

# ANALISIS KESTABILAN LERENG BLOK BUKIT RAHMAT PT. CAHAYA BUMI PERDANA, KOTA SAWAHLUNTO

Muhammad Fadillah<sup>1\*</sup>, and Bambang Heriyadi<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*m.fadil.fadilah@gmail.com

\*\*bambangh@ft.unp.ac.id

**Abstract.** PT. Cahaya Bumi Perdana is a company engaged in coal mining, located in Sawahlunto City, West Sumatra Province with an area of 103.10 Ha. There is a slope with a height of 23.2 meters, a slope of 78° and this slope is 7 meters behind the BT 04 tunnel door. With these slope conditions, it has the potential to endanger workers and hinder production. The results of testing the physical and mechanical properties of the soil obtained the original bulk density value of 18.88 kN/m<sup>3</sup>, cohesion (c) 8.6054 kN/m<sup>2</sup> and inner shear angle ( $\phi$ ) 43,54°. The results of the physical and mechanical properties of the sandstone are the original bulk density of 22.85 kN/m<sup>3</sup>, the cohesion (c) of 184.3 kN/m<sup>2</sup> and the inner shear angle ( $\phi$ ) 53,4894°. The analysis and recommendations used the simplified bishop and simplified janbu methods. The results of the study are landslides in the form of landslides with a 40% possibility of landslides in the direction of landslides N 283° E/78°. Therefore, a single slope recommendation is carried out, so the slope is 71° and the safety factor (FK) is 1.333 and the slope is in a safe condition.

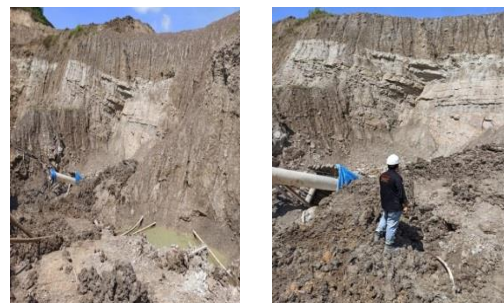
**Keywords:** Physical and Mechanical Properties of Soil and Rocks, Slope Geometry, Simplified Bishop, Simplified Janbu, Safety Factors

## 1. Pendahuluan

PT. Cahaya Bumi Perdana adalah salah satu perusahaan pertambangan batubara di Kota Sawahlunto dengan menggunakan sistem penambangan sistem terbuka dengan metode back filling dan sistem tambang bawah tanah metode room and pillar. PT. Cahaya Bumi Perdana dalam kegiatan penambangannya banyak ditemukan masalah kestabilan lereng, seperti lereng pada penambangan open pit, penimbunan over burden, dan lain-lain. Lereng-lereng tersebut ada yang terbentuk dari proses alami dan ada juga yang terbentuk dari akibat proses penambangan.

Apabila lereng yang terbentuk secara alamiah, maka tanah atau batuan umumnya berada dalam keadaan stabil atau seimbang. Perubahan kestabilan lereng dapat terjadi akibat pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi, atau aktivitas lain di sekitar lereng tersebut. Untuk mengatasi perubahan itu, lereng akan berusaha untuk mencapai kondisi stabil yang baru secara alamiah. Cara ini biasanya berupa proses degradasi atau pengurangan beban, terutama dalam longsoran-longsorannya atau gerakan-gerakan lain sampai tercapai keadaan kesetimbangan yang baru.<sup>[1]</sup>

Berdasarkan pengamatan pada saat melakukan observasi yang telah dilakukan pada tanggal 16 Juli 2020 dan 20 Juli 2020 di PT. Cahaya Bumi Perdana, penulis menemukan adanya air pada lereng yang terjadi di titik lokasi penambangan blok Bukit Rahmat. Berdasarkan hasil observasi, lereng tersebut terdapat dua jenis material pembentuk lereng yang berada dalam 1 bench yaitu material tanah dan batua. Dari hasil observasi, diketahui lereng dengan ketinggian 23,2 meter dan kemiringan 78°. Dengan kondisi lereng tersebut berpotensi membahayakan pekerja dan menghambat produksi. Untuk lebih jelasnya, lereng tersebut dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



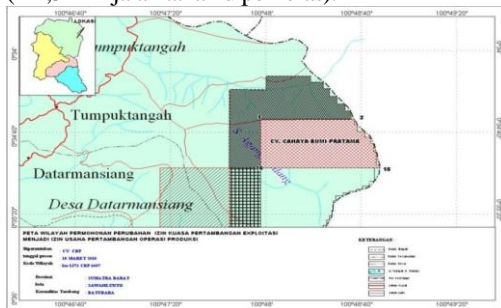
**Gambar 1.** Kondisi Lereng Pada Area Blok Bukit Rahmat

Pada Blok Bukit Rahmat yang berlokasi di PT. Cahaya Bumi Perdana, kegiatan penambangan dilakukan dengan sistem penambangan bawah tanah. Posisi lereng pada gambar 1 tersebut terletak di belakang pintu tunnel BT 04 yang berjarak 7 meter. PT. Cahaya Bumi Perdana Belum pernah melakukan kajian geoteknik mengenai kestabilan lereng pada lereng yang berada di belakang pintu tunnel BT 04 tersebut. Sehingga foreman yang berada di lapangan dalam pembuatan lereng tambang bekerja berdasarkan perencanaan dari mine plan saja. Untuk mendapatkan geometri lereng dan menghindari terjadinya longsor, diperlukan perencanaan geoteknik yang matang serta metode apa yang akan digunakan.

Pada wilayah IUP PT. Cahaya Bumi Perdana banyak terjadi longsor dikarenakan minimnya pengkajian geoteknik mengenai kestabilan lereng secara berkala. Jika tidak dilakukan analisis kestabilan lereng serta penanganan yang maksimal terhadap lereng tersebut, dapat menyebabkan kerugian nantinya seperti kegiatan penambangan yang terganggu, bahkan bisa menyebabkan kerugian korban jiwa.

## 2. Lokasi Penelitian

Secara administratif, lokasi PT. Cahaya Bumi Perdana terletak di Kumanis Atas, Desa Tumpuk Tengah, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Secara geografis lokasi tersebut berada pada koordinat  $00^{\circ} 34' 33.60''$  -  $00^{\circ} 34' 57.42''$  Lintang Selatan dan  $100^{\circ} 47' 57.80''$  -  $100^{\circ} 48' 47.84''$  Bujur Timur. Lokasi kegiatan penambangan dapat ditempuh dari pusat Kota Sawahlunto (Talawi) – Kumanis (+ 25 km jalan Kota beraspal) – Lokasi (+ 2,5 Km jalan tanah diperkeras).



Sumber: PT. Cahaya Bumi Perdana<sup>[2]</sup>

**Gambar 2.** Peta Lokasi Kesampaian Daerah

## 3. Kajian Teori

### 3.1 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia, Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan, tanggul dan dinding tambang terbuka (Irwandi Arief, 2016)<sup>[1]</sup>

Berdasarkan material penyusunnya, lereng terbagi atas dua macam, yaitu lereng tanah dan lereng batuan, walaupun kenyataan yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan. Hal ini dikarenakan parameter material. Selain itu, penyebab longsor kedua material pembentuk lereng ini juga berbeda<sup>[1]</sup>.

### 3.2 Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng adalah ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuh (collapsing) dan gelinciran (sliding)<sup>[3]</sup>. Dikarenakan lereng tidak berbentuk horizontal melainkan membentuk sudut, maka akan timbul gaya penggerak akibat adanya gaya gravitasi dan cenderung membuat blok di atas permukaan miring tersebut bergerak menuruni lereng<sup>[3,4]</sup>.

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak. Apabila gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, lereng tersebut dapat dikatakan stabil (aman). Namun apabila gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak, lereng tersebut akan menjadi tidak stabil dan dapat menyebabkan longsor. Sebenarnya, longsor merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak<sup>[5-6]</sup>.

$$F = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}}$$

### 3.3 Klasifikasi Longsor

Berdasarkan proses longsorannya, longsor batuan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:<sup>[7-10]</sup>

### 3.3.1 Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Jenis longsoran busur merupakan salah satu longsoran yang paling umum terjadi di alam (tipikal longsoran tanah/soil). Pada batuan yang keras, jenis longsoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*), atau menerus sepanjang sebagian lereng sehingga menyebabkan longsoran geser dipermukaan.

### 3.3.2 Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa sesar, kekar (*joint*) maupun bidang perlapisan batuan. Terdapatnya bidang luncur bebas (*daylight*), berarti kemiringan bidang luncur harus lebih kecil dari pada kemiringan lereng.

### 3.3.3 Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

Model longsoran ini hanya bias terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang diskontinu yang bebas, dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih dari sudut geser dalamnya. Fenomena yang paling sering terjadi adalah garis perpotongan dua bidang kekar mempunyai kemiringan lereng.

### 3.3.4 Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

Longsoran guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir di lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Keadaan tersebut dapat digambarkan dengan balok-balok yang diletakkan diatas sebuah bidang miring.

## 3.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng<sup>[10]</sup>

### 3.4.1 Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penahan

1. Jenis batuan
2. Kekuatan batuan
3. Penyebaran batuan

### 3.4.2 Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penggerak

1. Geometri lereng
2. Bobot isi
3. Kandungan air tanah

### 3.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gaya Penahan

1. Proses bidang lemah
2. Bidang lemah
3. Iklim
4. Air

### 3.4.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gaya Penggerak

1. Aktivitas tektonik
2. Gempa atau sumber getaran yang lain
3. Penambahan beban akibat penimbunan
4. Penambahan air tanah
5. Pengeringan waduk

## 3.5 RMR (Rock Mass Rating)

Sistem klasifikasi massa batuan dengan RMR dari Bieniawski (1973) menggunakan enam parameter dasar untuk pengklasifikasian dan evaluasi hasil uji. Keenam parameter itu yaitu:<sup>[11-12]</sup>

### 3.5.1 Kuat Tekan (*Point Load Index*)

Kuat tekan point load index (PLI) dari material batuan utuh (*intact rock material*) dapat ditentukan melalui pengujian secara langsung (*in direct tect*) di lapangan maupun uji yang dilakukan di laboratorium

### 3.5.2 RQD (*Rock Quality Designation*)

Penentuan RQD dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Bieniawski (1989) penentuan mutu batuan (RQD) secara langsung dikembangkan oleh Deere dkk. (1967) yang mengestimasi secara kuantitatif kualitas massa batuan melalui inti bor. Indeks RQD digunakan secara luas untuk mengidentifikasi zona kualitas rendah batuan, dan digunakan sebagai parameter standar pada log inti bor, serta elemen dasar sistem klasifikasi massa batuan RMR dan Q- system. RQD didefinisikan sebagai persentase potongan batuan yang lebih panjang dari 10 cm terhadap panjang total inti bor tersebut.

3.5.3 Spasi Diskontinuitas

Spasi diskontinuitas merupakan jarak antara bidang lemah dengan arah tegak lurus terhadap bidang lemah tersebut. Bentuknya bias berupa kekar, zona shear, patahan minor atau permukaan bidang lemah lainnya.

3.5.4 Kondisi Diskontinuitas

Parameter lain yang berguna untuk mendapatkan peringkat massa batuan (RMR) yaitu paramer kondisi atau keadaan dari bidang diskontinuitas yang terdapat pada massa batuan tersebut. Meliputi kekasaran permukaan diskontinuitas, pesistence, kemenerusan, pelapukan batuan dan bidang lemah tersebut, dan material pengisi.

3.5.5 Kondisi Air Tanah

Secara teoritis kondisi air tanah dapat diketahui dengan mengukur besarnya aliran air tanah (debit). Kondisi air tanah berhubungan dengan pori dan diskontinuitas serta tekanan yang bekerja di dalamnya. Secara umum kondisi air tanah yang dijumpai pada permukaan batuan dapat berupa kering, lembab, basah, menetes, dan mengalir.

3.5.6 Orientasi Bidang Lemah

Nilai strike dan dip merepresentasikan orientasi dan kemiringan dari bidang diskontinuitas. Nilai strike dan dip pada pekerjaan rekayasa batuan berhubungan dengan prediksi stabilitas massa batuan dan arah penggalian, serta sangat berperan untuk memberikan penilaian kuantitatif bidang diskontinuitas yang kritis pada penggalian terowongan dan rekayasa lereng pada batuan. Nilai orientasi bidang diskontinuitas terhadap lereng memiliki variasi penilaian kualitatif dan kuantitatif yang sedikit berbeda antara satu dengan lainnya.

3.6 Metode Kesetimbangan Batas

Metode Kesetimbangan batas merupakan metode yang cukup populer dan praktis dalam analisis kestabilan, dengan kondisi kestabilan dinyatakan dalam indeks faktor keamanan, yaitu dengan menghitung kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau keduanya tergantung dari metode yang dipakai<sup>[1]</sup>.

3.6.1 Metode Bishop yang Disederhanakan

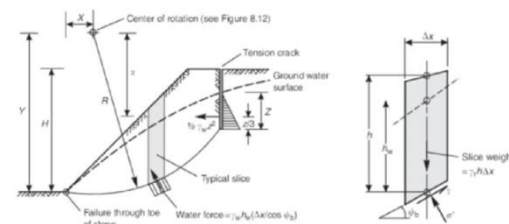
Metode Bishop yang disederhanakan merupakan salah satu metode pada longsor busur yang menggunakan prinsip irisan dalam menentukan faktor keamanan dari suatu massa material yang berpotensi longsor. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya pada arah vertikal dan kesetimbangan momen pada titik pusat lingkaran runtuh. Gaya geser antar irisan diabaikan. Untuk menghitung nilai faktor keamanan dapat menggunakan persamaan berikut ini:<sup>[12-15]</sup>

$$FK = \frac{\sum(X/(1 + \frac{Y}{F}))}{(\sum Z + Q)}$$

Keterangan:

- X =  $(c' + (\gamma \cdot h - \gamma_w \cdot h_w) \tan \theta) \Delta x / (\cos \alpha)$
- Y =  $\tan \alpha \cdot \tan \theta$
- Z =  $\gamma \cdot h \cdot \Delta x \cdot \sin \alpha$
- Q =  $1/2 \cdot \gamma_w \cdot Z^2 \cdot (\alpha/R)$

- FK = faktor keamanan
- $\gamma$  = bobot isi material (ton/m<sup>3</sup>)
- $\gamma_w$  = bobot isi air (ton/m<sup>3</sup>)
- $\alpha$  = kemiringan bidang luncur (°)
- $\theta$  = sudut geser dalam (°)
- h = tinggi lereng (m)
- h\_w = tinggi lereng jenuh (m)
- c = kohesi (Mpa)
- Z = kedalaman tegangan tarik (m)



Gambar 3. Metode Bishop Sederhana (Hoek and Bray, 1981)<sup>[11]</sup>

3.6.2 Metode Janbu yang Disederhanakan

Metode Janbu adalah salah satu dari metode yang banyak digunakan untuk menganalisis kemantapan lereng yang memiliki permukaan bidang gelincir tidak berupa busur lingkaran (non-sirkular). Metode ini menggunakan suatu faktor koreksi (fo) untuk mengkorelasi bentuk bidang gelincir yang tidak berupa busur lingkaran. Untuk menghitung nilai faktor keamanan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut<sup>[3]</sup>:

$$FK = \frac{f_0 \sum X / (1 + \frac{\gamma}{F_s})}{\sum Z + Q}$$

Keterangan:

- X = [c + (γ · h - γ<sub>w</sub> · h<sub>w</sub>) tanθ] (1 + [(tan α)<sup>2</sup> Δx]
- Y = tanα tanθ
- Z = γ · h · Δx · Tanα
- Q = 1/2 · γ<sub>w</sub> · Z<sup>2</sup>
- FK = Faktor keamanan
- f<sub>0</sub> = faktor koreksi
- γ = bobot isi material (ton/m<sup>3</sup>)
- γ<sub>w</sub> = bobot isi air (ton/m<sup>3</sup>)
- α = kemiringan bidang luncur (°)
- θ = sudut geser dalam (°)
- h = tinggi lereng(m)
- h<sub>w</sub> = tinggi lereng jenuh (m)
- c = kohesi (Mpa)
- Z = kedalaman tegangan tarik (m)

**3.7 Dasar Hukum Geoteknik Tambang**

Dasar hukum dalam kestabilan lereng berpedoman terhadap Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018<sup>[16]</sup>

**3.7.1 Poin Studi Kelayakan Tambang**

**3.7.1.1 Penyelidikan Geoteknik**

Penyelidikan geoteknik yang meliputi jumlah, kedalaman, dan lokasi pengeboran inti, deskripsi litologi, preparasi conto geoteknik, pengukuran dan analisis struktur geologi, kegempaan, pengaruh peledakan, serta hasil penyelidikan hidrologi dan hidrogeologi.

**3.7.1.2 Pengujian Conto Geoteknik**

Pengujian conto geoteknik yang meliputi laboratorium pengujian dan hasil dari uji sifat fisik dan sifat mekanik conto.

**3.7.1.3 Pengolahan Data Hasil Penyelidikan Geoteknik**

Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian conto geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan dari hasil butir yang terlihat pada gambar 4.

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/ CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks) PoF (FK≤1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. 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%

Sumber: *KEPMEN Nomor 1827, (2018, Halaman 57)*<sup>[15]</sup>

**Gambar 4.** Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

**4. Metode Penelitian**

Kegiatan pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 10 Agustus sampai 10 September 2020 di wilayah penambangan Blok Bukit Rahmat PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

Penelitian ini lebih terarah ke penelitian terapan (*Applied Research*), yaitu salah satu jenis penelitian yang bertujuan untuk mengaplikasikan teori yang didapat dibangku perkuliahan terhadap kondisi aktual di lapangan.

Data primer adalah data yang diambil langsung dari pengamatan lapangan seperti geometri lereng aktual, bidang diskontinu, *measuring* stratigrafi, sampel tanah dan batuan untuk uji sifat fisik dan mekanik, data hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan. Sedangkan data sekunder meliputi peta topografi dan peta geologi regional, deskripsi umum perusahaan dan teori relevan



## 5. Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Data

#### 5.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di area Blok Bukit Rahmat PT. Cahaya Bumi Perdana yang dilakukan pada titik koordinat seperti pada tabel 1 di bawah ini:

**Tabel 1.** Koordinat Lokasi Penelitian

No.	Titik	Koordinat	
		X	Y
1	DMS	100°46'33.2"	00°36'56.2"
2	UTM	697632,493 E	9931923,534 N

Lokasi penelitian untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini:



**Gambar 5.** Lokasi Penelitian

Berdasarkan hasil measuring stratigrafi yang telah dilakukan oleh penulis, lapisan material penyusun lereng terdiri atas tanah timbunan dan batu pasir (*sandstone*). Material utama penyusun lapisan tersebut adalah batu pasir (*sandstone*).

#### 5.1.2 Kondisi Lereng

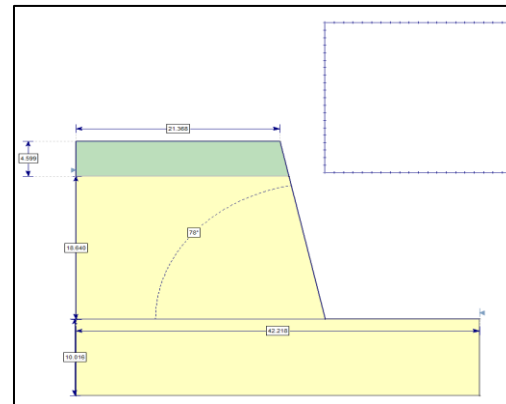
Penelitian dilakukan pada area Blok Bukit Rahmat PT. Cahaya Bumi Perdana yang terletak pada elevasi 330 mdpl sampai elevasi 353 mdpl. Secara umum lapisan penyusun lereng terdiri dari batuan sandstone dengan kemiringan 78°. Secara umum lapisan penyusun lereng relatif mengikuti kemiringan batubara dengan nilai strike dan dip rata-rata adalah N 283° E/78°

Kondisi lereng pada penelitian kali ini terletak pada area Blok Bukit Rahmat dengan

posisi lereng menghadap kearah lubang tambang BT 06 yang berjarak 7 meter dari pintu tunnel dengan ketinggian lereng 23.2 meter. Kondisi lereng lokasi penelitian dan geometri lereng pada lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 6 dan 7 di bawah ini:



**Gambar 6.** Kondisi Lereng Lokasi Penelitian



**Gambar 7.** Geometri Lereng Blok Bukit Rahmat

### 5.2 Pemodelan Lereng

#### 5.2.1 Parameter Pengujian Laboratorium Geoteknik

##### 5.2.1.1 Lereng Material Tanah

##### 5.2.1.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah akan menghasilkan nilai kadar air, berat jenis dan bobot isi tanah. Bobot isi merupakan salah satu parameter yang penting dalam analisis kestabilan lereng. Nilai bobot isi dibagi atas nilai bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*) dan bobot isi jenuh (*saturated density*). Pengujian sifat fisik tanah berdasarkan persamaan di bawah ini:

1. Kadar air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kadar air dari sampel yang diuji. Untuk menghitung kadar air, dibutuhkan persamaan:

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

Sehingga hasil uji kadar air dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 2.** Hasil Uji Kadar Air

NO	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Tanah Asli (gr)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	Kadar Air (%)
1	5,33	17,85	15,21	26,72
2	5,30	17,21	14,78	24,52
3	5,35	18,11	15,37	27,14
Rata-Rata				26,13

2. Berat Jenis

Pengujian sifat fisik tanah selanjutnya yaitu pengukuran berat jenis. Pengukuran berat jenis dibutuhkan persamaan sebagai berikut:

$$G_{s1} = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) + (W_4 - W_3)}$$

Hasil perhitungan berat jenis tanah dapat dijelaskan pada tabel 3 berikut ini:

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Berat Jenis

No	Berat piknometer W1 (g)	Berat sampel + piknometer W2 (g)	Berat + air + piknometer W3 (g)	Berat air + piknometer W4 (g)	Berat Jenis
1	38,16	50,30	142,77	135,80	2,35
2	48,76	62,06	152,86	145,60	2,20
3	30,11	44,10	136,61	128,20	2,50
Rata-Rata					2,35

3. Bobot Isi

Bobot isi merupakan salah satu parameter dari hasil uji sifat fisik tanah dalam analisis kestabilan lereng. Bobot isi yang dibutuhkan adalah bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh. Hasil dari uji sifat fisik tanah dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini

**Tabel 4.** Hasil Bobot Isi Tanah Asli

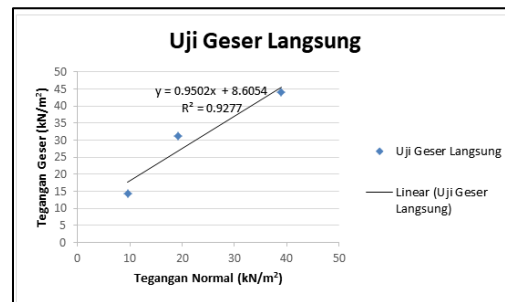
No.	Parameter Sifat Fisik	Nilai
1	Kadar air	26,13%
2	Berat Jenis	2,35
3	Bobot Isi Asli	18,88 kN/m <sup>3</sup>
4	Bobot Isi Kering	17,51 kN/m <sup>3</sup>
5	Bobot Isi Jenuh	22,29 kN/m <sup>3</sup>

5.2.1.2.1 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

Pengujian sifat mekanik tanah akan menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser dalam. Untuk menentukan sifat mekanik tanah maka dilakukan uji geser langsung tanah. Pada pengujian ini, nilai kohesi diperoleh dari hasil korelasi antara tegangan normal (sumbu x) dan tegangan geser (sumbu y), kemudian garis korelasi atau regresi ditarik lurus sampai menyentuh sumbu y dan nilai yang menyentuh sumbu y disebut kohesi. Sedangkan untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari regresi antara tegangan geser dan tegangan normal, yaitu tarik garis lurus dari sumbu y kemudian ukur dengan busur sudut yang dibentuk dengan itulah nilai sudut geser dalam. Hasil uji sifat mekanik tanah dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah

No.	Beban Normal (Kg)	Tegangan Normal (kN/m <sup>2</sup> )	Pembacaan Dial	Beban Geser (Kg)	Tegangan Geser (kN/m <sup>2</sup> )
1	3,15	9,604	9,5	4,45	13,916
2	6,30	19,208	17	7,9	24,108
3	12,8	39,004	31	14,5	44,198



**Gambar 8.** Uji Geser Langsung Tanah

5.2.1.3 Lereng Material Batuan

5.2.1.3.1 Sifat Fisik Batuan

Salah satu parameter penting dalam melakukan analisis kestabilan lereng adalah pengujian sifat fisik dari lereng tersebut. Pada penelitian ini, salah satu yang menjadi material penyusun lereng adalah material batuan. Maka dari itu dibutuhkan pengujian sifat fisik batuan untuk mengetahui berapa nilai dari kekuatan alami batuan tersebut, dalam hal ini adalah batuan sandstone. Pengujian sifat fisik batuan akan menghasilkan nilai bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh dari batuan

tersebut. Hasil pengujian sifat fisik batuan dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini:

**Tabel 6.** Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

No	Sifat Fisik	SAMPEL					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	Bobot Isi Asli (gr/cm <sup>3</sup> )	2,77	2,61	1,88	2,34	2,06	2,332
2	Berat Isi Jenuh (gr/cm <sup>3</sup> )	2,80	2,66	1,93	2,38	2,10	2,373
3	Bobot Isi Kering (gr/cm <sup>3</sup> )	2,74	2,59	1,61	2,31	2,04	2,256

5.2.1.3.2 Sifat Mekanik Batuan

Pengujian sifat mekanik batuan ini dilakukan dalam bentuk dua buah pengujian, yang pertama pengujian point load index dan pengujian kuat geser langsung batuan. Pengujian sifat mekanik ini dilakukan di laboratorium teknik pertambangan Universitas Negeri Padang.

1. Point Load Index

Hasil Pengujian *point load index* dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini:

**Tabel 7.** Hasil Pengujian *Point Load Index*

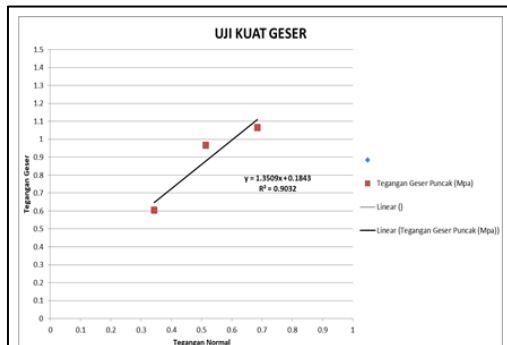
No.	Parameter				
	D (cm)	F	P (Kg)	Is (Kg/cm <sup>2</sup> )	σc (Mpa)
1	2,7	0,7578	138,7	14,418	32,498
2	2,8	0,7703	145,2	14,266	32,156
3	2,9	0,783	153,2	14,263	32,150
Rata-Rata				14,316	32,268

2. Pengujian Kuat Geser Batuan

Hasil pengujian kuat geser batuan dapat dilihat pada tabel 8 di bawah ini:

**Tabel 8.** Hasil Uji Kuat Geser

Lithology	Tegangan Geser	Kohesi (Mpa)	Sudut Geser Dalam (°)
Sandstone	Puncak	0,1843	53,4894°



**Gambar 9.** Grafik Uji Geser Langsung Batuan

5.2.2 Material Properties

Material properties pada penelitian ini menggunakan 2 material yaitu tanah dan batuan. Data yang digunakan meliputi bobot isi asli, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Nilai yang dipakai sebagai data awal material properties adalah nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium. Untuk material batuan parameter kohesi dan sudut geser dalam digunakan nilai puncak dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik.

**Tabel 9.** Input Data *Material Properties*

Lithology	Bobot Isi Asli (kN/m <sup>3</sup> )	Bobot Isi Jenuh (kN/m <sup>3</sup> )	Kohesi (Kn/m <sup>2</sup> )	Sudut Geser Dalam (°)
Tanah tumpukan	18,88	22,29	8,6054	43,54°
Sandstone	22,85	23,26	184,3	53,4894°

5.3 Klasifikasi Massa Batuan

Pada penelitian ini, klasifikasi massa batuan berdasarkan dengan metode Rock Mass Rating (RMR). Dalam penerapannya klasifikasi ini membutuhkan beberapa parameter yang telah diketahui berapa jumlah bobot yang dijumlahkan sehingga total bobot tersebut dapat menentukan kelas massa batuan berdasarkan teori Bieniawski.

Berdasarkan hasil perhitungan klasifikasi massa batuan diatas maka diketahui nilai rock mass rating (RMR) di area kajian yakni sebesar 74. Pada tabel 29 berikut merupakan arti dari nilai rock mass rating (RMR) tersebut:

**Tabel 10.** Kelas Batuan Menurut Metode RMR

Parameter	Bobot				
Nilai RMR	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	< 20
Nomor Kelas RMR	I	II	III	IV	V
Nilai GSI	76 - 95	56 - 75	36 - 55	21 - 35	< 20
Kualitas Massa Batuan	Sangat baik	Baik	sedang	Buruk	Sangat buruk

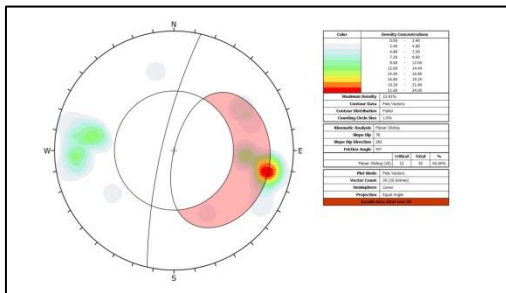
5.4 Pengolahan Data Kekar untuk Metode Stereografis Analisa Kinematik

Data yang dibutuhkan dalam melakukan analisa kinematik ini adalah data berupa strike, dip, dip direction serta kondisi bidang diskontinu menggunakan metode scanline maka yang didapat pada pengukuran langsung di lapangan. Pengolahan data ini



membutuhkan bantuan Software Stereonets Dips untuk melihat orientasi penyebaran bidang diskontinuitas pada stereonets. Tujuan utama dari pengolahan data diskontinuitas ini adalah untuk melihat orientasi mayor dan minornya.

Pengamatan lereng dilokasi penelitian menggunakan scanline dengan point station dapat diketahui bahwa kedudukan lereng pengamatan adalah N 283o E/78o. Data strike, dip, dip direction dari tiap-tiap kekar dapat dilihat pada lampiran 5. Setelah seluruh data kekar diambil maka dilakukan proses pengelompokan data kekar dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Stereonets dan Dips. Untuk mendapatkan set diskontinuitas pada kekar, berikut ditampilkan pada gambar 25 di bawah ini.



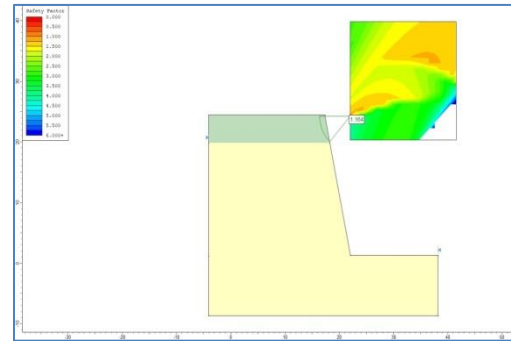
**Gambar 10.** Hasil Plot Diskontinuitas Scanline

Berdasarkan hasil plot bidang diskontinuitas berdasarkan software dips maka didapat potensi longsoran yang akan terjadi pada daerah penelitian yaitu berupa longsoran bidang dengan tingkat kemungkinan terjadi menurut stereonets dips adalah 40%.

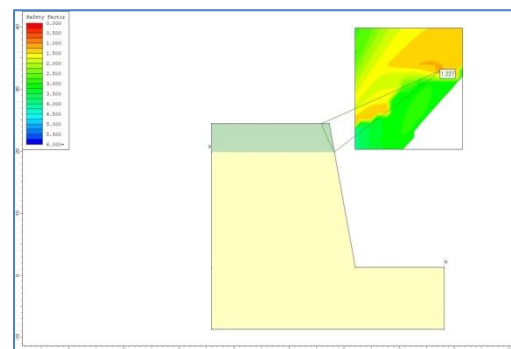
**5.5 Analisis Kestabilan Lereng**

**5.5.1 Analisis Kestabilan Lereng Aktual**

Analisis kestabilan lereng dengan ketinggian lereng 23,2 m dan kemiringan lereng 78° didapatkan rekomendasi lereng aktual menggunakan metode *simplified bishop* dan *simplified janbu* sebagai berikut:

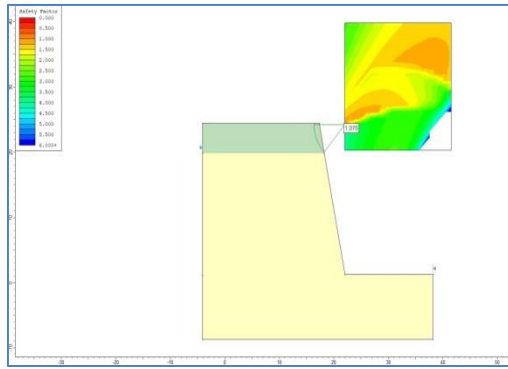


**Gambar 11.** Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Natural Menurut Metode *Simplified Bishop*

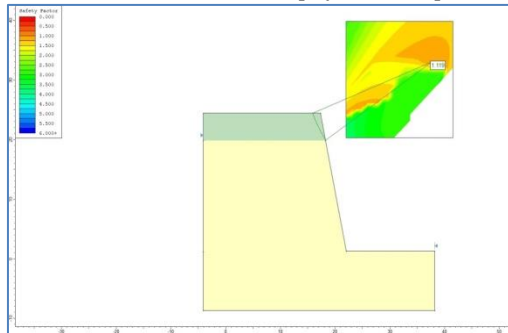


**Gambar 12.** Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Natural Menurut Metode *Simplified Janbu*

Hasil analisis kestabilan lereng dalam keadaan natural menggunakan metode *simplified bishop* nilai dari faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,164 dan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode *simplified janbu* faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,227. Maka dari itu dibutuhkan analisis kestabilan lereng dalam keadaan jenuh. Hasil analisis lereng dalam keadaan jenuh dapat dilihat pada gambar 13 dan 14 di bawah ini:

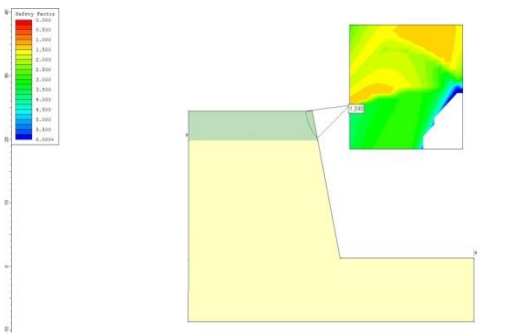


**Gambar 13.** Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Jenuh Menurut Metode *Simplified Bishop*

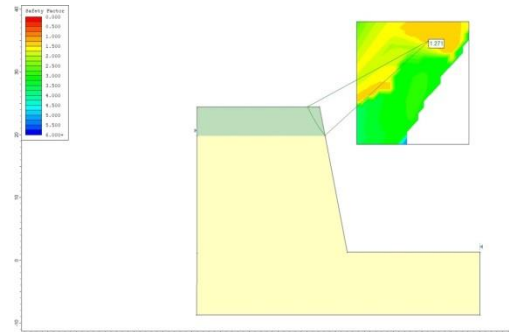


**Gambar 14.** Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Jenuh Menurut Metode *Simplified Janbu*

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dalam keadaan jenuh menggunakan metode *simplified bishop* nilai dari faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,076 dan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode *simplified janbu* faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,119.



**Gambar 15.** Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Kering Menurut Metode *Simplified Bishop*



**Gambar 16.** Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Kering Menurut Metode *Simplified Janbu*

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dalam keadaan kering menggunakan metode *simplified bishop* nilai dari faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,240 dan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode *simplified janbu* faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,271.

Nilai faktor keamanan tersebut menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan kritis. Hasil dari analisis lereng menggunakan software *rocscience slide* diketahui lokasi dari FK tersebut berada pada material tanah. Hal ini menunjukkan bahwa nilai FK dari lereng bermaterial batuan lebih besar dari nilai FK lereng bermaterial tanah. Maka dapat disimpulkan hasil analisis lereng aktual, FK kritis berada pada lereng bermaterial tanah dan lereng bermaterial batuan diketahui lebih aman daripada lereng bermaterial tanah.

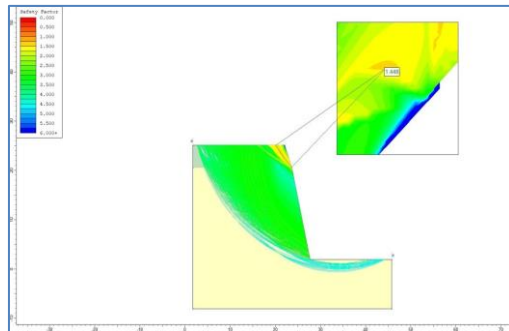
### 5.5.2 Analisis dan Rekomendasi Geometri Lereng

Analisa kestabilan lereng pada area penelitian diperlukan agar keadaan dari lereng tersebut menjadi lebih aman. Maka dilakukan analisis kestabilan lereng dengan bantuan software *slide 6.0* menggunakan metode *simplified bishop* untuk mempermudah perhitungan faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut. Oleh karena itu, penulis akan melakukan modifikasi atau perubahan pada geometri lereng. Sudut lereng yang aman untuk tinggi lereng tertentu dipengaruhi oleh karakteristik material penyusun lereng. Setelah dilakukan rekomendasi menggunakan bantuan software *slide 6.0* diketahui beberapa nilai faktor keamanan dengan tingkatan seperti pada tabel 11 dibawah ini:

**Tabel 11.** Rekomendasi Geometri Lereng Tunggal

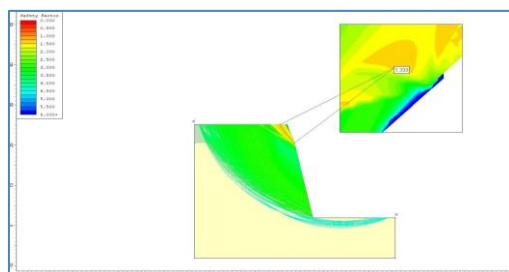
Tinggi Lereng	Sudut Lereng	Faktor Keamanan Jenuh
23.2 m	78°	1.076
	77°	1.150
	76°	1.184
	75°	1.204
	74°	1.249
	73°	1.256
	72°	1.299
	71°	1.333

Berdasarkan simulasi menggunakan bantuan software slide 6.0 yang telah dilakukan, maka didapatkan FK aman bagi lereng dalam kondisi jenuh dengan ketinggian 23,2 meter dengan kemiringan lereng 71° adalah FK sebesar 1,333. Hasil input data dengan sudut lereng 71° untuk kondisi natural dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini:



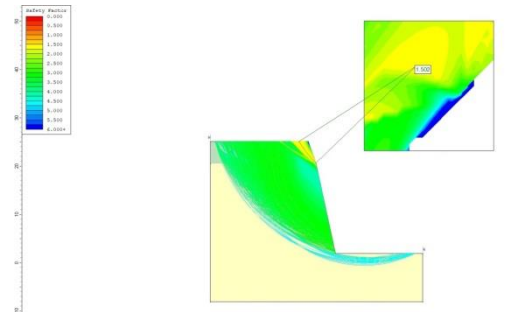
**Gambar 17.** Hasil Rekomendasi Lereng Natural

Berdasarkan rekayasa geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan natural berdasarkan hasil analisis software slide 6.0 didapat hasil faktor keamanan (FK) 1,448 dengan tinggi lereng 23,2 m dan kemiringan lereng 71° maka keadaan lereng tambang menjadi aman. Rekomendasi untuk lereng tunggal dalam kondisi jenuh untuk mendapatkan nilai FK aman dengan ketinggian lereng 23,2 m dan sudut 71° dan hasil input data dapat dilihat pada gambar 16.



**Gambar 18.** Hasil Rekomendasi Lereng Jenuh

Berdasarkan rekayasa geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan jenuh berdasarkan hasil analisis software slide 6.0 didapat hasil faktor keamanan (FK) 1,333 dengan tinggi lereng 23,2 m dan kemiringan lereng 71° maka keadaan lereng tambang menjadi aman.



**Gambar 19.** Hasil Rekomendasi Lereng Kering

Berdasarkan rekayasa geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan jenuh berdasarkan hasil analisis software slide 6.0 didapat hasil faktor keamanan (FK) 1,502 dengan tinggi lereng 23,2 m dan kemiringan lereng 71° maka keadaan lereng tambang menjadi aman.

**5.6 Pembahasan**

Berdasarkan hasil dari pengolahan orientasi bidang diskontinu menggunakan analisis stereografis arah dan tipe longsor adalah longsor bidang untuk lereng material batuan. Berdasarkan pengelompokan kelas massa batuan yang dilakukan untuk mengetahui klasifikasi massa batuan diperoleh hasil kelas batuan berada pada kelas II yang menunjukkan kualitas massa batuan dalam golongan baik.

Hasil analisis kestabilan lereng aktual dengan ketinggian lereng 23,2 m dan kemiringan 78° untuk material tanah nilai bobot isi asli sebesar 18,88 kN/m<sup>3</sup> dan nilai bobot isi jenuh sebesar 22,29 kN/m<sup>3</sup>, nilai kohesi sebesar 8,6054 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam 43,54°. Hasil analisis kestabilan lereng aktual lereng bermaterial batuan dengan geometri yang sama, memiliki nilai bobot isi asli 2,332 kN/m<sup>3</sup> dan nilai bobot isi jenuh 2,373 kN/m<sup>3</sup>, nilai kohesi sebesar 184,3 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam sebesar 53,4894°. Dari nilai tersebut maka didapat nilai faktor keamanan (FK) aktual dalam keadaan natural

menurut *simplified bishop* sebesar 1,164 dan menurut *simplified janbu* nilai FK lereng sebesar 1,227 dan FK lereng dalam keadaan kering menurut *simplified bishop* sebesar 1,240 dan menurut *simplified janbu* sebesar 1,271 dan FK lereng dalam keadaan jenuh menurut *simplified bishop* sebesar 1,076 dan menurut *simplified janbu* sebesar 1,119.

Maka dapat disimpulkan bahwa lereng dalam keadaan natural maupun dalam keadaan jenuh menunjukkan keadaan tidak aman, dan bagian lereng yang tidak aman tersebut melalui analisis menggunakan software slide 6.0 diketahui berada pada lereng dengan material tanah. Berdasarkan KEPMEN No. 1827 tahun 2018 faktor keamanan (FK) lereng tunggal agar menjadi stabil faktor keamanan lereng tersebut menjadi 1,1. Namun pada penelitian ini, penulis tidak mengkaji tentang probabilitas kelongsoran sehingga untuk menghindari resiko kelongsoran, penulis merekomendasikan lereng hingga mencapai FK 1,3. Maka dilakukan pemodelan dengan cara menurunkan kemiringan lereng.

Melalui analisis menggunakan software slide 6.0 maka didapatkan rekomendasi kemiringan lereng sebesar 71° dan nilai FK keadaan natural yang dihasilkan adalah sebesar 1,448, FK lereng dalam keadaan kering sebesar 1,502 dan dalam FK lereng dalam keadaan jenuh dihasilkan adalah sebesar 1,333. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 12 di bawah ini:

**Tabel 12.** Rekomendasi Geometri Lereng Tunggal

Ketinggian	Sudut	FK Lereng keadaan Kering	FK Lereng Keadaan Natural	FK Lereng Keadaan Jenuh
23,2 m	71°	1,502	1,448	1,333

## 6. Kesimpulan Dan Saran

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisa yang dilakukan pada lokasi penelitian area Blok Bukit Rahmat pada PT. Cahaya Bumi Perdana, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya yaitu: Hasil perhitungan menggunakan metode trial and error dengan menggunakan empat parameter kualitas batubara dan permintaan konsumen:

1. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Material
  - a. Tanah
    - 1) Pengujian sifat fisik
      - a) Nilai rata-rata bobot isi asli yaitu sebesar 18,88 kN/m<sup>3</sup>.
      - b) Nilai rata-rata bobot isi kering yaitu sebesar 17,51 kN/m<sup>3</sup>.
      - c) Nilai rata-rata bobot isi jenuh yaitu sebesar 22,29 kN/m<sup>3</sup>
    - 2) Pengujian sifat mekanik  
Nilai yang didapatkan pada pengujian sifat mekanik adalah nilai kohesi sebesar 8,6054 kN/m<sup>2</sup> dan nilai sudut geser dalam sebesar 43,54°.
  - b. Batuan
    - 1) Pengujian sifat fisik
      - a) Nilai rata-rata bobot isi asli yaitu sebesar 22,85 kN/m<sup>2</sup>
      - b) Nilai rata-rata bobot isi jenuh yaitu sebesar 23,25 kN/m<sup>2</sup>
      - c) Nilai rata-rata bobot isi kering yaitu sebesar 22,11 kN/m<sup>2</sup>
    - 2) Pengujian sifat mekanik
      - a) Nilai  $\sigma_c$  adalah 32,498 Mpa.
      - b) Nilai kohesi (c) adalah 0,1843
      - c) Nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) adalah 53,4894°.
2. Berdasarkan 6 parameter klasifikasi massa batuan dengan metode RMR, maka didapatkan nilai pembobotan 74 dan batuan ini digolongkan pada kelas II dengan kualitas batuan baik.
3. Potensi longsoran yang mungkin akan terjadi berdasarkan arah strike dan dip bidang diskontinu menunjukkan adanya potensi longsoran bidang dengan persentase kemungkinan 40%.
4. Hasil rekomendasi lereng berupa:
  - a. Rekomendasi lereng dalam keadaan natural dengan ketinggian 23,2 m dan kemiringan lereng 71°, maka didapatkan nilai FK 1,448
  - b. Rekomendasi lereng dalam keadaan natural dengan ketinggian 23,2 m dan kemiringan lereng 71°, maka didapatkan nilai FK 1,502
  - c. Rekomendasi lereng dalam keadaan jenuh dengan ketinggian 23,2 m dan kemiringan lereng 71°, maka didapatkan nilai FK 1,333

## 6.2 Saran

1. Perubahan geometri lereng ini perlu dilakukan agar pada saat melakukan proses penambangan para karyawan yang ada merasa aman dan nyaman.
2. Pengontrolan, pemeliharaan dan pengawasan terhadap keadaan sekitar lereng harus sering diperhatikan untuk mengurangi atau menghindari hal yang tidak diinginkan.
3. Perlunya ketelitian dalam pengambilan data dilapangan dan proses pengujian dilaboratorium dan pengolahan data pada software lainnya agar hasil diperoleh lebih detail dan akurat.

## Daftar Pustaka

- [1] Arif Irwandi. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- [2] Dokumen PT. Cahaya Bumi Perdana
- [3] Putra Suryadi & Bambang Heriyadi. 2018. "Analisis Balik Kestabilan Lereng Penampang A Dan Penampang B Area Lowwall Tambang Batubara Pada Pit X PT. Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur". Jurnal.Bina Tambang Vol 4 No 1
- [4] Fikri, M. Adli, Heriyadi, Bambang, Heri Prabowo. 2018. "Analisis Stabilitas Lereng pada Pit Tambang Air Laya Barat Section C-C' PT. Bukit Asam (Persero) Tbk" Sumatera Selatan. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [5] Husein, D., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. 2018. "Slope Stability Analysis at Pit Al-Blok B PT. Anugrah Alam Andalas Muara Ketalo Village, Sungai Bengkal, Tebo Ilir Subdistrict, Tebo District, Jambi Province", Bina Tambang, 3(1), 504-523
- [6] Byrne P.M, Oldric Hungr, F.M Saalgado. 2011. 10. Evaluation of a Three-dimensional method of slope stability analysis. Thurber Consultants, dan University of British Columbia, Canada : Canadian Geotechnical Journal.
- [7] Sonny Prayoga. 2005. "Analisa Kestabilan Lereng Dinding Akhir Di Pit AB Monyet PT. KPC, Sangatta, Kalimantan Timur". Skripsi tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran": Yogyakarta.
- [8] Kosim G.G, Maryanto & Dono Guntoro. "Analisis Balik Longsoran Lowwall Pit B3 di Tambang Batubara PT. BJA menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo". Jurnal. Prosiding Penelitian Sivitas Akademika Unisba. ISSN:2460-6499. Hlm. 42- 50.
- [9] Muntaha Mohammad. 2016. "Studi Kestabilan Lereng Alam Tambang Terbuka (Studi kasus: lereng tambang batu kapur Lamongan dan Madura)". Jurnal. Aplikasi Teknik Sipil.Vol 14 No 1
- [10] Fenton Gordon A, D.V. Griffiths. 2004. Probabilistic Slope Stability Analysis by Finite Elements. Colorado School of Miners dan Dalhousie University. Canada dan USA : Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- [11] Bieniawski, ZT. Engineering Rock Mass Classification. John Willey & Sons, 1989.
- [12] Satria, Rinaldi. 2015. "Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Kualitas Massa Batuan di Area Tambang Terbuka Batubara PT. Karya Hasil Utama, Kabupaten Sijunjung, Provinsi Sumatera Barat." Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- [13] Pu-Sheng Shen, Dai Zi-Hang. 2002. "Numerical Solution of Simplified Bishop Method for Stability Analysis of Soil Slopes. Department of Civil Engineering of Hunan University.China : Journal of Rock and Soil Mechanics
- [14] Rajagukguk, Octovian Cherianto Parluhutan, Turangan A.E, Sartje Monintja. 2014. "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m)" Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.3.
- [15] Song Jiang Bing, Kang-Wei.2008. "Analytical Formulation of Bishop's



Method for Calculating Slope Stability".  
China University of Mining &  
Technology, School of Architecture and  
Civi Engineering. China : Journal of  
China University of Mining &  
Technology

- [16] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral  
Republik Indonesia. 2018. Kepmen  
ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018:  
Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik  
Pertambangan yang Baik. Lampiran II.