

**DESAIN LERENG OPTIMAL BERDASARKAN PROBABILITAS KELONGSORAN MELALUI ANALISIS BALIK DI LERENG TAMBANG EMAS PIT X JAWA BARAT****Raffy Rizki Arifadillah\*, Zufialdi Zakaria\*, Raden Irvan Sophian\***

(Corresponding email : Raffy208@gmail.com)

\*Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

---

**ABSTRAK**

Peneliti Hoek dan Bray menemukan beberapa lereng dengan kriteria faktor keamanan yang stabil namun longsor masih terjadi dan sebaliknya, maka dari itu, diciptakanlah metode probabilitas kelongsoran sebagai salah satu cara menganalisis kestabilan lereng. Metode ini menjadi perhitungan wajib dalam menganalisis kestabilan lereng di Indonesia sejak dikeluarkannya Keputusan Menteri ESDM No.1827 Tahun 2018. Penelitian dilakukan pada lereng utara pada *pit X* Jawa Barat yang sudah mengalami kelongsoran sehingga dilakukan analisis balik menggunakan *software slide 6.0* untuk mendapatkan material properties yang dimiliki lereng pada sesaat terjadi kelongsoran. Material properties hasil Analisis balik dijadikan input pada analisis kestabilan lereng menggunakan Metode Morgenstern-Price dan analisis probabilitas kelongsoran dengan metode Monte-Carlo. Analisis kestabilan lereng dan analisis probabilitas kelongsoran dilakukan dengan simulasi desain lereng yang menghasilkan simulasi lereng tunggal dengan tinggi 10 m dan 6 m yang bersifat stabil pada keadaan  $\frac{1}{2}$  jenuh dan kering serta simulasi lereng keseluruhan memberikan rekomendasi perubahan sudut keseluruhan lereng (*overall*) dari  $48^\circ$  menjadi  $40^\circ$  dalam keadaan  $\frac{1}{2}$  jenuh.

Kata Kunci : Analisis probabilitas kelongsoran, Analisis balik, Analisis kestabilan lereng, Simulasi desain lereng

**ABSTRACT**

*Researchers (Hoek and Bray) found several slopes with stable safety factor criteria but landslides still occurred and vice versa. Therefore, the landslide probability method was created as a way to analyze slope stability. This method is a compulsory calculation in analyzing slope stability in Indonesia since the issuance of the Minister of Energy and Mineral Resources Decree No.1827 of 2018. The research was carried out on the northern slopes of pit X which had experienced landslides so that a reverse analysis was carried out using slide 6.0 software to obtain the material properties of the slope at a moment landslide occurred. The material properties of the back analysis are used as input to the slope stability analysis using the Morgenstern-Price method and the landslide probability analysis using the Monte-Carlo method. Analysis of slope stability and analysis of slope failure probability is carried out with slope design simulations that produce a single slope simulation with a height of 10 m and 6 m which is stable at  $\frac{1}{2}$  saturated and dry conditions and the overall slope simulation provides recommendations for changes in the overall angle of the slope (*overall*) from  $48^\circ$  to  $40^\circ$  in  $\frac{1}{2}$  saturated state.*

**Keyword** : *probability analysis, reverse analysis, slope stability analysis, slope design simulations*

## 1. PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan metode yang dilakukan untuk mengambil sumber daya mineral yang ada dalam bumi. Terdapat dua cara pertambangan dilakukan yaitu dengan sistem terbuka dan sistem tertutup.

Pada pertambangan terbuka umumnya dibentuk lereng yang di desain bersifat stabil hanya pada kegiatan pertambangan sehingga faktor keamanan dan desain lereng yang dihasilkan umumnya lebih rendah dan berbeda dari lereng bangunan sipil (Stacey, 2009). Namun, faktor keamanan tidak menjadi parameter utama dalam menentukan kestabilan lereng. Penambahan probabilitas kelongsoran dijadikan perhitungan sebab ditemukannya lereng yang bersifat stabil namun tetap mengalami kelongsoran (Rusni, 2019). Penyebab kelongsoran dapat dihasilkan oleh faktor internal maupun eksternal sehingga menyebabkan lereng dengan desain stabil tidak akan bertahan sesuai dengan kondisi aktual di masa yang akan datang. Hal ini dipengaruhi oleh faktor seperti kenaikan mat pada lereng, geometri lereng, pelapukan/erosi yang dapat menyebabkan kestabilan lereng tambang terganggu yang berakhir dengan kelongsoran (Hasan & Heriyadi, 2020).

Pada daerah penelitian, lereng bagian utara mengalami kelongsoran pada awal tahun 2021 sehingga dilakukan kajian analisis balik untuk mengetahui keadaan lereng aktual sesaat sebelum mengalami kelongsoran. Makalah ini menyajikan salah satu upaya optimalisasi penambangan dengan melakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan hasil analisis balik sebagai input *material properties* baru sehingga dapat mengurangi resiko bahaya pada lereng di masa yang akan datang.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 KESTABILAN LERENG

Kestabilan lereng dapat ditentukan dengan membandingkan gaya dorong (*driving force*) dengan gaya penahan (gaya geser). Jika Gaya dorong memiliki nilai yang besar dibandingkan nilai gaya

penahan (gaya geser) maka nilai faktor keamanan akan bernilai kecil yang berujung dengan terjadinya longsor (*failure*) pada lereng (Das,1985 dalam Das,2014). Kestabilan lereng ditentukan oleh dua faktor yaitu faktor internal (disebabkan oleh parameter dalam lereng) dan faktor eksternal (disebabkan oleh parameter asing).

#### 2.1.1 Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Berdasarkan Hirnawan,1994; Sukandar, 1991 dalam Zakaria, 2011 terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan penurunan kestabilan lereng yaitu:

1. Pelapukan/Erosi dan Iklim
2. Morfologi
3. Gempa atau Getaran
4. Perubahan Muka Air Tanah
5. Struktur Batuan

#### 2.2 Metode Kestimbangan Batas

Metode Kesetimbangan Batas merupakan metode penentuan faktor keamanan yang menggunakan prinsip kesetimbangan pada gaya yang berkerja bidang gelincir lereng. Metode ini memperkirakan bidang longsor yaitu bentuk *circular* atau *non-circular*. Perhitungan faktor keamanan pada metode ini menggunakan metode irisan, yang dimana membagi bidang longsor menjadi n irisan. Perhitungan faktor keamanan (FK) pada metode kesetimbangan batas dapat menggunakan persamaan Fellenius dalam Chowdhury, 2010 yaitu:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Pendorong}} = \frac{\sum [cl + \tan \phi (W \cos \alpha - ul)]}{\sum W \sin \alpha}$$

Keterangan

C = kohesi Batuan (kPa)

$\alpha$  = Sudut overall lereng (derajat)

W = Luas bidang irisan x bobot satuan isi tanah,  $\gamma$

$\phi$  = sudut geser dalam

L = Jumlah Panjang bidang gelincir

### 2.3 Analisis Balik

Analisis balik (*back analysis*) merupakan analisis yang berfungsi untuk mengetahui parameter geoteknik penyusun lereng sesaat/sebelum lereng mengalami kelongsoran (*failure*). Parameter geoteknik yang diperhatikan adalah nilai kohesi ( $c$ ) dan Sudut geser dalam ( $\phi$ ) (Rizaldi, 2020 ; Hoek and Bray,1981). Analisis balik dilakukan pada lapisan terlemah penyusun lereng yang dimana bidang lemah tersebut dijadikan patokan bidang gelincir atau diperhitungkan dengan keadaan lapangan. Analisis balik dilakukan dengan melakukan percobaan untuk memperoleh nilai kohesi ( $c$ ) dan Sudut geser dalam ( $\phi$ ) pada faktor keamanan lereng ( $FK$ ) = 1 atau mendekati nilai 1 (Rizaldi, 2020).

### 2.4 Metode Probabilitas

Metode probabilitas dapat menghasilkan nilai dari perkiraan keterjadian sesuatu dengan memperhatikan variabel acak yang ditentukan secara statistik.

Dalam analisis kestabilan lereng, metode probabilitas membutuhkan parameter statistik sebagai batasan probabilitas. Parameter statistik tersebut yaitu nilai rata-rata, standar deviasi, nilai relatif maksimum dan minimum.

#### 2.4.1 Rata-Rata

Nilai rata-rata adalah nilai jumlah total ( $\sum X$ ) dari data yang ada dibagi dengan banyaknya data ( $N$ ). Nilai rata-rata berguna untuk menentukan sebuah perwakilan dari berbagai data yang ada

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

#### 2.4.2 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan metode statistik dalam mengukur penyebaran data secara kuantitatif. Standar deviasi digunakan dalam analisis kestabilan lereng dalam menentukan variasi dari data mekanik dan fisik.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

### 2.4.3 Nilai Relatif maksimum dan Minimum

Nilai relatif maksimum yang didapatkan dari nilai maksimum dikurangi dengan nilai rata-rata sedangkan nilai relatif minimum dihasilkan dari pengurangan antara rata-rata dengan nilai minimum (Azizi,2014).

### 2.5 Analisis Probabilitas Kelongsoran

Analisis probabilitas kelongsoran akan menggunakan metode Probabilitas Monte Carlo. Probabilitas kelongsoran adalah salah satu hasil analisis kestabilan lereng yang dtunjukkan dalam bentuk persentase dari jumlah nilai faktor keamanan lereng yang memiliki nilai  $FK < 1$  dibagi dengan total  $FK$  yang dilakukan pengujian. Penelitian ini akan merujuk pada Keputusan Menteri ESDM No.1827 tahun 2018 dan Klasifikasi Bowles (1989).

Tabel 1. Keputusan Menteri ESDM No.1827 tahun 2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (maks) ( $FK \leq 1$ )
Lereng tunggal	Rendah - Tinggi	1.1	Tidak ada	25 - 50 %
	Rendah	1.15 - 1.2	1.0	25 %
Inter - ramp	Menengah	1.2 - 1.3	1.0	20 %
	Tinggi	1.2 - 1.3	1.1	10 %
Lereng Keseluruhan	Rendah	1.2 - 1.3	1.0	15 - 20%
	Menengah	1.3	1.05	10%
	Tinggi	1.3 - 1.5	1.1	5 %

Tabel 2. Klasifikasi Bowles (1989)

NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN/INTENSITAS LONGSOR
$F < 1.07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$F 1.07 - 1.25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1.25$	Longsor jarang terjadi (lereng stabil)

## 3. METODELOGI

Metode penelitian dalam penelitian diawali dengan penerimaan data sekunder pada lereng penelitian. Data sekunder yang diberikan berupa data fisik dan mekanik pada lapisan penyusun lereng dan data DTM terbaru untuk rekonstruksi lereng penelitian.

Penampang lereng penelitian dibentuk dengan data DTM (*Digital Terrain Model*) dan peta topografi sehingga didapatkan lereng sebelum terjadi kelongsoran. Setelah itu, analisis statistik terhadap *material properties* pada lapisan terendah penyusun lereng menggunakan *software minitab*. *Software minitab* akan memberikan nilai rata-rata, standar deviasi, dan jenis distribusi data berdasarkan metode Anderson-Darling.

Perhitungan nilai faktor keamanan dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode Morgenstern – Price dan Analisis Probabilitas kelongsoran akan menggunakan metode Monte Carlo yang keduanya dilakukan pada *software Slide 6*.

Analisis Balik dilakukan dengan memanfaatkan fitur pada *software slide 6* yaitu *sensitivity plot*. Fitur ini akan memberikan nilai *material properties* pada keadaan lereng yang memiliki  $FK = 1$  (sesaat sebelum terjadi kelongsoran).

Setelah nilai *material properties* hasil dari analisis balik didapatkan dilakukan simulasi kestabilan lereng. Simulasi dilakukan pada skala lereng tunggal (dilakukan pada lapisan penyusun lereng terlemah) dan skala lereng keseluruhan. Simulasi dilakukan dengan menambahkan beberapa kondisi seperti simulasi MAT (Jenuh, Kering, 1/2 Jenuh) dan penambahan beban seismik. Desain lereng yang optimal akan memiliki nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran sesuai dengan kriteria lereng stabil yang ditentukan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Kondisi Geologi dan Geologi teknik

Lereng penelitian disusun oleh litologi tanah dengan warna merah kecoklatan dengan ukuran butir pasir – kerakal. Sedangkan breksi vulkanik memiliki warna abu-abu keputihan – kecoklatan.

Untuk deskripsi geologi teknik, tanah memiliki tingkat kelapukan CWZ (*Complete Weathering Zone*) dan tingkat kekuatan S4

(*Stiff soil*) sedangkan batu breksi vulkanik memiliki tingkat kelapukan tingkat SWZ - MWZ (*Slightly Weathering Zone – Moderate Weathering Zone*) dan tingkat kekuatan R3 (*Medium Strong rock*).

##### 4.2 Analisis Statistik *Material Properties*

Analisis Probabilitas kelongsoran pada lereng akan membutuhkan variabel – variabel acak yang menjadi batasan serta validasi data dalam menentukan nilai Probabilitas. Variabel Acak yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai *material properties* sudut geser dalam, kohesi, dan unit weight dari lapisan terlemah yaitu tanah.

Tabel 3. Nilai *Material Properties* Tanah Hasil Analisis Statistik

Parameter	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Kohesi (kPa)	Phi (derajat)
Jumlah Sampel	18	18	18
Jenis Distribusi	Normal	Normal	Lognormal
Rata-Rata	13.7418	29.9083	41.9900
Standar Deviasi	1.43384	5.14781	11.81
Nilai Rel. Min	1.9818	8.3351	10.23
Nilai Rel. Maks	2.6242	9.3157	23.84

##### 4.3 Keadaan Lereng Awal Tahun 2021

Lereng penelitian memiliki penampang A – A” yang dimana pada bagian lereng terdapat pada A’ – A”. Lereng ini terletak pada lereng utara Pit X. Lereng ini dijadikan objek karena lereng pada awal tahun 2021 mengalami kelongsoran walaupun lereng dinyatakan stabil (Gambar 1).

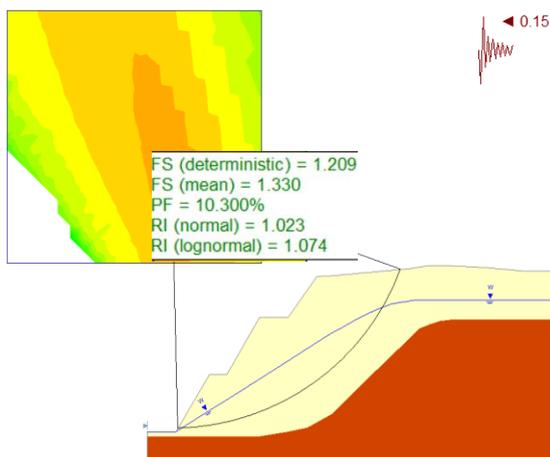
Analisis kestabilan lereng pada lereng penampang A – A” dilakukan pada keadaan MAT ½ jenuh dan dinamis. Lereng penelitian menghasilkan nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 1.209 dan Probabilitas Kelongsoran sebesar 10.3 % (Gambar 2).

Keterjadian kelongsoran pada lereng dapat disebabkan oleh kenaikan muka air tanah sementara yang dimana pada awal Januari, daerah penelitian memiliki curah hujan tinggi (BMKG,2021)

sehingga dapat mempengaruhi keadaan MAT pada lereng penelitian.



Gambar 1. lereng Penampang A – A” aktual lapangan saat terjadi kelongsoran  
Sumber : Google Earth (03/03/2021)



Gambar 2. Hasil rekonstruksi Lereng Desain Penampang A-A” Kondisi MAT ½ Jenuh dan Dinamis

Untuk membentuk lereng yang stabil maka dilakukan analisis balik untuk mengetahui keadaan sesungguhnya pada lereng penelitian sesaat sebelum terjadinya kelongsoran.

#### 4.4 Analisis Balik

Analisis balik dilakukan pada lereng rekonstruksi penampang A – A” sebelum terjadi kelongsoran. Parameter Material properties yang digunakan dalam analisis balik adalah nilai kohesi (c) dan Sudut

geser dalam ( $\phi$ ) yang di dapatkan dari Sampel tak terganggu (Undisturbed sampel) yang diolah dengan metode *direct shear*. Berikut adalah *material properties* lapisan penyusun lereng sebelum analisis balik dilakukan

Tabel 4. Nilai *Material Properties* Lapisan Penyusun Lereng

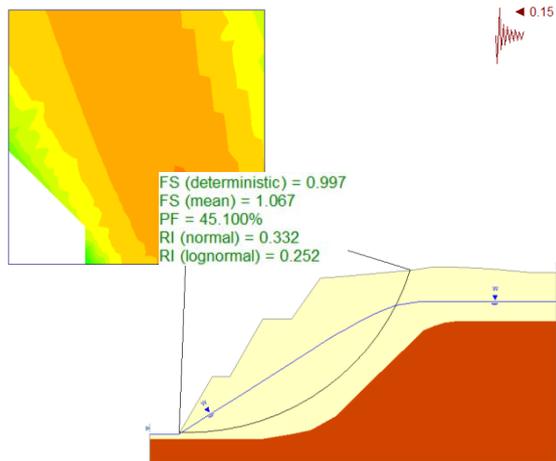
Parameter	Unit Weight (Kn/m <sup>3</sup> )	Kohesi (Kpa)	Phi (derajad)
Tanah ( <i>soil</i> )	13.7418	29.9083	41.9900
Breksi Vulkanik	24.32	2620	43.49

Analisis balik dilakukan pada *material properties* pada lapisan tanah dikarenakan lapisan tanah merupakan lapisan yang terlemah yang berkemungkinan tempat bidang gelincir terbentuk.

Setelah dilakukan analisis balik, terdapat perubahan nilai *material properties* pada lapisan tanah penyusun lereng dan nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran. Nilai FK hasil analisis balik yaitu 0,997 dengan nilai probabilitas kelongsoran menjadi 45.1% lihat gambar 3 sedangkan perubahan nilai *material properties* tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai *Material Properties* Hasil Analisis Balik

Parameter Statistik	Sampel UDS		Analisis Balik	
	Kohesi	Phi	Kohesi	Phi
Rata-rata	29.9083	41.9900	29.75	34.53
St dev	5.14781	11.81	5.121	9.712
Nilai Rel. Maks	8.3351	10.23	9.266	19.602
Nilai Rel. Min	9.3157	23.84	8.291	8.413



Gambar 3. Hasil Analisis Balik Lereng Desain Penampang A-A” Kondisi MAT ½ Jenuh dan Dinamis

#### 4.5 Simulasi Kestabilan Lereng

Hasil analisis balik data *material properties* dijadikan input data pada simulasi kestabilan lereng (*forward analysis*). Simulasi akan dilakukan dengan 2 jenis simulasi lereng yaitu simulasi skala Bench/Tunggal dan Skala Lereng Keseluruhan.

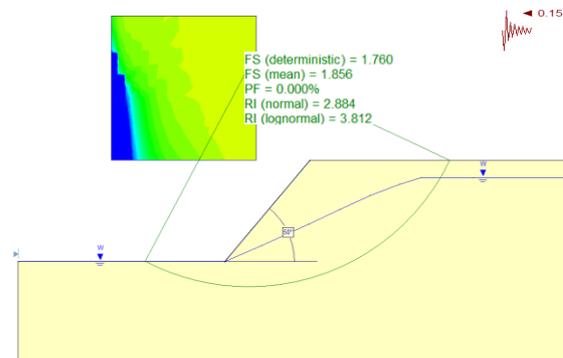
##### 4.5.1 Simulasi Skala Lereng Tunggal

Simulasi lereng tunggal dilakukan pada litologi tanah (*soil*) sebagai lapisan terlemah. Simulasi ini dilakukan untuk memberikan parameter kondisi kestabilan lereng pada saat dilakukan aktivitas konstruksi pembentukan lereng keseluruhan (Ryan & Pryor, 2000).

Simulasi lereng tunggal dilakukan pada ketinggian tinggi lereng 6 m dan 10 m dengan sudut kemiringan lereng 40°, 45°, 50°, 60°, 70°. Analisis lereng tunggal ini dilakukan dalam kondisi muka air tanah kering, ½ jenuh, jenuh dan dalam keadaan dinamis. Hasil simulasi akan dinyatakan lolos simulasi jika memenuhi kriteria Nilai  $FK \geq 1.1$  dan nilai  $PK \leq 50\%$  Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 jenis lereng tunggal keparahan longsor menengah dan menurut klasifikasi Bowles (1989) dengan  $FK \geq 1.25$ .

Berdasarkan hasil 30 simulasi pada skala lereng tunggal terdapat 5 simulasi yang menghasilkan lereng tidak stabil.

Pada Keadaan MAT Kering dan ½ Jenuh lereng bersifat stabil sedangkan pada kondisi MAT jenuh pada tinggi 6 m terdapat 5 simulasi bersifat lereng stabil dan pada tinggi 10 m terdapat 1 simulasi yang menghasilkan lereng stabil. Contoh desain lereng stabil pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh hasil Simulasi Lereng Tunggal Tinggi 10 m, Sudut 50° Kondisi MAT ½ Jenuh dan Dinamis

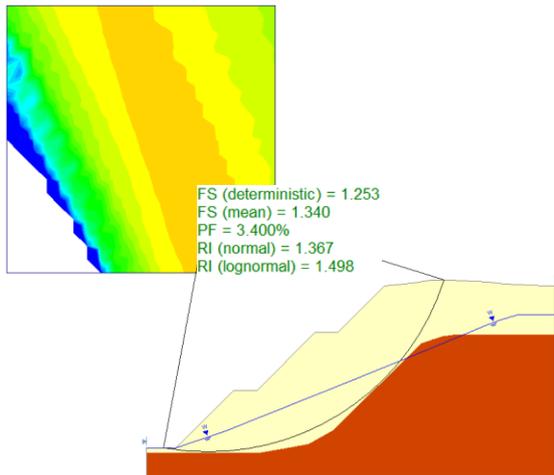
##### 4.5.2 Simulasi Skala Lereng Keseluruhan

Simulasi ini dilakukan pada lereng penampang A-A” yang memiliki tinggi lereng 28 m dan disusun oleh material tanah dan breksi vulkanik.

Simulasi dilakukan dengan tinggi undakan (*bench*) 6 m dan 10 m Sudut bench yang digunakan yaitu 40°, 45°, 50° sedangkan 20°, 25°, 30° dilakukan pada hanya pada kondisi MAT Jenuh. Lebar bench utama mengikuti dari rancangan lereng sebelumnya sehingga dilakukan simulasi lebar bench sebesar 3 m 4 m, dan 5 m (lereng 50° dan 40° dalam keadaan tinggi *bench* 10m). Analisis dilakukan pada kondisi MAT pada Kering, ½ jenuh, Jenuh dan dinamis Hasil simulasi akan dinyatakan lolos simulasi jika memenuhi kriteria Nilai  $FK \geq 1.1$  dan nilai  $PK \leq 10\%$  Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 jenis lereng keseluruhan keparahan longsor menengah dan menurut klasifikasi Bowles (1989) dengan  $FK \geq 1.25$ .

Berdasarkan 55 simulasi pada skala lereng keseluruhan terdapat 23 simulasi yang menghasilkan lereng tidak

stabil. Lereng Stabil terbentuk pada keadaan MAT kering (17 simulasi), MAT ½ Jenuh dengan tinggi bench 10 m terdapat 6 simulasi yang menghasilkan lereng stabil dan lereng tinggi bench 6 m terdapat 6 simulasi yang memiliki lereng stabil, sedangkan pada keadaan MAT jenuh hanya 3 simulasi yang menghasilkan lereng stabil. Contoh desain lereng stabil pada Gambar 6.

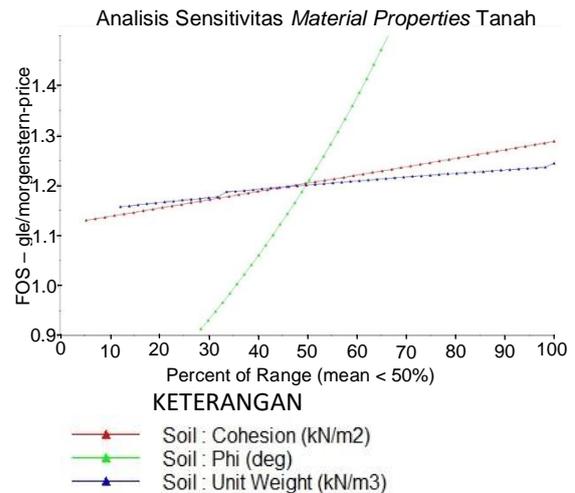


Gambar 6. Contoh hasil Simulasi Lereng Overall tinggi bench 10 m, Sudut bench 45°, lebar bench 4 m Kondisi MAT ½ Jenuh dan Dinamis

#### 4.6 Analisis Sensitivitas Material Properties

Analisis ini memberikan informasi mengenai variabel material properties manakah yang memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai faktor keamanan dan persentase Probabilitas Kelongsoran. *Material properties* yang digunakan adalah nilai kohesi, unit weight, sudut geser dalam dari litologi tanah (soil).

Berdasarkan Gambar 7, Parameter sudut geser dalam memiliki garis yang curam dibandingkan parameter lainnya. Maka dari itu, disimpulkan bahwa material properties parameter sudut geser dalam bersifat sensitif dibandingkan parameter lainnya



Gambar 7. Hasil Analisis Sensitivitas Material Properties dari tanah terhadap faktor keamanan

#### 4.7 Desain Lereng Berdasarkan Hasil Analisis Balik

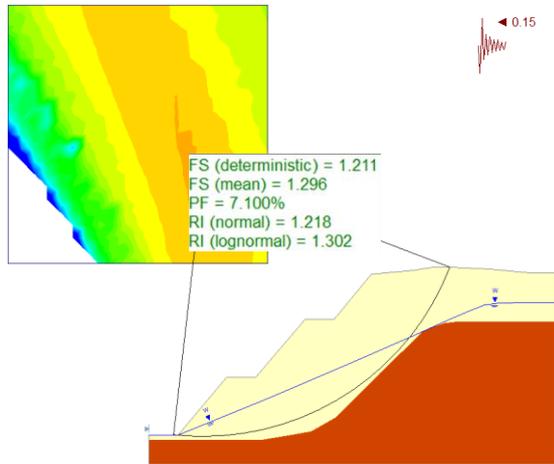
Berdasarkan Hasil Simulasi kestabilan dinyatakan 3 desain yang optimal pada lereng penelitian menggunakan input data hasil analisis balik perhatikan tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Desain Optimal Lereng Penelitian

Parameter	Keadaan	Kondisi	Kondisi	Kondisi
	Lereng Asli	MAT ½ Jenuh	MAT ½ Jenuh	MAT Jenuh
	Hasil Analisis Balik	(Keputusan Menteri, ESDM No.1827)	(Bowles, 1989)	(Bowles, 1989)
BFA (°)	60°	50°	45°	25°
Sudut Keseluruhan (°)	48°	40°	38°	23°
Lebar Bench (m)	3 m	5 m	4 m	3m
Tinggi Bench (m)	10 m	10 m	10 m	10 m
FK	0.997	1.211	1.253	1.388
PK (%)	45.1%	7.1%	3.3%	0.1%

Desain lereng berdasarkan kriteria Keputusan Menteri ESDM No.1827 menghasilkan desain lereng yang paling ekonomis namun lereng harus dilakukan pengawasan yang lebih teliti pada pengembangannya. Sedangkan lereng berdasarkan Klasifikasi Bowles, 1989

menghasilkan desain lereng yang paling aman namun harus melakukan pembukaan lapisan yang lebih banyak.



Gambar 8. Desain optimal Lereng Overall tinggi bench 10 m, Sudut bench 50°, lebar bench 5 m Kondisi MAT ½ Jenuh dan dinamis

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu:

- Hasil Analisis Balik menunjukkan terdapat perubahan nilai FK lereng dari 1.209 menjadi 0.997, nilai PK lereng dari 10.3 % menjadi 45.1% sedangkan nilai *material properties* kohesi mengalami penurunan sebesar 0.56% sedangkan sudut geser dalam mengalami penurunan 17.76%.
- Hasil Simulasi lereng skala tunggal menghasilkan 25 simulasi dengan hasil lereng stabil dan 5 simulasi menghasilkan lereng tidak stabil. Sedangkan simulasi skala keseluruhan menghasilkan 32 simulasi dengan lereng stabil (terdiri dari lereng kondisi MAT Kering, dan beberapa pada kondisi MAT ½ Jenuh, dan Jenuh) dan 23 simulasi yang menghasilkan lereng tidak stabil (Dominasi lereng keadaan MAT Jenuh dan beberapa pada kondisi MAT ½ Jenuh)
- Analisis Sensitivitas menyatakan *material properties* sudut geser dalam

bersifat sensitif sehingga perubahan sudut geser dalam akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran

- Desain Optimal lereng penelitian berdasarkan kriteria Keputusan Menteri ESDM No.1827 menghasilkan desain lereng yang paling ekonomis namun lereng harus dilakukan pengawasan yang lebih teliti pada pengembangannya. Sedangkan lereng berdasarkan Klasifikasi Bowles, 1989 menghasilkan desain lereng yang paling aman namun harus melakukan pembukaan lapisan yang lebih banyak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Slope Stability Back Analysis Using Rocscience Software*. Rocscience inc.
- Azizi, 2014. Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia. *Disertasi Institut Teknologi Bandung (ITB): Bandung*.
- Chowdhury, Robin. 2010. *Geotechnical Slope Analysis*. Taylor & Fancis Group : London, UK.
- Das, B. dan Sobhan, K. 2014. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning : USA
- Hasan, B.M dan Heriyadi, B. 2020. Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau PT. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang. Vol 5, No.1 pg 74-84*
- Metriani, R; Anaperta, Y.M; Saldy,T.G. 2019. Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang disederhanakan Pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Padang, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang. Vol 4, No.4 pg 49 – 58*
- Read,J dan Stacey, J. 2010. *Guidelines For Open Pit Slope Design*. CSIRO PUBLISHING: Australia.

- Rizaldi, dan Heriyadi, Bambang. 2020. Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan pada area Blok Bukit Tambun PT.Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto. *Jurnal Bina Tambang. Vol 5, No.4 pg 57 - 67*
- Rusni, Silvy Oktari. 2019. Probabilitas Longsor Pada Lereng Tambang Batubara Terbuka Sisi Sidewall Selatan Pit X, Kalimantan Selatan. *Padjadjaran Geoscience Journal Vol.3 No.5 Oktober 2019 pg 389 - 396*
- Zakaria, Zulfialdi.2011. Analisis Kestabilan Lereng Tanah. FTG UNPAD Lab Geoteknik: Jatinangor