

# **Kajian Teknis pada Rancangan Model Geoteknik *Low Wall Failure* Blok 07-12 Pit Elang PT Manambang Muara Enim Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan**

**Rully Himawan<sup>\*</sup>, Yuliadi, Yunus Ashari**

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

\*himawanrully@gmail.com

**Abstract.** Failure occur in the low wall opening area Block 07-12 Pit Elang PT. Manambang Muara Enim. The effect of water, geological structure, and uncertainty on the interpretation of the value of the safety factor from the previous recommendation were identified to be the cause of the failure. The existence of 590,000 tons of coal in the opening of the low wall based on the mining design in 2019, necessitates a handling effort by redesigning the geotechnical model. Technical studies on the design of this geotechnical model are focused on simulating slope stability to meet Bowles (1989) criteria with a safety factor value ( $> 1.25$ ). In achieving the real model, three-point problems are used in determining groundwater conditions, kinematic analysis to determine the orientation of weak fields and types of landslides, as well as the Generalized Hoek & Brown empirical approach in analyzing the mechanical properties of rocks. The back analysis of the opening model before the landslide has a safety factor value of 1.127 (critical), caused by the inaccurate determination of the slope design under conditions of water infiltration and decreasing rock strength resulting from deformation characterized by fractures on rocks with normal faults that intersect, common heights and bedding field oriented in the direction of the low wall openings. The recommended technique is single slope geometry 250, 150, and 350 with a height of 5 m for sandstone, coal, and claystone. Overall slope is made by lowering the upper face on the overall bench to the coal roof D seam.

**Keywords:** Failure, Deformation, Single slope, Overall slope.

**Abstrak.** Longsoran terjadi pada area bukaan low wall Blok 07-12 Pit Elang PT. Manambang Muara Enim. Pengaruh air, struktur geologi, dan ketidakpastian interpretasi nilai faktor keamanan dari rekomendasi sebelumnya diidentifikasi menjadi penyebab longsoran. Adanya 590.000 ton batubara pada bukaan low wall berdasarkan desain penambangan tahun 2019, mengharuskan adanya upaya penanganan yaitu dengan melakukan perancangan ulang terhadap model geoteknik. Kajian teknis pada rancangan model geoteknik ini difokuskan terhadap simulasi stabilitas lereng hingga memenuhi kriteria Bowles (1989) dengan nilai faktor keamanan ( $>1,25$ ). Dalam mencapai model yang real, digunakan problema tiga titik dalam penentuan kondisi muka air tanah, analisis kinematik guna menentukan orientasi bidang lemah dan jenis longsoran, serta pendekatan empiris Generalized Hoek & Brown dalam menganalisis sifat mekanik batuan. Analisis balik terhadap model bukaan

sebelum terjadinya longsor memiliki nilai faktor keamanan 1,127 (kritis), diakibatkan oleh ketidaktepatan penetapan desain lereng pada kondisi adanya infiltrasi air dan menurunnya kekuatan batuan hasil deformasi yang dicirikan oleh rekahan pada batuan dengan sesar normal yang berpotongan, arah umum kekar serta bidang perlapisan yang berorientasi searah bukaan low wall. Teknis yang direkomendasikan berupa geometri single slope 250, 150, dan 350 dengan tinggi 5 m untuk batupasir, batubara, dan batulempung. Overall slope dibuat dengan menurunkan upper face pada overall bench hingga roof seam D batubara.

**Kata Kunci: Failure, Deformation, Single slope, Overall slope.**

## 1. Pendahuluan

### Latar Belakang

Februari 2019, terjadi longsor di bukaan *low wall* PT. Manambang Muara Enim. Longsoran tersebut berdampak langsung terhadap operasional penambangan. Aktivitas yang dilakukan terganggu dan terhenti akibat tertutupnya akses jalan serta tercampurnya material lain dengan batubara yang akan dieksploitasi. Estimasi 590.000 ton batubara di area *low wall* berdasarkan rencana penambangan 2019, kemungkinan kecil dapat dieksploitasi sesuai rencana. Melihat besarnya kerugian dan prospeknya bukaan *low wall* untuk kelanjutan penambangan, maka dengan itu perlu dilakukannya penanganan berupa perancangan ulang terhadap model geoteknik.

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, antara lain:

1. Mengetahui pengaruh air permukaan dan airtanah terhadap kelongsoran;
2. Mengetahui pengaruh orientasi bidang diskontinu terhadap kelongsoran;
3. Mengetahui *input* parameter model geoteknik yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, dan
4. Merekomendasikan model rancangan lereng berupa geometri *single slope* dan *overall slope*.

## 2. Landasan Teori

### Matematis Mohr Coulomb dan Empiris Hoek & Brown

Kriteria runtuh batuan adalah semacam penilaian terhadap stabilitas perilaku material (tanah dan batuan) hingga mengalami keruntuhan, ditentukan berdasarkan hasil eksperimentasi maupun pengujian. Kriteria ini mengekspresikan model keruntuhannya dalam satu atau lebih parameter sifat mekanik batuan. Keruntuhannya sendiri diformulasikan dalam kombinasi tegangan bidang dengan ketentuan  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .  $\sigma_1$  diartikan sebagai tegangan utama,  $\sigma_2$  sebagai tegangan menengah, dan  $\sigma_3$  merupakan tegangan paling lemah.

### Kriteria Runtuhan Mohr-Coulomb

*Teori Mohr* mengemukakan bahwa  $\sigma_2$  adalah fungsi dari dua tegangan lainnya ( $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$ ), sehingga tidak mempengaruhi keruntuhan batuan. Kriteria runtuh ini beranggapan bahwa tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang runtuh berperan dalam proses runtuhnya batuan. Tegangan geser paling besar di antara dua tegangan normal yang sama besar, dinyatakan oleh persamaan 2.1.

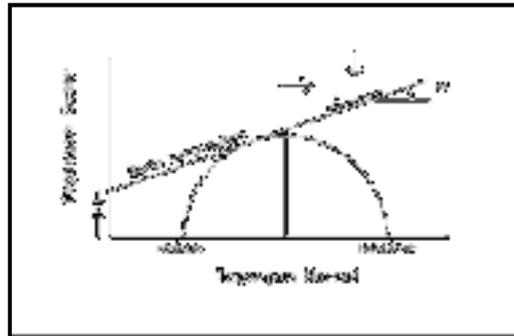
$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots (2.1)$$

Sifat mekanik yang diekspresikan melalui kriteria ini adalah kohesi dan sudut geser dalam. Definisi dalam menyatakan persamaannya adalah sebagai berikut,

$$\tau = c + \mu\sigma \dots \dots \dots (2.2)$$

- $\tau$  = Tegangan geser
- = Tegangan normal  $c$  = Kohesi
- = Koefisien sudut geser dalam =  $\tan \phi$

Kriteria *Mohr-Coulomb* menentukan faktor keamanan dengan cara menyatakan perbandingan antara keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut. Secara sederhana, runtuh batuan akan terjadi apabila lingkaran *Mohr* menyentuh *kurva Mohr*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Sumber: RF Craig, 1997

**Gambar 2.1** Kriteria Runtuhan *Mohr-Coulomb*

**Kriteria Runtuhan *Hoek & Brown***

Dalam arti umum, kriteria empirik berarti suatu persamaan yang diperoleh melalui eksperimentasi dan cocok secara kondisi, lingkup penerapan, dan statistik. Kriteria runtuh ini diterapkan dengan melakukan penyesuaian terhadap kondisi aktual di lapangan, menduga perilaku batuan setelah mengalami deformasi atau terkekarkan. Batuan utuh yang dianggap stabil dapat berubah kondisinya apabila adanya dinamika pergerakan bumi, sehingga diusulkanlah klasifikasi baru yang disebut *GSI (Geological Strength Index)*. Persamaan keruntuhan dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + \sqrt{m} \frac{\sigma_1}{\sigma_c} + s \dots\dots\dots(2.3)$$

$\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  adalah tegangan efektif maksimum dan minimum saat batuan runtuh

$\sigma_c$  adalah *UCS* batuan utuh

$m$  &  $s$  adalah parameter tanpa dimensi dan tergantung dari derajat persekutuan antarblok dalam massa batuan terkekarkan.

Nilai  $m$  &  $s$  sudah dikorelasikan dan dapat diprediksi dari nilai indeks kualitas massa batuan *Q* dan *RMR*.

**Metode Analisis Kestabilan Lereng**

Longsor terjadi ketika material (tanah dan batuan) yang semula dalam keadaan setimbang (stabil), kemudian terkena gangguan yang tidak dapat lagi diterima (melewati batas elastis dan plastis) sehingga menyebabkan material menjadi dalam kondisi tidak setimbang lagi dan upaya dalam mencari kesetimbangan yang baru adalah dengan melepaskan beban atau dengan kata lain longsor. Berbagai metode dikembangkan dalam analisisnya, seperti metode kesetimbangan batas (*numerus*) ataupun metode analisis kinematik (grafis).

**Metode Kesetimbangan Batas**

Faktor keamanan dinyatakan dalam perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. Metode ini diterapkan pada lereng dengan membagi bidang longsor berdasarkan irisan-irisan. Tiap irisan diasumsikan memiliki gaya gesek yang mewakili seluruh bagian secara rata dari kuat geser material pada bidang kerja, sedangkan tegangan normal yang bekerja di sepanjang permukaan bidang dipengaruhi berat dari material. Persamaannya dinyatakan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots(2.4)$$

atau

$$FK = \frac{\text{Kuat Geser}}{\text{Tegangan Geser}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dalam menyederhanakannya, metode kesetimbangan batas dapat digolongkan menjadi 2 (dua), yaitu:

1. Kombinasi Kesetimbangan Gaya dan Momen tidak terpenuhi, contohnya adalah metode *Bishop Simplified* dan metode *Janbu Simplified*.
2. Kombinasi Kesetimbangan Gaya dan Momen terpenuhi, yaitu metode *Morgenstern-Price* dan *Spencer*.

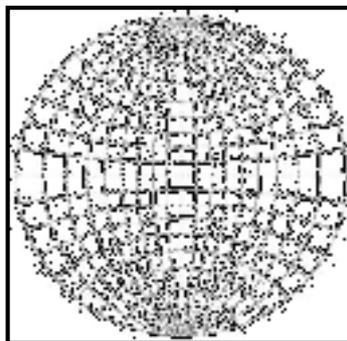
Persamaan dalam menilai faktor keamanan metode *Bishop Simplified* dinyatakan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sum(c.b+(W-b.\mu) \tan \phi \left(\frac{1}{mi}\right))}{\sum W.\sin\alpha} \dots\dots\dots(2.6)$$

- W = Berat irisan
- C = Kohesi
- b = Lebar irisan
- μ = Tekanan air pori
- ϕ = Sudut geser dalam

**Analisis Kinematik**

Kinematik merupakan studi mengenai gerak atau perpindahan materi yang dalam hal ini terkait dengan struktur geologi dan potensi kelongsorannya. Titik, garis, dan bidang pada struktur geologi menjadi suatu kombinasi dalam membentuk orientasi. Bentuk arsitektur yang ditunjukkan pada struktur geologi dapat menggambarkan arah tegasan gaya dan perpotongan antarbidang lemah yang menguatkan potensi kelongsoran. Analisis ini menggunakan proyeksi stereografi (equal area projection) dengan prinsip kesamaan luasan area melalui proyeksi setengah bola (hemisphere). Bidang-bidang yang memiliki kemiringan landai akan membentuk lengkungan besar menjauhi pusat, sedangkan semakin lengkungan mendekati pusat, maka semakin besar kemiringannya. Prinsip mengenai analisis melalui proyeksinya akan terlihat pada Gambar 2.2.



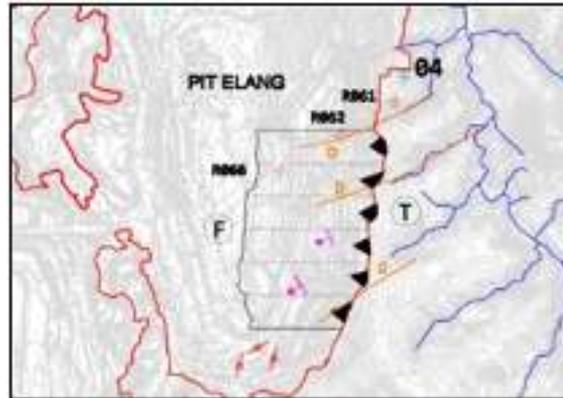
Sumber: Coxeter, 1969

**Gambar 2.2** Model Analisis Proyeksi Stereografi

**3. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

**Situasi Longsoran**

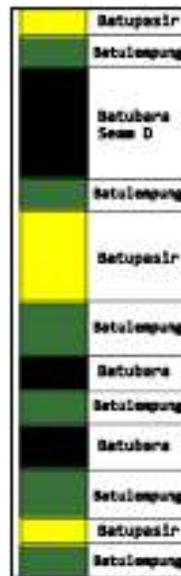
Longsoran yang terjadi berdampak langsung pada bagian tengah ke arah selatan di area low wall, sedangkan di bagian tengah ke arah utara lereng cenderung dalam keadaan stabil. Selain itu, terdapat 3 (tiga) struktur sesar pada area longsoran. Selanjutnya, guna menggambarkan model geoteknik terdapat 1 (satu) titik bor GT-04 dan 3 (tiga) titik bor eksplorasi (R061, R062, dan R066). Dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Peta Orientasi Awal Longsoran

Adapun identifikasi awal pada longsoran terkait kemungkinan-kemungkinan yang berpotensi menjadi penyebab longsor, diuraikan seperti berikut:

1. Litologi penyusun lereng berupa soil, batupasir, batulempung, dan batubara.
2. Overall slope 110 dan rata-rata single slope 330.
3. Litologi batupasir dan batulempung di atas roof seam D batubara terlihat banyak retakan (terdeformasi kuat).
4. Terdapat potensi bidang gelincir pada kontak batupasir yang di bawahnya berupa batulempung

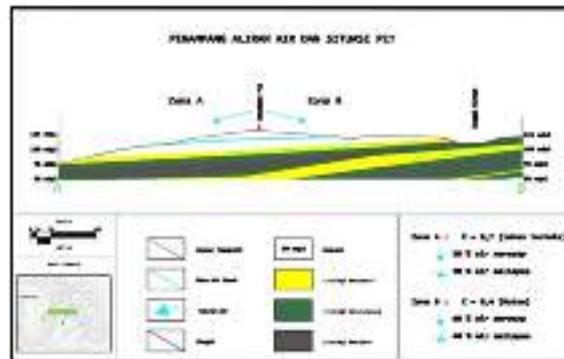


**Gambar 3.2** Litologi penyusun lereng

### **Kondisi Aliran Air**

Aliran air yang melimpas dari arah timur tidak berpengaruh terhadap lereng di area longsoran karena air mengarah ke luar area longsoran, akan tetapi adanya resapan air permukaan yang terbagi 2 (dua) zona yaitu Daerah A (30% air meresap) dan Daerah B (60% air meresap) dengan orientasi lapisan batuan yang searah lereng memungkinkan terjadinya infiltrasi air terhadap massa batuan di area low wall sehingga meningkatkan level muka air tanah yang sebelumnya berada pada kondisi 4 (surface water 2 x height behind toe of slope). Kondisi massa batuan berupa batupasir (permeable) dan di bawahnya berupa batulempung (impermeable) yang teridentifikasi banyak retakan memungkinkan juga terbentuknya akuifer rekahan yang dapat menyimpan dan meloloskan air sehingga menambah beban pada lereng. Dapat dilihat pada

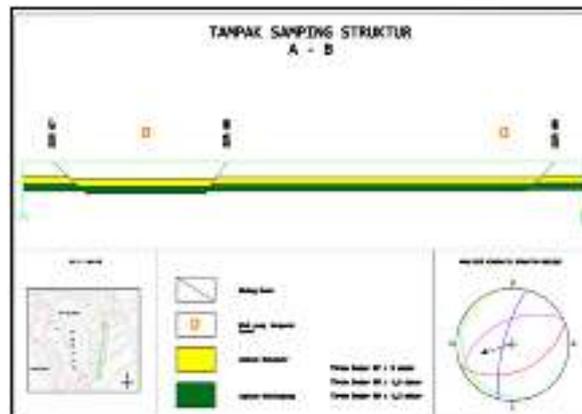
Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Penampang Kondisi Aliran Air dan Situasi Pit

### Kondisi Bidang Diskontinu

Area longsoran dipengaruhi oleh 2 (dua) patahan yang saling berpotongan dan membentuk zona tidak stabil berupa *hanging wall* (blok yang cenderung bergerak) yang membentuk Graben. Orientasi bidang perlapisan dan arah umum bidang diskontinu yang relatif paralel terhadap arah bukaan lereng (*slope face*) sangat tidak menguntungkan bagi stabilitas lereng. Dari intensifnya bidang diskontinu (struktur geologi) pada area longsoran mengasumsikan bahwa bidang diskontinu menjadi penyebab dari menurunnya kekuatan batuan akibat deformasi yang dicirikan dengan banyaknya retakan dan hancuran batuan yang dijumpai di lapangan. Gambarnya dapat dilihat pada Gambar 3.4.

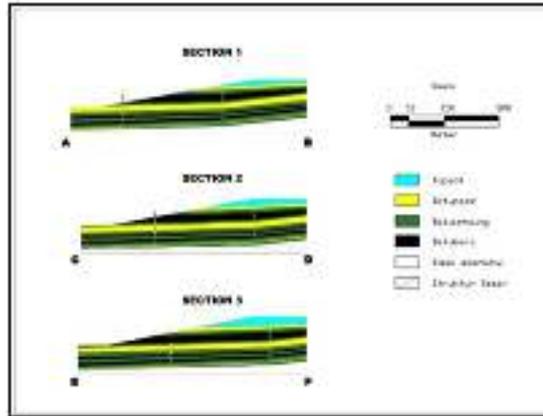


Gambar 3.4 Penampang Struktur

### Input Parameter Geoteknik

#### 1. Pembuatan Section Model

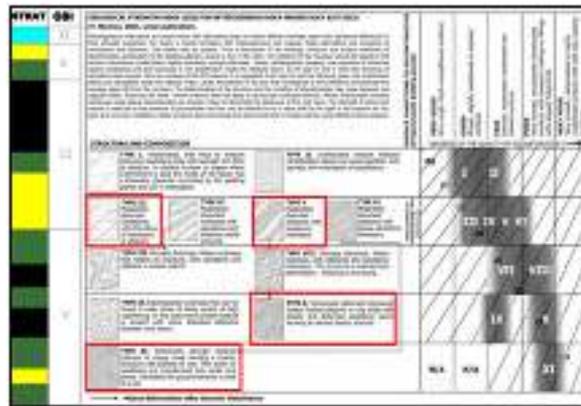
3 (tiga) titik bor eksplorasi diplot pada suatu peta, kemudian masing-masing titik ditarik searah kelurusan strike perlapisan batuan, sehingga didapatkan urutan litologi batuan di setiap titik sebatas area longsoran. Dibuat 3 (tiga) section searah muka lereng guna mendapatkan gambaran model geologi, sehingga dapat dianalisis kestabilan lerengnya. Hasil section model dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.



**Gambar 3.5** Section Model

2. Penentuan Input Material

- Nilai GSI



Sumber: V. Marinos, 2007

**Gambar 3.6** Chart Flysch

Berdasarkan chart di atas, kondisi material terbagi menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu:  
 Tipe III : Batupasir dengan layer tipis batulempung dengan gangguan sedang (55).  
 Tipe V : Batulempung dengan layer batupasir dengan gangguan sedang (45).  
 Tipe X : Batuan yang sangat terdeformasi dengan struktur sesar/lipatan yang intensif (20).  
 Tipe XI : Deformasi kuat pada material dengan pecahan-pecahan, pada akhirnya berperilaku seperti tanah (10).

- Nilai mi dan Disturbance Factor

**Tabel 3.1** Acuan Teoritis Nilai mi dan D

Parameter mi		Disturbance Factor	
Material	Nilai	Cara	Nilai
Batupasir	4 ± 17	Gali Bebas	0
Batulempung	2 ± 4	Penggaruan	0,7
Batubara	8 ± 21	Peledakan	1

Sumber: Hoek et al

Identifikasi terbagi menjadi seperti berikut:

3. Litologi dalam keadaan moderat/ sedang.
4. Batulempung digali bebas, sedangkan batupasir dan batubara dilakukan proses ripping.

Dari penilaian empiris sifat mekanik batuan tersebut, kemudian dibuat tabulasi data dengan menggabungkan hasil dari pengujian laboratorium yang berupa sifat fisik dan nilai UCS batuan utuh. Pada Tabel 3.2 dapat dilihat tabulasi data *input* material.

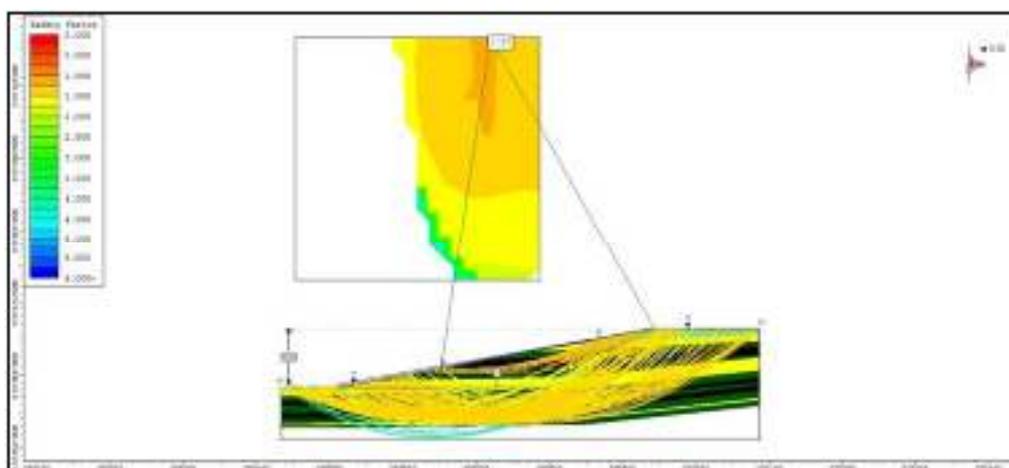
**Tabel 3.2** Tabulasi nilai *input* material

Kategori	Waktu (jam)	Volume (m <sup>3</sup> )	UCS (kg/cm <sup>2</sup> )	CS1	CS2	CS
Sel	15,00	16,46	0,200	30	1	0
Batu Pasir	12,50	17,41	4,200	30	20	1
Batu lempung	17,00	19,34	2,150		3	1
Batu bara	11,00	12,00	2,150		14	0,7
Batu lempung	17,00	19,34	2,150	55	2	0
Batu Pasir	12,50	17,41	4,200		10	0,7
Batu lempung	17,00	19,34	2,150		5	0
Batu bara	11,00	12,00	2,150	65	14	0,7
Batu lempung	17,00	19,34	2,150		3	0
Batu bara	11,00	12,00	2,150		14	0,7
Batu lempung	17,00	19,34	2,150		3	0
Batu Pasir	12,50	17,41	4,200		10	0,7
Batu lempung	17,00	19,34	2,150		6	0

Sumber: Innergy Consulting Indonesia, 2014

**Analisis Balik**

Dilakukan pada overall bench untuk menilai faktor keamanan pada lereng sebelum terjadinya longsor atau pada rancangan model geoteknik yang sebelumnya diterapkan. Pada Gambar 3.7 dapat dilihat hasil analisisnya, lereng dalam kondisi kritis (1,07-1,25).



**Gambar 3.7** Model Lereng Hasil Analisis Balik

**Rekomendasi**

1. Single Slope

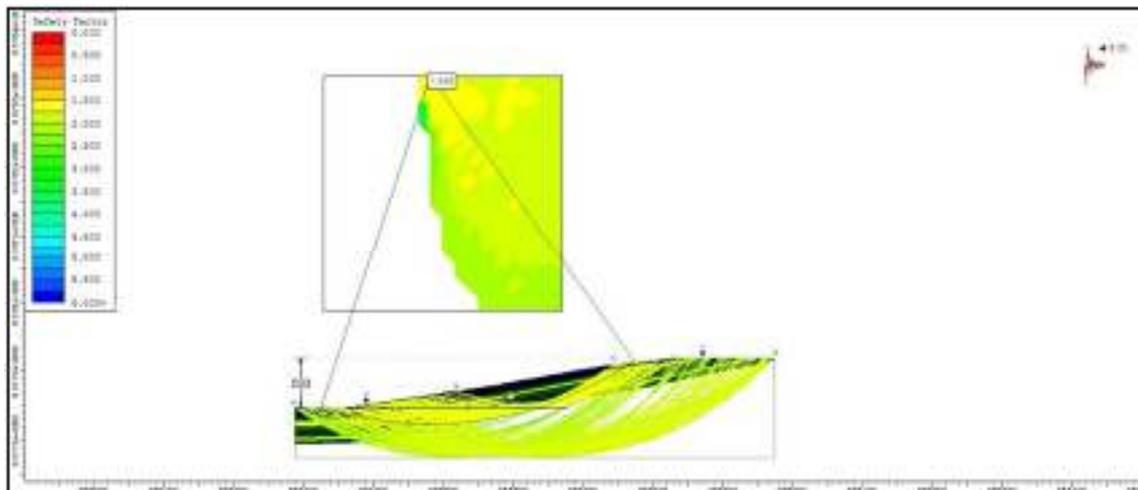
Disimulasikan dalam 6 (enam) variasi ketinggian *single bench* yaitu 5-10 meter dengan sudut 250-400 dengan selang 50. Didapatkan hasil tabulasi data nilai faktor keamanan seperti pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Tabulasi Nilai Faktor Keamanan Single Slope

TINGGI (m)	SUDUT (degree)	NILAI FAKTOR KEAMANAN			TINGGI (m)	SUDUT (degree)	NILAI FAKTOR KEAMANAN		
		PASIR	LEMPUNG	BATUBARA			PASIR	LEMPUNG	BATUBARA
5	15	1,652	1,578	1,382	8	15	1,347	1,202	1,155
	20	1,465	1,448	1,191		20	1,215	1,144	1,007
	25	1,308	1,402	1,008		25	1,082	1,081	0,887
	30	1,184	1,331	0,922		30	1,031	1,02	0,855
	35	1,137	1,287	0,907		35	1,015	0,99	0,851
	40	1,126	1,223	0,904		40	1,014	0,974	0,85
6	15	1,491	1,375	1,285	9	15	1,299	1,141	1,118
	20	1,288	1,31	1,11		20	1,17	1,083	0,979
	25	1,219	1,261	0,98		25	1,041	1,018	0,858
	30	1,157	1,198	0,94		30	0,991	0,965	0,828
	35	1,136	1,163	0,939		35	0,978	0,934	0,823
	40	1,132	1,14	0,934		40	0,977	0,916	0,821
7	15	1,408	1,377	1,2	10	15	1,251	1,089	1,081
	20	1,271	1,217	1,048		20	1,124	1,031	0,945
	25	1,138	1,159	0,92		25	0,999	0,964	0,829
	30	1,078	1,094	0,887		30	0,951	0,913	0,8
	35	1,062	1,061	0,882		35	0,94	0,883	0,797
	40	1,061	1,026	0,871		40	0,939	0,868	0,791
Keterangan		Batas bawah nilai lereng stabil berdasarkan kriteria Bowles, 1964 (> 1,25)							

**Overall Slope**

Rancangan *overall bench* disimulasikan dengan memandangkan terhadap lereng di bagian utara low wall yang cenderung stabil, *upper face* hingga *roof seam D* batubara. Pada Gambar 3.8 terlihat hasil analisisnya.



**Gambar 3.8** Model Rekayasa Menurunkan Upper Face

Sudut lereng keseluruhan yang sebelumnya diterapkan bernilai 110 yang secara umum dikatakan sangat landai dan dengan melihat intensifnya struktur geologi penyebab deformasi pada massa batuan di atas *roof seam D* batubara, maka nilai faktor keamanan 1,546 hasil dari

analisis terhadap simulasi lereng *low wall* di bagian utara dapat dijadikan acuan dalam penerapan rancangan model geoteknik untuk menangani longsoran di area *low wall* blok 07-12. Konsekuensi dari penerapan redesign ini, secara operasional perlu terlebih dahulu melakukan pengupasan terhadap overburden maupun material longsoran di atas roof seam D batubara. Hal itu tentunya akan berdampak terhadap nilai stripping ratio, akan tetapi dengan kondisi yang tidak menguntungkan dan diperlukannya kelanjutan penambangan, maka redesign dengan menurunkan *upper face* hingga *roof seam D* batubara tetap direkomendasikan

#### 4. Kesimpulan

Dari tujuan penelitian yang dikemukakan, dapat disimpulkan:

1. Air berpengaruh dalam menginfiltrasi pori-pori dan bidang diskontinu massa batuan sehingga menambah kejenuhan massa batuan.
2. Struktur geologi yang intensif dan berorientasi searah lereng menjadi penyebab deformasi pada massa batuan sehingga menurunkan kekuatan batuan dan menambah beban penggerak pada lereng.
3. Ketidaktepatan *input* parameter geoteknik berperan dalam longsoran sebagai kelemahan pada interpretasi prediksi kestabilan lereng.
4. *Single slope* maksimum yang dapat diterapkan  $25^{\circ}$  untuk batupasir,  $15^{\circ}$  untuk batubara, dan  $35^{\circ}$  pada batulempung dengan tinggi *single bench* 5 meter. *Overall slope* direkomendasikan untuk menurunkan *upper face overall bench* hingga *roof seam D* batubara.

#### Daftar Pustaka

- [1] Amalia, Yasmina, 2012, Penerapan Metode Kriteria Hoek & Brown dalam Menentukan Faktor Keamanan pada Analisis Kestabilan Lereng Di Loop 2 PT. Kaltim Batu Manunggal, Kalimantan Timur, Program Studi Teknik Pertambangan UPN 'Veteran' Yogyakarta.
- [2] Hoek, Evert. dkk, 2000, Rock Slopes in Civil and Mining Engineering, Published in Proceedings of The International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne.
- [3] Hoek, E, 1990, Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from The Hoek-Brown Failure Criterion, International Abstracts of Rock Mechanics, Mining Science & Geomechanics.
- [4] Hoek & Marinos, 2007, The Geological Strength Index (GSI): A Characterization Tool for Assessing Engineering Properties of Rock Masses, Journal Published 12 Januari 2015, Researchgate.net.
- [5] Made Astawa Rai. dkk, 2013, Mekanika Batuan, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [6] Marinos, P, and Hoek, E, 2001, Estimating The Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses Such as Flysch, Accepted for Publication in The Bulletin of The International Association of Engineering Geologist