batuan di tambang terbuka (Hoek and Bray, 1981) yaitu :

1. Longsor Bidang
2. Longsor Guling
3. Longsor Baji
4. Longsor Busur

Sistem RMR adalah sistem pengelompokan kualitas massa batuan dengan cara memberi bobot atau rating pada parameter-parameter dasar batuan yang terdapat 5 (lima) parameter utama yang harus dikumpulkan untuk mendukung klasifikasi sistem RMR antara lain :

1. *Strength of Intact Rock* (Kekuatan Batuan Utuh)
2. *RQD (Rock Quality Designation)*
3. *Spacing of Discontinuities* (spasi *joint*)
4. *Condition of Discontinuities* (kondisi *joint*)
5. *Groundwater Condition* (kondisi air tanah)

*Slope Mass Rating* (SMR) adalah nilai sudut kemiringan lereng maksimum suatu massa batuan dalam kondisi stabil, yang ditentukan berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) dan parameter SMR batuan. Bobot *Slope Mass Rating* (SMR) dihitung

dengan rumus Romana (1980).

*Geological Strength Index* (GSI) diperkenalkan oleh Hoek (1995) dan Hoek, Kaiser, dan Bawden (1995) ditujukan untuk memperkirakan berkurangnya kekuatan suatu massa batuan yang disebabkan oleh kondisi geologi yang berbeda.

Analisis kesetimbangan batas merupakan metode analisis kesetimbangan dari massa yang berpotensi bergerak dengan membandingkan gaya penggerak dan gaya penahan sepanjang bidang gelincir longsoran. Perbandingan kedua gaya tersebut akan menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) lereng, yang kondisi batas kesetimbangan akan dicapai saat nilai  $FK = 1$  (de Vallejo dan Ferrer, 2011).

Perhitungan stabilitas (faktor keamanan) lereng dengan metode Bishop, pada prinsipnya adalah menghitung besarnya kekuatan geser yang tersedia untuk menahan longsoran (sliding) dibandingkan dengan besarnya tegangan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor.

Simulasi merupakan suatu model pengambilan keputusan dengan mencontoh atau mempergunakan gambaran sebenarnya dari suatu sistem kehidupan dunia nyata tanpa harus mengalaminya pada keadaan yang sesungguhnya (Hasan, 2002).

Simulasi Monte Carlo adalah proses menurunkan secara acak nilai variabel tidak pasti secara berulang-ulang untuk mensimulasikan suatu model. Metode Monte Carlo merupakan teknik stokastik dan probabilistik yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang.

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variabel acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Fungsi distribusi probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berbeda dengan fungsi yang lainnya. Tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa suatu fungsi distribusi merupakan turunan dari fungsi yang lainnya.

Dalam suatu paket program data yang menggunakan Metode Kesetimbangan Batas (*Limited Equilibrium Method*) yaitu *Rocscience Slide ver. 6.0* terdapat suatu cara analisis probabilistik Monte Carlo yang di dalamnya dapat mensimulasikan beberapa parameter geoteknik (sudut geser dalam, *density*, *cohesion*, dll.) sampai 1000 sampel, dengan hasil analisis (*output*) berupa histogram atau berupa kurva dengan parameter yang dapat ditentukan.

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### Kondisi Lapangan Lereng Pit Suban Bagian Selatan

Berdasarkan keadaan topografi lokasi penambangan TAL Selatan Pit Suban memiliki elevasi tertinggi pada +200 mdpl dan elevasi terendah -80 mdpl. Dengan kondisi batuan yang relatif telah terlapukkan, serta adanya kegiatan penambangan yang dapat menimbulkan getaran terhadap lereng tambang.

Lokasi penyelidikan dilakukan pada lokasi longsor di daerah *front* kerja Pit Suban bagian Selatan. Memiliki geometri lereng aktual yaitu lebar *berm* ±15 meter, *single slope angle*  $55^{\circ}$ , tinggi jenjang tunggal 10 meter, *overall slope angle*  $22^{\circ}$ , tinggi jenjang keseluruhan 17.047 meter, dan elevasi lantai penambangan -0.8 mdpl.

#### Penyelidikan Geoteknik Metode RMR (*RockMassRating*)

Penyelidikan geoteknik yang dilakukan yaitu pemetaan geoteknik menggunakan klasifikasi massa batuan berdasarkan RMR (*RockMassRating*) dan GSI (*GeologicalStrengthIndex*). Pemetaan tersebut dilakukan pada area yang sudah tersingkap atau terbuka, di area dinding Pit Suban bagian Selatan. Kegiatan ini

dilakukan karena pada lokasi penambangan telah terjadi longsor sepanjang 90 m, dengan kondisi massa batuan yang telah terlapukkan.

Berdasarkan hasil pemetaan geoteknik pada line - 1 sampai line - 90 terlihat secara lateral Tabel 1 bahwa batuan yang tersingkap merupakan batuan *Claystone* dengan total RMR rata - rata yaitu 36 dan GSI yaitu 39, angka tersebut menunjukkan bahwa batuan daerah longsor merupakan batuan yang diklasifikasikan pada batuan yang lemah "*Poor Rock*" dengan keadaan permukaan yang cukup lemah dan struktur batuan yang sudah hancur dikarenakan batuan pada lokasi tersebut yang sudah sangat terlapukkan.

**Tabel1.** LembarData Pemetaan Geoteknik Permukaan ( RMR )

<b>GEOTECHNICAL MAPPING</b>	ROCK TYPE		Name of Project :		MAPPING RMR-SUBAN			
	SEDIMEN		Location :		TAL SELATAN ( SUBAN )			
	BENCH		Conducted by :		IBNU		Date : 17 OKTOBER 2015	
	SUBAN SELATAN		Checked by :		MAILAN		Date : 17 OKTOBER 2015	
PARAMETER	CODE/VALUE	RATING	PARAMETER		CODE/VALUE	RATING	GSI (1)	
1. Strength of intact rock	RO	0	2. RQD		VP	3		
3. Spacing of Discontinuities	W	15	5. Groundwater Condition		GS	7		
<b>A. RATING (1+2+3+5) =</b>		<b>25</b>	<b>B. RATING(1+2+3) +15 =</b>		<b>33</b>			
4. Condition of Discontinuities								
	Joint set	SET 1')		SET 1')		SET 1')		SET 1')
Parameter	CODE/VALUE	RATING	CODE/VALUE	RATING	CODE/VALUE	RATING	CODE/VALUE	RATING
a) Length (persistence)	M	2						
b) Separation (aperture)	M	1						
c) Roughness	SR	3						
d) Infilling (gouge)	S<5	2						
e) Weathering	MW	3						
Joint Orientation (DD/D)								
<b>C. RATING (a+b+c+d+e) =</b>		<b>11</b>						
<b>RMR And GSI Calculation</b>								
<b>D. Basic RMR '89 = A+C</b>		<b>36</b>						
<b>E. Basic RMR '89 (Drg)= B+C</b>		<b>44</b>						
<b>F. GSI (2) = E + (-5)</b>		<b>39</b>						
*) SET 1 is joint with the highest fracture frequency								
<b>PHOTOGRAPH</b>								
								

**Penyelidikan Geoteknik Metode SMR (*SlopeMassRating*)**

Penyelidikan geoteknik yang dilakukan yaitu pemetaan geoteknik menggunakan klasifikasi massa lereng berdasarkan SMR (*SlopeMassRating*). Pemetaan tersebut dilakukan pada area yang sudah tersingkap atau terbuka, di area dinding Pit Suban bagian Selatan.

**Tabel2.** LembarData Pemetaan Geoteknik Permukaan ( SMR )

NO	PARAMETER	INPUT DATA		KASUS	FORMULA	NILAI	RATING
1	F1	$\alpha_j =$	46	PF	$\{ \alpha_j - \alpha_s \}$	11	0.7
		$\alpha_s =$	35	TF	$\{ \alpha_j - \alpha_s - 180 \}$	169	0.15
2	F2	$\beta_j =$	57	PF	$\{ \beta_j \}$	57	1
				TF	$\{ \beta_j \}$	57	1
3	F3	$\beta_j =$	57	PF	$\{ \beta_j - \beta_s \}$	2	-6
		$\beta_s =$	55	TF	$\{ \beta_j + \beta_s \}$	112	-6
4	F4	Metode Penggalan		Penggalan Mekanis			0
5	RMR	Total RMR				36	
<b>NILAI SMR UNTUK LONGSORAN BIDANG</b>							
Total SMR		=				31.8	
Rentang Nilai		=				21 – 40	
Kelas Massa Lereng		=				IV	
Deskripsi Massa Lereng		=				Buruk	
Kestabilan Lereng		=				Tidak Mantap	
Kelongsoran Lereng		=				Bidang atau Baji	

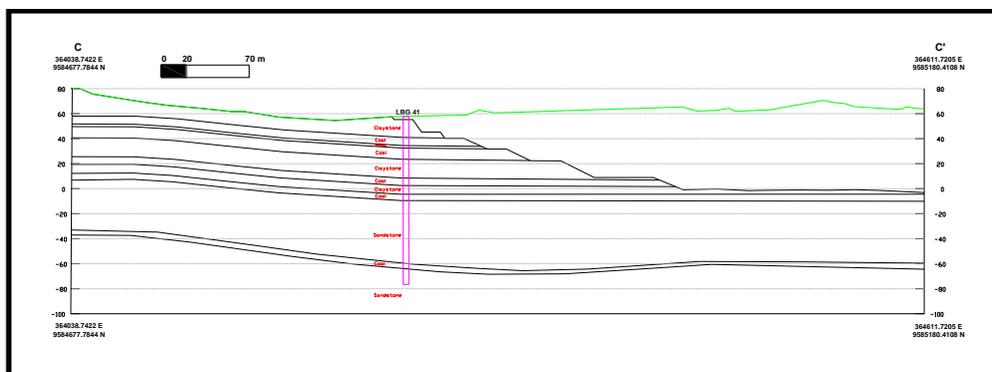
Berdasarkan Tabel 2. terlihat bahwa umumnya klasifikasi massa lereng untuk lereng pada lokasi penelitian TAL Selatan (Suban). Masuk kedalam kelas massa lereng "Kelas IV" dengan nilai SMR 31.8 deskripsi massa lereng "Buruk" kestabilan lereng "Tidak Mantap" adapun peluang atau kemungkinan kelongsoran yang terjadi adalah "Bidang atau Baji".

**Hasil Uji Laboratorium**

Kegiatan sampling geoteknik yang bertujuan untuk mendapatkan sampel tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk diuji di laboratorium. Hasil uji laboratorium tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Pengambilan sampel dilakukan dengan pengeboran geoteknik dengan metode pengeboran *full coring* yang dilakukan di 3 titik yaitu titik LBG - 44, LBG - 43 dan LBG - 41.

**Tabel3.** Hasil Uji Laboratorium Sampel Titik Bor LBG - 41

NO	SECTION	LITHOLOGI	DENSITY		KOHESI ( kPa)		SUDUT GESER DALAM ( °)		UCS kPa	Tensile Strength kPa	Young's Modulus kPa	Poissons Ratio
			Wet ( kN/m <sup>3</sup> )	Dry ( kN/m <sup>3</sup> )	peak	residu	peak	residu				
1	C - C'	Claystone	20.00	17.29	306.67	195.00	26.69	16.00	702.22	35	1422	0.30
2		Coal A1	12.50	11.89	394.00	189.00	26.55	17.81	1146.50	163	1238	0.30
3		Claystone	22.07	19.70	294.00	167.10	24.13	16.71	873.20	30	1311	0.40
4		Coal A2	12.68	11.59	388.00	199.18	24.50	17.41	1307.00	178	1108	0.30
5		Claystone	21.75	18.96	295.83	166.10	25.72	16.66	894.52	47	1267	0.40
6		Coal B1	12.44	11.55	308.50	177.20	25.50	17.10	2117.50	237	1328	0.35
7		Claystone	21.20	16.46	278.00	145.00	17.98	9.81	1083.98	64	1292	0.3
8		Coal B2	12.84	12.00	387.50	189.20	25.50	15.32	2104.50	121	1267	0.30
9		Sandstone	21.65	18.63	308.20	134.10	20.81	13.32	1987.45	205	1321	0.40
10		Coal C	12.27	12.00	394.00	128.99	25.50	15.31	2779.50	242	1278	0.30
11		Sandstone	22.48	19.46	259.66	111.89	23.08	14.11	2022.78	218	1321	0.40



**Gambar 1.** Penampang Dua Dimensi Geoteknik LBG 41( Section C - C' )

**Analisis Kesetimbangan Batas**

Berdasarkan data hasil uji batuan maka didapatkan beberapa parameter geoteknik. Parameter geoteknik ini merupakan parameter geoteknik yang tidak terganggu (*undisturbed*) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

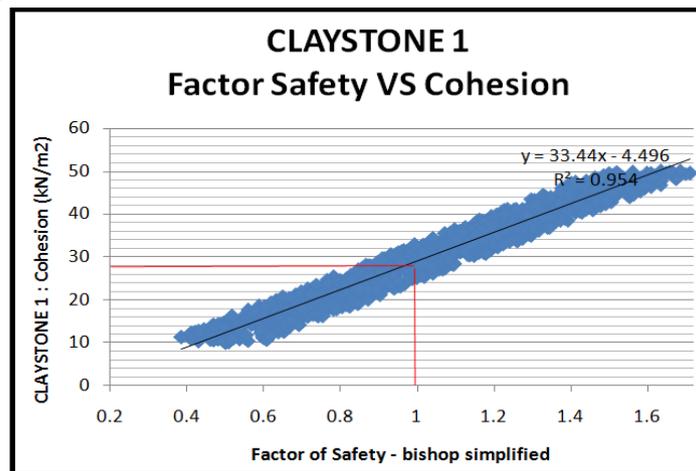
Parameter geoteknik pada masing-masing material tersebut selanjutnya dimasukkan sebagai input pada model lereng yang akan dieksekusi.

Setelah dilakukan eksekusi didapatkan nilai FK 1.958 pada tinggi lereng keseluruhan *Claystone* (material longsor) 17.047 m, sudut  $22^{\circ}$ , dengan kondisi muka air tanah (MAT) jenuh dan faktor kegempaan 0.15 g.

### Penentuan Kekuatan Batuan Berdasarkan Probabilistik Monte Carlo

Analisis balik ini bertujuan untuk menentukan dan memverifikasi *input* parameter geoteknik yang mewakili dari suatu area lereng bukaan tambang dengan cara memanfaatkan suatu kasus kelongsoran yang pernah terjadi pada area tersebut. Pada prinsipnya, lereng pada saat akan longsor dianggap dalam kondisi kritis dengan faktor stabilitas  $FK = 1.0$ .

Dapat dijelaskan bahwa dari 1000 random data setiap *input* parameter geoteknik terdapat 458 data menghasilkan model lereng yang mengalami kelongsoran. Sehingga *Probability Failure* (PF) secara global pada model ini yaitu sebesar 45.8% dan  $FK = 1.028$ .



**Gambar 2.** Korelasi Nilai FK Terhadap Kohesi Material *Claystone* 1

Berdasarkan Gambar 2. nilai kohesi yang didapatkan yaitu  $28.95 \text{ kN/m}^2$ . Nilai tersebut didapatkan dari proses sebagai berikut :

1. Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan Probabilistik Monte Carlo, pada prinsipnya menggunakan satu variabel dan dua konstanta. Variabel yang dipilih yaitu nilai kohesi dan sudut geser dalam dari batuan yang diujikan sedangkan untuk konstantanya yaitu bobot isi.
2. Dalam kasus pencarian kohesi pada Gambar 4.19 konstanta yang digunakan yaitu nilai sudut geser dalam dan bobot isi batuan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui korelasi antara nilai FK dan nilai kohesi yang berbeda-beda.
3. Garis dari persamaan linear dibutuhkan untuk mencari nilai kohesi pada  $FK = 1$ , yaitu dengan membuat garis horizontal yang berpotongan dengan garis linear. Sehingga apabila diambil garis vertikal dari titik perpotongan tersebut maka didapatkan nilai kohesi pada  $FK = 1$  yang selanjutnya dipakai untuk perancangan geometri lereng pada Pit Suban bagian Selatan.

**Tabel 4.** Hasil *Back Analysis* Probabilistik Monte Carlo

NO	SECTION	LITHOLOGI	DENSITY		KOHESI ( kPa )	SUDUT GESER DALAM ( ° )
			Wet ( kN/m <sup>3</sup> )	Dry ( kN/m <sup>3</sup> )		
1	C - C'	Claystone	20.00	17.29	28.95	14.98

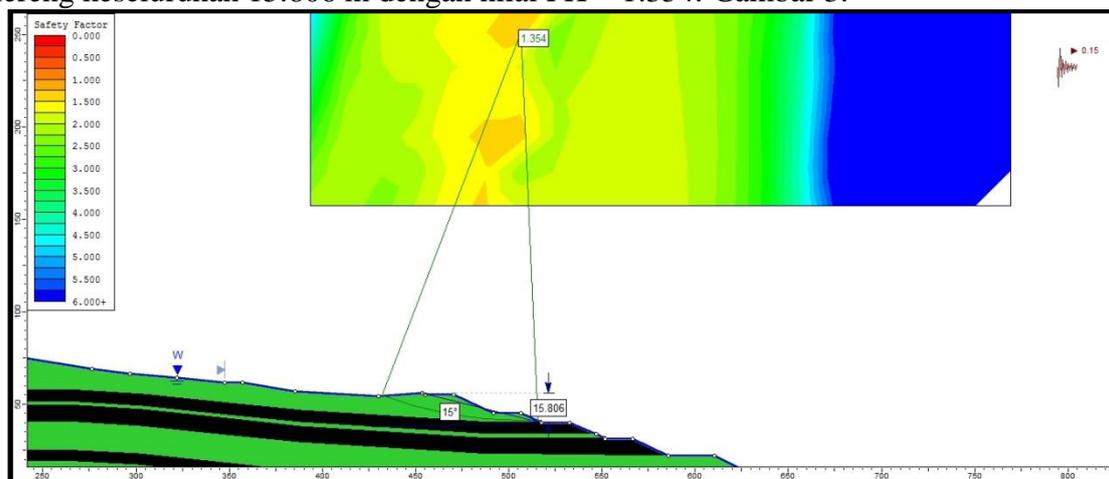
### Analisis Kesetimbangan Batas Menggunakan *Input* Parameter Hasil *Back Analysis* Probabilistik Monte Carlo

Hasil dari analisis probabilistik Monte Carlo pada Tabel 4. selanjutnya dijadikan *input* parameter pada model untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan pada lereng tambang yang longsor.

Didapatkan nilai FK 0.998 pada tinggi lereng keseluruhan lapisan *Claystone* (material longsor) 17.047 m, sudut  $22^{\circ}$ . dengan kondisi muka air tanah (MAT) jenuh dan faktor kegempaan 0.15g.

### Optimalisasi Lereng TAL Selatan Pit Suban

Berdasarkan hasil simulasi pada analisis balik lereng TAL Selatan Pit Suban, maka langkah selanjutnya akan dilakukan simulasi lanjutan untuk mencari alternatif desain lereng yang stabil menggunakan *input* parameter geoteknik dari hasil analisis balik. Dapat dijelaskan bahwa kondisi pemodelan dapat dipilih sebagai alternatif, akan tetapi yang paling ekonomis yaitu pada sudut lereng keseluruhan  $15^{\circ}$  dengan tinggi lereng keseluruhan 15.806 m dengan nilai FK = 1.354. Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Model Optimalisasi Lereng Sudut  $15^{\circ}$

### D. Kesimpulan

1. Klasifikasi massa batuan berdasarkan hasil pemetaan permukaan dengan metode RMR pada dinding lereng tambang dengan panjang Line 1 - 90 m untuk lokasi penelitian TAL Selatan Pit Suban adalah "Buruk" (kelas IV) dengan total rating RMR sebesar 36. Sedangkan untuk nilai GSI sebesar 39 termasuk permukaan yang cukup lemah. Berdasarkan hasil pemetaan permukaan dengan metode SMR pada dinding lereng tambang dengan panjang Line 1 - 90 m untuk lokasi penelitian TAL Selatan Pit Suban adalah "Buruk" (kelas IV) dengan total rating 32.1, kestabilan lereng "Tidak Stabil", kelongsoran lereng "Bidang atau Baji".
2. Diperoleh parameter kuat geser batuan hasil analisis balik sebesar 0.02895 MPa untuk nilai kohesi (C) dan  $14.98^{\circ}$  untuk nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ).
3. Berdasarkan hasil simulasi rekomendasi untuk lereng *low wall* dapat

menggunakan geometri lereng yang baru yakni pada sudut lereng keseluruhan untuk lapisan *Claystone*  $15^{\circ}$  dengan tinggi lereng keseluruhan 15.806 m dengan nilai FK = 1.354.

#### E. Saran

1. Pihak perusahaan hendaknya melakukan *monitoring* sebelum kegiatan penggalian, pada saat penggalian dan setelah penggalian sehingga dapat diketahui pengaruh dari kegiatan penggalian ataupun kegiatan lainnya terhadap kondisi kematapan lereng.
2. Kompleknya struktur geologi yang ada pada TAL Selatan Pit Suban, terutama dengan adanya bidang lemah (kekar) sebaiknya diantisipasi sedini mungkin dengan melakukan pemetaan struktur geologi secara detail.
3. Dianjurkan untuk dapat menentukan nilai kohesi (C) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang cermat, karena sangat berpengaruh terhadap Faktor Keamanan (FK) dari lereng, sehingga penetapan angka parameter tersebut yang mewakili kondisi terakhir lereng adalah hal yang sangat penting.
4. Melakukan kajian geoteknik lebih komprehensif untuk mendukung kemajuan tambang di daerah TAL Selatan Pit Suban.

#### Daftar Pustaka

- Anonym, Slide ver.6 Software, Rockscience
- Anonym, 2008, PT Bukit Asam, Geology Department, Tanjung Enim.
- Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 257h.
- Bishop, A.W., 1955. *The Use of the Slip Circle in the Stability of Slopes*, *Geotechnique*, 5, 7-17.
- Bowles, J. E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw - Hill Book Company, USA.
- De Vallejo, L. I., G. dan Ferrer, M., 2011, *Geological Engineering*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, Leiden, 678h.
- Duncan C. Wyllie., dan Christopher W. Mah, 2004, *Rock Slope Engineering Civil and Mining*, Spon Press, London and New York.
- Hasan. M. Iqbal, 2002, *Pokok-Pokok Materi Teori Pengambilan Keputusan*, Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Hoek, E., Bray, J., W, 1981, *Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy*, London.
- Karyono, Ir., MT., 2004, *Kemantapan Lereng Batuan*, Diklat Perencanaan Tambang Terbuka, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Islam Bandung.
- Maryanto, 2008, *Geoteknik Tambang*, Diktat Kuliah, Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung.
- Rai, M., A., dan Kramadibrata, S, 2001, *Mekanika Batuan*, Diktat Kuliah Jurusan Teknik Pertambangan, ITB, Bandung : Penerbit ITB.
- Romana, M.R. 1993. *A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*. Spain: Universidad Politécnic Valencia.
- Suratha, Gde., 1994, *Kemantapan Lereng*, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- Wiyono Bagus, dkk., 2006, *Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan*

*Jenjang pada Dinding Akhir Penambangan*, PERHAPI, Jakarta.

Yeh. T.M, Sun, J.J., 2011, *Preventive Maintenance Model with FMEA and Monte Carlo Simulation for The Key Equipment in Semiconductor Foundries [electronic version]*, Scientific Research and Essays. 6(26) :5534-5547.