

# Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang di Area Zona 4 PT. Bintang Sumatra Pasifik di Koto Alam Kabupaten 50 Kota

Ahmat Torkis Zudri\*, Yoszhi Mingsi Anaperta\*\*

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

\*[torkiszudri@gmail.com](mailto:torkiszudri@gmail.com)

\*\*[yosziperta@ft.unp.ac.id](mailto:yosziperta@ft.unp.ac.id)

**Abstract.** The company has not yet carried out a geotechnical plan regarding the stability of the slopes in the mining area. The slope geometry planning will be used by the Bishop Simplified and Janbu Simplified methods. Data clay : Unit Wight ( $\gamma$ ) = 19.67 kN / m<sup>3</sup>, Cohesion ( $c'$ ) = 30.1 kN / m<sup>2</sup> and inner shear angle ( $\phi'$ ) = 38.06 °. The initial slope height is 11 meters and the overall slope angle is 59°. Recommended slope geometry: 1. The Bishop Simplified method FK saturated conditions of 0.996 unsafe slopes, reduction of slope angles from 59 ° to 46 ° height of 11 meters, FK 1,339 safe slopes. 2. Janbu Simplified Method saturated FK 0.955 unsafe slope condition, slope angle from 59 ° to 44 ° with 11 meters height, then FK 1.34 slope in safe condition.

**Keywords:** initial geometry, simplified bishop, simplified janbu, safety factor.

## 1 Pendahuluan

PT. Bintang Sumatra Pasifik melakukan penambangan dengan metode tambang terbuka dengan cara memotong bukit (*quarry*). Dalam IUP penambangan yang dimiliki PT. Bintang Sumatera Pasifik memiliki zona loading material terdiri dari zona 1, zona 2, zona 3. Pada bulan september 2017 PT. Bintang Sumatera Pasifik mengalami *slowdown*, selama mengalami *slowdown* perusahaan menghentikan sementara aktivitas penambangan dan menghentikan produksi. Pada bulan juli 2018 PT. Bintang Sumatera Pasifik kembali melakukan aktivitas penambangan dengan membuka lokasi area *loading* baru di zona 4. Pada lokasi jalan penambangan PT. Bintang Sumatera Pasifik ada hal yang menarik dimana dalam pembuatan lereng jalan tersebut belum mempertimbangkan sudut kemiringan lereng.



**Gambar 1.** Kondisi lereng jalan pada zona 4<sup>[1]</sup>

Perusahaan belum melakukan permodelan desain lereng sehingga terjadi longsoran pada tanggal 6 november 2018 pada lereng zona 4 adalah longsoran

busur, hal ini disebabkan oleh jenis material yang lunak (*loose material*) dan bidang diskontinu yang rapat dan acak. Jika melihat dari longsoran yang terjadi (*failure history*), material yang bersifat *loose*, pelapukan material yang kuat, serta terdapatnya bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*) dan tidak dapat dikontrol maka longsoran yang mungkin terjadi berupa longsoran busur.

Penelitian ini mencoba menganalisis kestabilan lereng untuk memperoleh *design* dan faktor keamanan pada lereng *soil* tersebut. Longsoran lereng dianalisis dari parameter masukan dan data yang di uji untuk mendapatkan geometri lereng optimum untuk perusahaan. Dengan melakukan penelitian di aspek-aspek tersebut maka bisa didapatkan beberapa tujuan. Adapun tujuan penelitian penelitian ini ialah:

1. Mendapatkan nilai sifat fisik dan mekanik material lereng jalan di area zona 4 PT. Bintang Sumatera pasifik.
2. Mendapatkan nilai faktor keamanan aktual pada analisis kestabilan lereng jalan pada area zona 4 PT. Bintang Sumatera pasifik.
3. Mendapatkan geometri lereng jalan di area zona 4 PT. Bintang Sumatera Pasifik dalam keadaan jenuh, setengah jenuh dan kering.

## 2 Kajian Teori

### 2.1 Deskripsi Perusahaan

PT. Bintang Sumatra Pasifik merupakan salah satu perusahaan swasta di provinsi Sumatera Barat yang bergerak di bidang pertambangan dan pengolahan. Pada tahun 2009, PT. Bintang Sumatra Pasifik lebih dikenal dengan nama PT. BSP, memulai pekerjaan penambangan batu gunung dan membuka pengolahan batu dengan berbekal pengalaman, dan didukung oleh para staff ahli yang profesional. Kegiatan penambangan PT. Bintang Sumatra Pasifik menggunakan metode penambangan dengan

sistem tambang terbuka (*open pit mining system*). Dengan metode tambang terbuka, maka resiko dapat diperkecil dan biaya yang dikeluarkan lebih ekonomis. Saat ini Kabupaten LimaPuluh Kota berupaya untuk lebih mengembangkan berbagai sektor pembangunan yang diharapkan dapat meningkatkan perekonomian daerah. Diantaranya dengan memanfaatkan potensi sektor tambang yang diperkirakan mempunyai prospek yang lebih baik untuk meningkatkan perekonomian daerah dan masyarakat setempat. PT. Bintang Sumatra Pasifik bergerak dalam kegiatan penambangan batu andesit yang merupakan salah satu potensi paling besar yang berada di Kabupaten Limapuluhkota. Usaha ini telah mendapatkan respon positif dari Pemerintahan Kabupaten Limapuluhkota. Terbukti dengan dikeluarkannya Surat Keputusan Bupati Limapuluhkota pada tanggal 30 April 2010, PT. Bintang Sumatra Pasifik ini telah memiliki Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi dengan **No.04/IUP/KPPT-LK/2010**.

Sekarang telah diperbarui Izin Usaha Pertambangan dengan **No.17/BPMPPT-LK/2013** yang ditetapkan oleh Bupati Limapuluhkota pada tanggal 8 Maret 2013 dan pada tahun 2012 PT. Bintang Sumatra Pasifik membuka tambang baru dengan **No.77/BPMPPT-LK/2013**. Berdasarkan Surat Keputusan Bupati Limapuluhkota, PT. Bintang Sumatra Pasifik melakukan kegiatan eksplorasi dan penambangan batu andesit seluas 6 Ha di Jorong Pauah Anok, Nagari Manggilang, Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Limapuluhkota, Provinsi Sumatera Barat. Penambangan pada PT. Bintang Sumatra Pasifik selalu berpedoman pada dokumen Upaya Pengawasan Lingkungan (UPL) dan Upaya Kelola Lingkungan (UKL) yang telah disusun. Penyusunan dokumen tersebut sebagai acuan pengelolaan dan pemantauan mulai dari kegiatan persiapan sampai ke tahap penambangan. Dengan demikian dampak negatif dapat diminimalisir dan dampak positif dapat lebih dikembangkan agar pembangunan yang berwawasan lingkungan dapat diwujudkan.

### 2.2 Landasan Teori

#### 2.2.1 Kestabilan Lereng

Kestabilan dari suatu jenjang individual dikontrol oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada daerah tersebut, kondisi air tanah setempat, dan juga oleh teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda, dan sangat penting untuk memberikan aturan yang umum, untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu akan stabil.

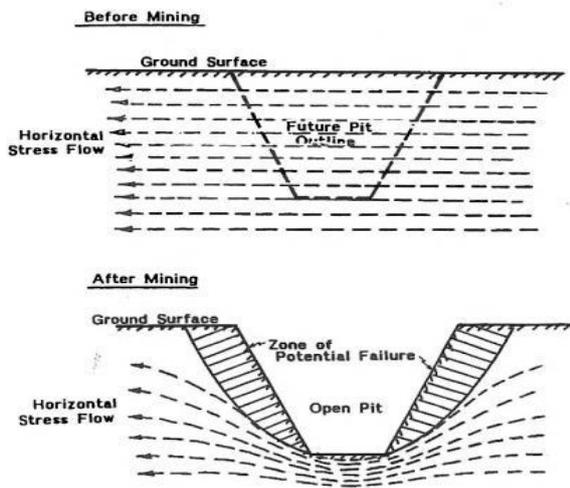
Apabila kestabilan dari suatu jenjang dalam operasi penambangan meragukan, maka kestabilannya harus dinilai berdasarkan dari struktur geologi, kondisi air tanah dan faktor pengontrol lainnya yang terjadi pada suatu lereng. Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor.

Analisa kestabilan lereng dilakukan untuk menilai tingkat kestabilan suatu lereng. Istilah kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuh (*collapsing*) dan gelinciran (*sliding*).<sup>[2]</sup>

Dalam hal ini setiap permukaan tanah yang memiliki kemiringan terhadap garis horizontal disebut lereng, baik alami maupun buatan manusia. Karena lereng tidak horizontal, melainkan membentuk sudut, akan timbul suatu gaya penggerak akibat adanya gravitasi dan cenderung membuat blok di atas permukaan miring tersebut bergerak menuruni lereng.

Umumnya material di alam dalam keadaan stabil dengan distribusi tegangan dalam keadaan setimbang (*equilibrium*). Adanya penggalian untuk penambangan menyebabkan terjadinya distribusi tegangan baru. Hilangnya *overburden* juga akan menyebabkan berkurangnya tegangan vertikal, munculnya rekahan akibat penghilangan tegangan, dan terbukanya kekar-kekar sehingga nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah dan batuan menurun. Air tanah juga dapat dengan mudah melewati rekahan-rekahan yang ada dan menyebabkan turunnya tegangan normal efektif pada bidang-bidang yang berpotensi runtuh. Semakin dalam tambang digali, zona tanpa tegangan ini akan semakin besar sehingga runtuhannya dapat menjadi lebih buruk.

Seperti pada gambar 2 di bawah ini redistribusi tegangan horizontal akibat penggalian tambang.<sup>[3]</sup>



**Gambar 2.** Redistribusi Tegangan Horizontal Akibat Penggalian Tambang

Sebenarnya longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Dalam menentukan kestabilan atau kemandapan lereng dikenal istilah **Faktor Keamanan (Safety Factor)**, yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan massa batuan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan massa batuan atau tanah tersebut.

kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$\text{Faktor keamanan (FK)} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

Keterangan:

- FK > 1,0 : lereng dianggap stabil
- FK = 1,0 : lereng dalam keadaan seimbang dan siap untuk bergerak apabila ada sedikit gangguan
- FK < 1,0 : lereng dianggap tidak stabil.

Apabila nilai FK untuk suatu lereng > 1,0 (gaya penahan > gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Namun, apabila harga FK < 1,0 (gaya penahan < gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsoran pada lereng tersebut.

Kondisi seperti diatas FK = 1,0 tidak dikehendaki, kerana apabila terjadi pengurangan gaya penahan atau penambahan gaya penggerak sekecil apapun lereng akan menjadi tidak mantap dan longsoran segera terjadi. Karena itu harga FK selalu dibuat lebih dari 1,0 (untuk lereng sementara/front penambangan FK = 1,3, untuk lereng permanen FK = 1,5, dan untuk bendungan FK ≥ 2,0). Seperti pada tabel 5 di bawah ini hubungan nilai FK dan kemungkinan kelongsoran lereng tanah.

**Tabel 1.** Hubungan nilai FK dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng Tanah

Nilai Fk	Kemungkinan Longsor
< 1,07	Kelongsoran biasa terjadi
1,07 < Fk < 1,25	Kelongsoran pernah terjadi
> 1,25	Kelongsoran jarang terjadi

Apabila FK lereng > 1,25 yang berarti gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng dalam keadaan stabil. Begitu sebaliknya bila nilai FK < 1,07 maka lereng tidak stabil dan rawan terjadi longsor. Jika nilai kestabilan lerengnya 1,07 < FK < 1,25 dimana FK yang mempunyai nilai antara 1.07 dan 1.25 maka lereng tersebut berada dalam keadaan kritis.<sup>[5]</sup>

Kondisi 1,07 < FK < 1,25 tetap tidak dikehendaki, karena apabila terjadi pengurangan terhadap gaya penahan atau penambahan gaya penggerak sekecil apapun, lereng menjadi tidak stabil dan rawan longsor. Oleh karena itu, nilai FK selalu dibuat lebih dari 1,25.

## 2.2.2 Parameter tanah

Untuk analisis stabilitas lereng diperlukan parameter tanah/batuan.

### 2.2.2.1 Kuat geser

Kuat geser terdiri dari kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Untuk analisis stabilitas lereng untuk jangka panjang digunakan harga kuat geser efektif maksimum ( $c, \phi$ ). Untuk lereng yang sudah mengalami gerakan atau material pembentuk lereng yang mempunyai diskontinuitas tinggi digunakan harga kuat geser sisa ( $c_r = 0; \phi_r$ ).

### 2.2.2.2 Berat Isi

Berat isi diperlukan untuk perhitungan beban guna analisis stabilitas lereng. Berat isi dibedakan menjadi berat isi asli, berat isi jenuh, dan berat isi terendam air yang penggunaannya tergantung kondisi lapangan.

Kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dengan rumus:

$$S = C' + (\tau - \mu) \tan \phi \quad (2)$$

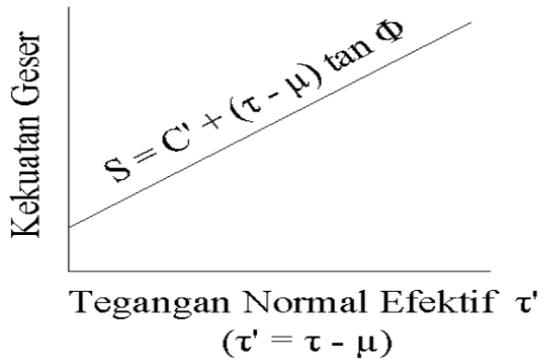
dimana: S = kekuatan geser

$\tau$  = tegangan total pada bidang geser

$\mu$  = tegangan air pori

C' = kohesi efektif

$\phi$  = sudut geser dalam efektif



Gambar 3. Kekuatan Geser Tanah

### 2.2.3 Klasifikasi Berat Isi Tanah dan Batuan

Klasifikasi berat isi tanah asliserta faktor pengembangannya dapat dilihat seperti tabel berikut:

Tabel 2. Berat Isi Tipikal Tanah Asli Dan Faktor Pengembangan

Jenis	Berat Isi Asli (gram/cm <sup>3</sup> )	Pengembangan (%)
<b>Tanah</b>		
Pasir bergradasi seragam, lepas	1.60-1.90	10-15
Pasir bergradasi seragam, padat	1.65-2.10	10-15
Pasir bergradasi menerus, lepas	1.75-2.20	10-15
Pasir bergradasi menerus, padat	1.90-2.25	10-15
Kerikil	1.70-2.25	10-15
Kerikil kepasiran	1.90-2.25	10-15
Lempung lunak ( <i>soft</i> )	1.60-1.95	20-40
Lempung sedang ( <i>firm</i> )	1.75-2.10	20-40
Lempung kokoh ( <i>stiff</i> )	1.80-2.25	20-40
Lempung mengandung kerikil	1.65-2.30	20-40
Lempung organic	1.40-1.60	20-40
Lempung <i>glacial</i>	1.75-2.10	20-40
Loam	1.50-1.60	25-35
Peat	1.05-1.40	25-35
Topsoil	1.35-1.40	25-35
<b>Batuan</b>		
Granit ( <i>granite</i> )	2.60-2.70	50-80
Basalt/ <i>dolerite</i> ( <i>basalt/dolerite</i> )	2.70-2.90	50-80
Gabro	2.80-3.00	50-80
Gneiss	2.70-2.90	30-65

<i>Schist and Slate</i>	2.70-2.90	30-65
<i>Quartite</i>	2.60-2.75	40-70
Batu Pasir ( <i>sandstone</i> )	2.45-2.65	40-70
Batu Kapur ( <i>limestone</i> )	2.40-2.70	45-75
Marmer ( <i>marble</i> )	2.60-2.80	45-75
<i>Cher and Flint</i>	2.50-2.60	40-70
<i>Marl</i>	1.90-2.35	25-40
<i>Shale</i>	2.15-2.60	30-65
Kapur ( <i>chalk-upper and middle</i> )	1.65-2.05	30-40
Kapur ( <i>chalk-lower</i> )	2.00-2.40	30-40
Batu Bara ( <i>coal</i> )	1.25-1.60	35

### 2.2.4 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi kemantapan lereng diantaranya<sup>[6]</sup>:

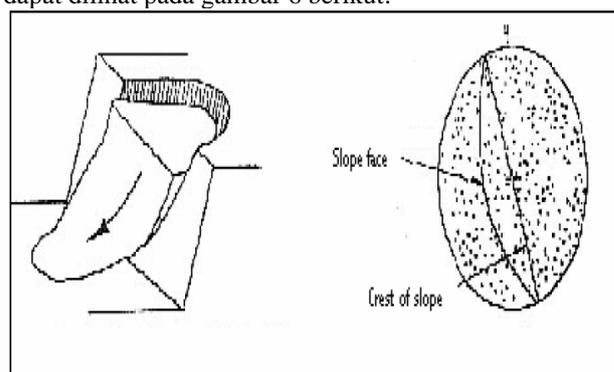
- Geometri Lereng
- Sifat Fisik dan Mekanik Material
- Struktur Geologi
- Hidrogeologi
- Cuaca/Iklim
- Gaya Dari Luar

### 2.2.5 Jenis – jenis longoran

Secara umum longoran terdiri dari 4 jenis. Adapun 4 jenis longoran tersebut adalah sebagai berikut

#### 2.2.5.1 Longoran Busur (*Sircular Failure*)

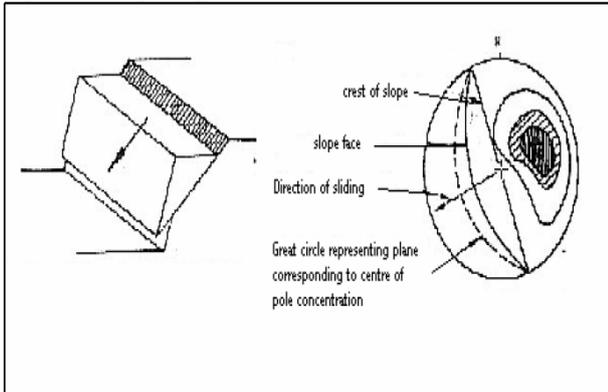
Jenis longoran ini adalah yang paling umum terjadi di alam (tipikal longoran tanah/*soil*). Pada batuan yang keras, jenis longoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*), atau menerus sepanjang sebagian lereng sehingga menyebabkan longoran geser dipermukaan. Yang lebih sering terjadi adalah gabungan antara longoran bidang dan longoran busur, terutama lereng-lereng buatan. Longoran busur dapat dilihat pada gambar 6 berikut:



Gambar 4. Longoran busur

### 2.2.5.2 Longoran Bidang (*Plane Failure*)

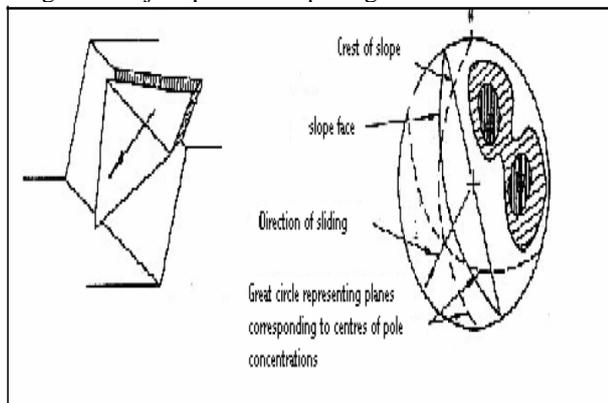
Longoran jenis ini terjadi pada batuan yang mempunyai bidang luncur bebas (*day light*) yang mengarah ke lereng dan bidang luncurnya pada bidang diskontinu seperti: sesar, kekar, liniasi atau bidang perlapisan. Fenomena lainnya yang memicu longoran jenis ini yaitu bila sudut lereng lebih besar dari sudut bidang luncur serta sudut geser dalam lebih kecil dari sudut bidang luncurnya. Biasanya terjadi pada permukaan lereng yang cembung dengan kemiringan bidang kekar rata-rata hampir atau searah dengan kemiringan lereng. Longoran bidang dapat dilihat pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Longoran bidang

### 2.2.5.3 Longoran Baji (*Wedge Failure*)

Model longoran ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah atau bidang diskontinu yang bebas, dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari sudut geser dalamnya. Fenomena yang paling sering terjadi adalah garis perpotongan dua bidang kekar mempunyai kemiringan ke arah kemiringan lereng. Longoran baji dapat dilihat pada gambar 6 berikut:

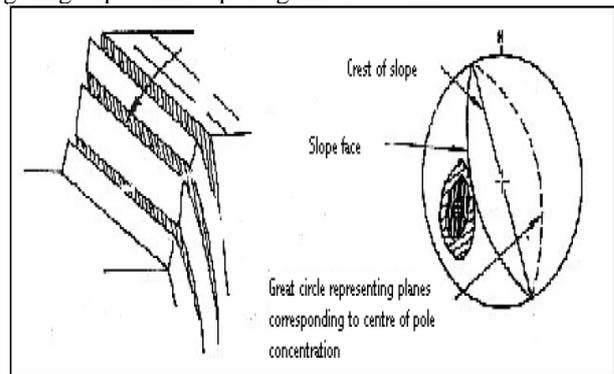


Gambar 6. Longoran baji

### 2.2.5.4 Longoran Guling (*Toppling Failure*)

Longoran *toppling* akan terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras dengan bidang- bidang diskontinu yang hampir tegak atau tegak, dan longoran dapat berbentuk blok atau bertingkat. Bila longoran terjadi pada massa batuan yang kuat dengan fenomena kekar yang relatif tegak, maka rekahan tariknya akan melendut

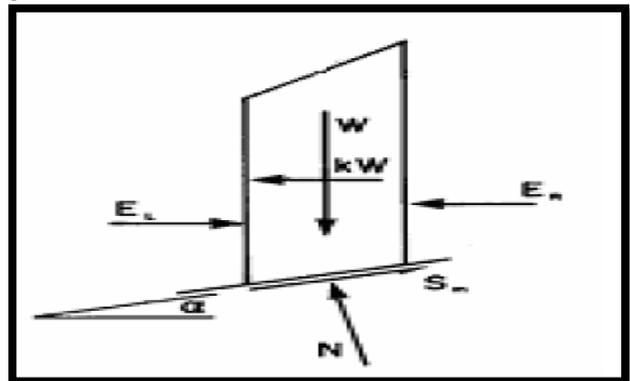
terus dan miring ke arah kemiringan lereng. Longoran guling dapat dilihat pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Longoran guling

### 2.2.6 Metode *Bishop Simplified*

Diantara metode irisan lainnya, metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ( $X=0$ ) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan. Sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi. Seperti pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan metode bishop  
Keseimbangan gaya dalam arah vertikal menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - W = 0 \quad (3)$$

Substitusi persamaan (10) ke persamaan (11) akan menghasilkan persamaan untuk gaya normal total (N) sebagai berikut:

$$N = \frac{W - \frac{c' \beta \sin \alpha - u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad (4)$$

Dengan merujuk pada Gambar 29 kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n (WR \sin \alpha + kW(R \cos \alpha - h_c)) - \sum_{i=1}^n (S_m R) + Aa = 0$$

dimana  $h_c$  adalah tinggi pusat massa irisan dari titik tengah pada dasar irisan. Gaya geser antar-irisan dihilangkan dari persamaan di atas karena resultan momen dari gaya-gaya tersebut saling menghilangkan.

Dengan mensubstitusikan persamaan (10) ke dalam persamaan di atas akan menghasilkan persamaan untuk menghitung faktor keamanan (F) sebagai berikut:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n \left[ W \sin \alpha + kW \left( \cos \alpha - \frac{h_c}{R} \right) \right] + A \frac{a}{R}} \quad (6)$$

dimana N dihitung menggunakan persamaan (12).

Pada persamaan (12) variabel faktor keamanan (F) terdapat pada kedua sisi persamaan sehingga perhitungan nilai F tidak dapat dilakukan secara langsung dan harus dihitung dengan menggunakan aproksimasi berulang (*iterasi*). Aproksimasi berulang dilakukan beberapa kali sampai nilai perbedaan dari F pada kedua sisi persamaan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan. Toleransi yang digunakan umumnya 0,005.

### 2.2.7 Metode Janbu yang disederhanakan (*simplified Janbu method*)

Metode Janbu yang disederhanakan juga termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini. Metode *simplified Janbu* dapat digunakan untuk menganalisis bidang runtuh *circular* maupun *non circular*.<sup>[7]</sup>

Dengan mensubstitusikan persamaan (9) ke dalam persamaan di atas maka diperoleh persamaan untuk menghitung FK sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n (c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi') \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n (N \sin \alpha + kW) + A} \quad (7)$$

## 3 Metode Penelitian

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (*applied research*) dengan memberikan solusi atas permasalahan yang ada di lapangan dengan menggabungkan antara teori dan data di lapangan untuk pemecahan masalah. Dalam penelitian ini, pengukuran dan pengujian memegang peran sentral sehingga berdasarkan bentuk datanya tergolong penelitian kuantitatif.

### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang diambil harus benar, akurat dan lengkap serta relevan dengan permasalahan yang ada. Data yang diambil dikelompokkan menjadi<sup>[9]</sup>:

Data Primer

Pengukuran data primer dilakukan dengan cara mengukur dan mengamati kondisi yang ada di lapangan. Pada penelitian ini didapatkan data primer berupa data bor hasil eksplorasi dan dokumentasi.

#### 1. Bobot isi tanah dan bobot isi kering

Untuk menghitung bobot isi tanah dan bobot isi kering digunakan rumus:

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3 \quad (8)$$

Dimana:

$W_2$  = Berat cincin + tanah (*gram*)

$W_1$  = Berat cincin kosong (*gram*)

$V$  = Volume cincin (*cm*<sup>3</sup>)

Sedangkan untuk bobot isi kering digunakan rumus:

$$\text{Bobot isi kering } (\gamma_d) = \frac{\gamma}{(1 + \omega)} \quad (9)$$

Dimana:

$\gamma_d$  = Bobot isi kering (*gram/cm*<sup>3</sup>)

$\gamma$  = Bobot isi (*gram/cm*<sup>3</sup>)

$\omega$  = Kadar air

Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan memiliki satuan *gram/cm*<sup>3</sup>. Data tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan *KN/m*<sup>3</sup>, yang artinya data yang diperoleh akan dikalikan dengan faktor konversi sebesar 9,807 *m/s*<sup>2</sup>.

#### 2. kadar air

Cara melakukan pengujian kadar air adalah pertama-tama di siapkan timbangan elektronik, beberapa cawan kosong yang sudah dibersihkan, dan oven. Timbang berapa berat cawan kosong selanjutnya timbang berat cawan + sampel ke dalam oven. Lalu dikeringkan tunggu sampai 5 jam selanjutnya ditimbang berat cawan + sampel, lalu dikeringkan lagi sampai 2 jam lalu ditimbang berat cawan + sampel, masukkan lagi cawan + sampel tunggu 2 jam lagi lalu ditimbang berapa berat cawan + sampel, selanjutnya cawan + sampel dikeringkan lagi selama 2 jam, kemudian ditimbang lagi. Setelah dirasa yakin kalau

sampel benar-benar kering berdasarkan 3 kali pengeringan ulang dan hasilnya sama maka sampel sudah dinyatakan kering. Lakukan pengujian kadar air untuk masing-masing sampel tanah yang dibawa dari lapangan.

Analisa Perhitungan:

$$\omega = \frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\% \quad (10)$$

Dimana:

$W_w$  = berat tanah basah + cawan (gram)

$D_w$  = berat tanah kering + cawan (gram)

$T_w$  = berat cawan (gram)

$\omega$  = kadar air dinyatakan dalam persen

### 3. kohesi dan kuat geser

Cara pengujiannya siapkan alat pengujian kuat geser, lalu cetak sampel tanah kedalam cincin kuat geser lalu padatkan, selanjutnya masukkan cincin + sampel kedalam alat kuat geser, kunci lah alat kuat geser tersebut. Selanjutnya masukan air secara perlahan pada wadah alat kuat geser hingga penuh, kasih pemberat berupa piringan baja seberat 3 kg. Lalu putar alat kuat geser dan lihat jarum pada pembaca alat kuat geser sampai berapa dia berhenti. Selanjutnya catat pada angka berapa jarumnya berhenti. Lakukan pengujian tersebut sebanyak 3 kali dengan penambahan beban sebanyak 3 kg, 6 kg dan 9 kg lalu catatlah hasil pengujian tersebut. Dari pengujian kuat geser, nantinya akan diperoleh nilai tegangan normal ( $\sigma$ ) tegangan geser ( $\tau$ ) dan kemudian akan diketahui parameter uji berupa kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ).

Adapun rumus untuk mengetahui tegangan normal adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{N}{A} \quad (11)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan normal ( $kg/cm^2$ )

$N$  = Beban yang diberikan ( $kg$ )

$A$  = Luas cetakan ( $cm^2$ )

Adapun rumus untuk menghitung tegangan geser adalah sebagai berikut :

$$\tau = \frac{S}{A} \quad (12)$$

Dimana :

$\tau$  = Tegangan geser ( $kg/cm^2$ )

$S$  = Beban geser ( $kg$ )

$A$  = Luas cetakan ( $cm^2$ )

### Data Sekunder

Pada penelitian ini data sekunder yang didapatkan oleh peneliti ini berupa peta geologi yang menunjukkan bagaimana keadaan geologi dari PT. Bintang Sumatra Pasifik, pemetaan topografi, peta kesampaian daerah dan layout tambang.

## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 pengeboran dan Pengambilan Sampel

Penulis melakukan pengambilan sampel di lapangan menggunakan alat *hand bor*, sampel dari hasil pengeboran tersebut selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium sehingga di dapat hasil berupa nilai bobot isi material ( $n$ ) dengan satuan  $kN/m^3$ , nilai kohesi ( $c$ ) dari material dengan satuan ( $kPa$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Nilai kohesi dan sudut geser dalam didapat dari *Direct Shear Test*. Kemudian penulis melakukan pengambilan data di lokasi penelitian lereng jalan PT. Bintang Sumatera Pacifik dengan mengambil data orientasi lereng (tinggi, lebar jenjang dan kemiringan lereng) pada lereng tersebut.

### 4.2 Pengujian Sampel

Pengujian sampel bertujuan untuk mengetahui jenis dan karakteristik material dari sampel di lokasi penelitian. Pada kegiatan ini dilakukan beberapa jenis pengujian, yaitu penentuan bobot isi dan uji kadar air. Pengujian terhadap sampel dilaksanakan di Laboratorium Tambang Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.

#### 4.2.1 Uji penentuan kadar air

Pengujian kadar air terhadap sampel bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang terkandung dalam material penyusun lereng di lapangan. Adapun data hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil pengujian kadar air

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cawan	1	2	3
Berat cawan ( $T_w$ ) (gram)	8,37	8,39	8,35
Berat cawan + tanah basah ( $W_w$ ) (gram)	14,17	17,14	18,51
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan ( $D_w$ ) (gram)	12,52	14,76	15,69
Berat Air ( $W_w - D_w$ ) (gram)	1,65	2,38	2,82
Berat tanah kering ( $D_w - T_w$ ) (gram)	4,15	6,37	7,34
Kadar air $\omega = \frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\%$	39,75	37,36	38,41
Kadar air rata-rata ( $\omega$ ), %	38,506		

#### 4.2.2 Uji penentuan bobot isi

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan berat isi/bobot isi tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya ( $gram/cm^3$ ).

**Tabel 6.** Hasil Uji Bobot Isi

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cincin	1	1	1
Tebal Cincin, t, (cm)	1,964	1,964	1,964
Diameter Cincin, d, (cm)	6,31	6,31	6,31
Berat cincin kosong W1 (gram)	48,22	48,22	48,22
Berat cincin + tanah W2 (gram)	169,93	179,68	168,69
Volume Cincin $t \times 0,25 \pi d^2$ , (cm <sup>3</sup> )	61,38	61,38	61,38
Berat isi (γ) gram/cm <sup>3</sup>	1,918	2,14	1,96
Berat isi rata-rata (γ <sub>r</sub> ), (gram/cm <sup>3</sup> )	2,006		
Berat isi (γ <sub>d</sub> ) kering gram/cm <sup>3</sup>	1,372	1,556	1,417
Berat isikering rata-rata (γ <sub>d</sub> ) gram/cm <sup>3</sup>	1,448		

#### 4.2.3 Penentuan berat jenis

**Tabel 7.** Hasil uji berat jenis

Sampel	Berat Pikno (W1), gram	Berat Pikno + Tanah (W2), gram	Berat Pikno + Tanah + Air (W3), gram	Berat Pikno + Air (W4), gram	Berat Jenis (Gs)
A	32.62	56.03	147.53	132.8	2.70
B	32.71	50.96	144.18	132.57	2.75
C	32.62	56.8	147.61	132.42	2.69
Rata-Rata	32.65	54.60	146.44	132.60	2.71

#### 4.2.4 Pengujian kuat geser langsung

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter kekuatan tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Berikut hasil pengujian geser langsung. Diameter : 6,31 cm, Luas : 31,27 cm<sup>2</sup>

**Tabel 8.** Hasil pengujian kuat geser langsung

No.	beban normal (kg)	tegangan normal (σ) (kg/cm <sup>2</sup> )	beban geser (s) (kg)	tegangan geser (τ) (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3	0.096	12.1	0.387
2	6	0.192	14	0.488
3	9	0.288	16.8	0.537

Analisis data

Diameter cetakan = 6,31 cm (diameter dalam cincin “d”)

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\text{Luas (A)} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,31^2 = 31,27 \text{ cm}^2$$

S = gaya geser

$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \frac{S}{A}$$

Uji geser (τ) pada sampel dengan beban 3 kg

$$(\tau) = \frac{12.1}{31.27} = 0,387 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser (τ) pada sampel dengan beban 6 kg

$$(\tau) = \frac{14}{31,27} = 0,488 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser (τ) pada sampel dengan beban 9 kg

$$(\tau) = \frac{16.8}{31,27} = 0,537 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{N}{A}$$

Sampeldengan beban normal 3 kg

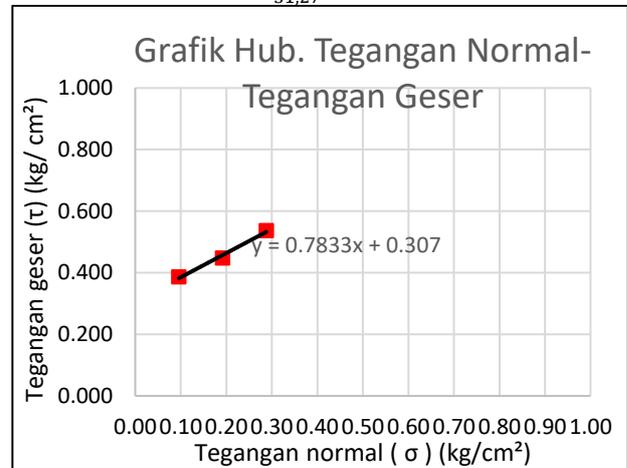
$$(\sigma) = \frac{3}{31,27} = 0,096 \text{ kg/cm}^2$$

Sampel dengan beban normal 6 kg

$$(\sigma) = \frac{6}{31,27} = 0,192 \text{ kg/cm}^2$$

Sampel dengan beban normal 9 kg

$$(\sigma) = \frac{9}{31,27} = 0,288 \text{ kg/cm}^2$$



**Gambar 10.** Grafik kuat geser

$$\begin{aligned} \text{Kohesi (c)} &= 0,307 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,307 \text{ Kg} / 10^{-4} \text{m}^2 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,307 \text{ Kg/m}^2 \times 9,807 / 10^{-4} \text{m}^2 \\ &= 3,0107 \text{ N} / 10^{-4} \text{m}^2 \\ &= 30,1 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut geser } (\phi) &= 0,78 \\ &= \tan^{-1} 0,78 \\ &= 38,06 \end{aligned}$$

#### 4.3 Analisis Kestabilan lereng

Analisis dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas *Bishop simplified* dan *janbu simplified*.

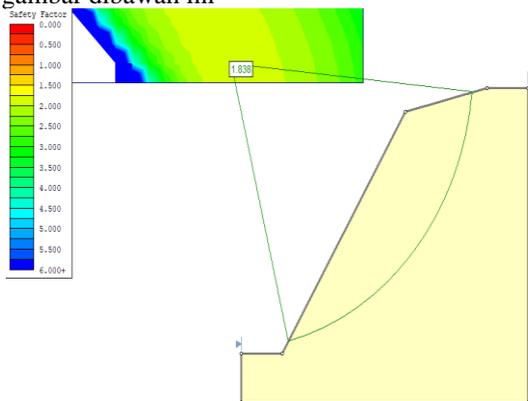
#### 4.3 Analisis FK lereng menggunakan metode Bishop Simplified

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan seperti Metode *Spencer* atau Metode Kesetimbangan Batas Umum, jarang lebih besar dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum. [10]

Analisis dilakukan menggunakan aplikasi *Rocscience Slide Version 6.005* berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode *Bishop Simplified* untuk jenis material yaitu *Clay* nilai kohesi, sudut geser dalam, bobot isi tanah, dan bobot isi kering untuk masing-masing material didapat setelah dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik terlebih dahulu, sedangkan untuk geometri lereng didapat dari data pengukuran dilapangan dan data dari perusahaan PT. Bintang Sumatra Pasifik.

#### 4.3.1 FK Lereng Dalam Keadaan Kering

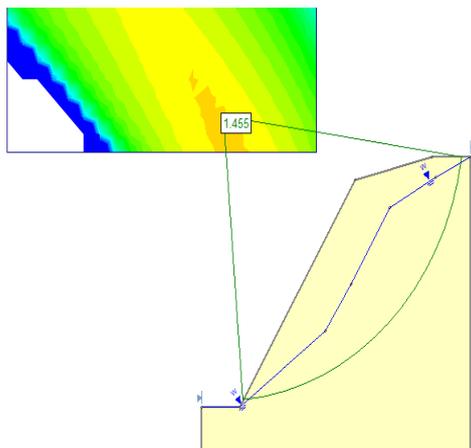
Berdasarkan pengolahan data menggunakan aplikasi *rocscience slide v.6.005*, didapat geometri awal lereng dalam kondisi kering dengan tinggi keseluruhan 11 meter dan sudut  $59^\circ$ , dimana nilai FK 1,838 lereng berada dalam keadaan stabil atau aman. seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 11. Gambar FK dalam kondisi kering

#### 4.3.2 Analisis FK lereng dalam kondisi setengah jenuh

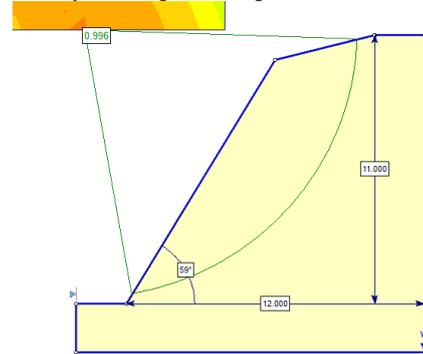
Berdasarkan analisis menggunakan *software slide 6.0* diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dengan kondisi lereng setengah jenuh adalah sebesar 1,493 dapat dilihat pada gambar dibawah,  $FK > 1,3$  artinya lereng berada pada kondisi aman.



Gambar 12. Fk dalam kondisi setengah jenuh

#### 4.3.3 analisis FK lereng dalam kondisi jenuh

Berdasarkan analisis menggunakan *software slide 6.0* diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dengan kondisi lereng jenuh adalah sebesar 0,996  $FK < 1,3$  artinya lereng berada pada kondisi tidak aman.

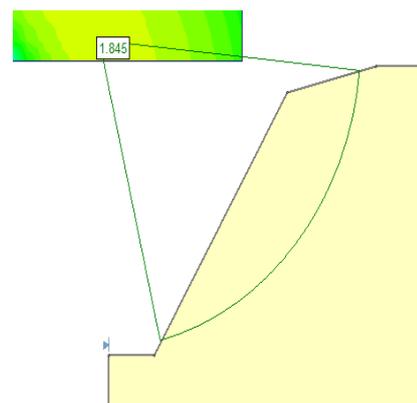


Gambar 13. Fk dalam kondisi jenuh

#### 4.4 Analisis Faktor Keamanan Lereng dengan Menggunakan Metode *Janbu simplified*

##### 4.4.1 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Lereng Kering

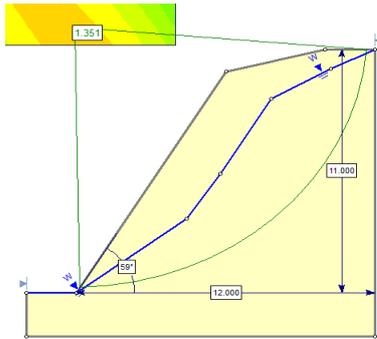
Berdasarkan pengolahan data menggunakan aplikasi *rocscience slide v.6.005*, didapat geometri awal lereng dalam kondisi kering dengan tinggi keseluruhan 11 meter dan sudut  $59^\circ$ , dimana nilai FK 1,845 lereng berada dalam keadaan stabil atau aman. seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 14. Fk dalam kondisi kering

##### 4.4.2 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Lereng Setengah Jenuh

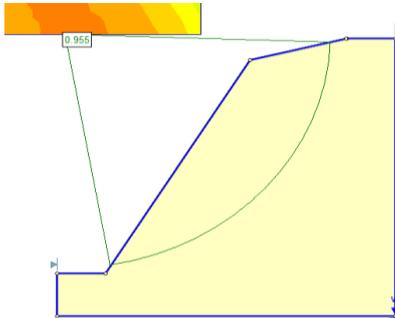
Berdasarkan pengolahan data menggunakan aplikasi *rocscience slide v.6.005*, didapat geometri awal lereng dalam kondisi kering dengan tinggi keseluruhan 11 meter dan sudut  $59^\circ$ , dimana nilai FK 1,351 lereng berada dalam keadaan stabil atau aman. seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 15. Fk dalam kondisi setengah jenuh

#### 4.4.3 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Lereng Jenuh

Berdasarkan pengolahan data menggunakan aplikasi *rocscience slide v.6.005*, didapat geometri awal lereng dalam kondisi kering dengan tinggi keseluruhan 11 meter dan sudut 59°, dimana nilai FK 0.955 lereng berada dalam keadaan stabil atau aman. seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 16. Fk dalam kondisi jenuh

Tabel 9. Nilai Faktor Keamanan Lereng Aktual

kordinat	Tinggi	Sudut	Metode	Faktor Keamanan Aktual		
				Jenuh	Setengah jenuh	kering
00° 1' 03,2" N 100° 44' 57,2 E	11	59°	Bishop	0,996	1,455	1,838
			Janbu	0,955	1,351	1,845

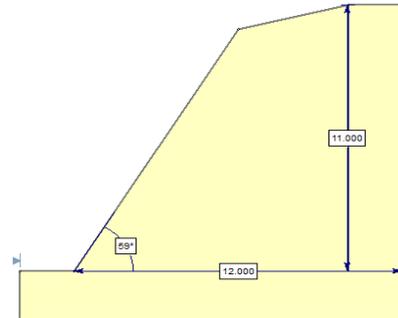
#### 4.5 Modifikasi Geometri Lereng Untuk Meningkatkan Faktor Keamanan

Dari hasil analisis kestabilan lereng pada masing-masing titik pengamatan, terlihat bahwa lereng memiliki nilai faktor keamanan  $FK < 1,3$  pada kondisi lereng jenuh. Nilai faktor keamanan  $FK < 1,3$  artinya lereng berada pada kondisi tidak aman/kemungkinan terjadinya longsor disekitar lereng penambangan.

Berdasarkan hasil FK yang diperoleh maka penulis melakukan modifikasi pada lereng dengan melakukan perubahan pada geometri lereng tersebut. Perubahan yang dilakukan dengan mengurangi tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng pada masing-masing titik pengamatan berdasarkan analisis *Trial and Error*, sehingga penulis memodifikasi sudut kemiringan lereng 60° pada masing-masing titik pengamatan, seperti di bawah ini:

#### 4.5.1 Geometry lereng awal

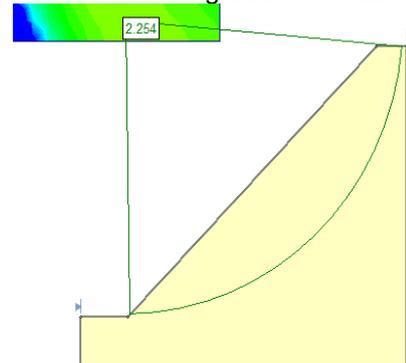
Diketahui  
 Tinggi lereng = 11m  
 Sudut kemiringan lereng = 59°  
 Bobot isi = 19,67 KN/m<sup>2</sup>  
 Kohesi = 30.1 KN/m<sup>2</sup>  
 Sudut geser dalam = 38,06



#### 4.5.2 Rekomendasi lereng dengan metode *bishop*

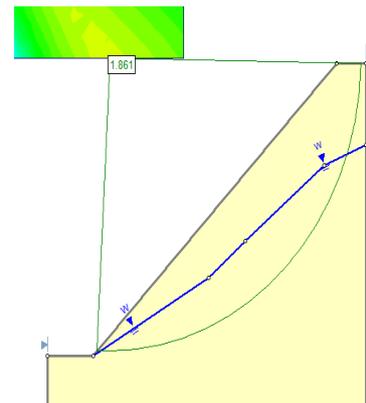
Diketahui  
 Tinggi lereng = 11m  
 Sudut kemiringan lereng = 46°  
 Bobot isi = 19,67 KN/m<sup>2</sup>  
 Kohesi = 30.1 KN/m<sup>2</sup>  
 Sudut geser dalam = 38,06

#### Rekomendasi lereng dalam kondisi kering



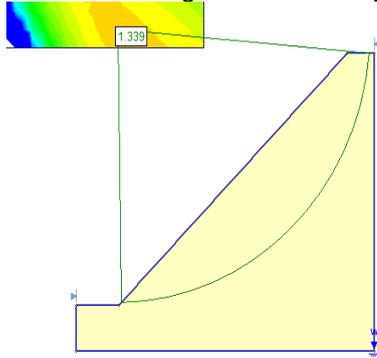
Gambar 17. Rekomendasi lereng kondisi kering

#### Rekomendasi lereng dalam kondisi setengah jenuh



gambar 18. Rekomendasi lereng kondisi setengah jenuh

Rekomendasi lereng dalam kondisi jenuh



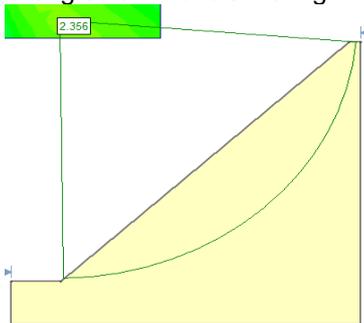
Gambar 19. Rekomendasi lereng kondisi jenuh

Berdasarkan analisis menggunakan *software slide 6.0* dengan metode bhisop dengan susut kemiringan lereng  $46^\circ$  diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi lereng kering 2,254, lereng setengah jenuh sebesar 1,861 dan lereng dengan kondisi jenuh sebesar 1,339. Jadi hasil rekomendasi lereng diperoleh  $FK > 1,3$  artinya lereng berada pada kondisi aman.

#### 4.5.3 Rekomendasi lereng dengan metode janbu

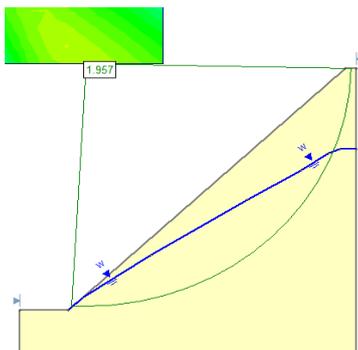
- Diketahui
- Tinggi lereng = 11 m
  - Sudut kemiringan lereng =  $44^\circ$
  - Bobot isi =  $19,67 \text{ KN/m}^2$
  - Kohesi =  $30,1 \text{ KN/m}^2$
  - Sudut geser dalam =  $38,06$

Rekomendasi lereng dalam kondisi kering



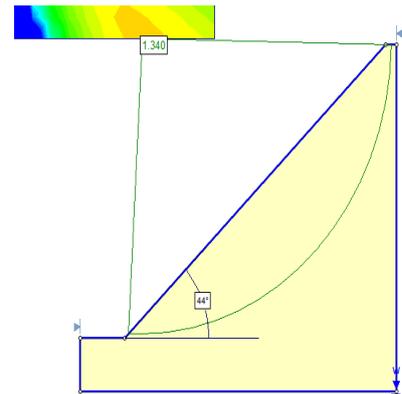
Gambar 20. Rekomendasi FK lereng kondisi kering

Rekomendasi lereng dalam kondisi setengah jenuh



Gambar 21. Rekomendasi FK lereng kondisi setengah jenuh

Rekomendasi lereng dalam kondisi jenuh



Gambar 22. Rekomendasi FK lereng pada kondisi jenuh

Berdasarkan analisis menggunakan *software slide 6.0* dengan metode janbu dengan sudut kemiringan lereng  $44^\circ$  diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi lereng kering sebesar 2,356, dalam kondisi setengah jenuh 1,957, dan dalam kondisi jenuh sebesar 1,34. Jadi hasil rekomendasi lereng diperoleh  $FK > 1,3$  artinya

**Tabel 10.** Nilai Perbandingan Faktor Keamanan *Actual* dan Rekomendasi Lereng

kordinat	Tinggi	Sudut	Metode	Faktor Keamanan Aktual		
				Jenuh	Setengah jenuh	kering
00° 1' 03,2" N 100° 44' 57,2 E	11	59°	Bishop	0,996	1,455	1,838
			Janbu	0,955	1,351	1,845
kordinat	Tinggi	Sudut	Metode	Faktor Keamanan Rekomendasi		
00° 1' 03,2" N 100° 44' 57,2 E	11	46	Bishop	1,339	1,861	2,254
			44	Janbu	1,34	1,957

Dari hasil rekomendasi faktor keamanan lereng dengan memperkecil sudut kemiringan lereng menjadi  $46^\circ$  menggunakan metode bishop pada kondisi jenuh diperoleh FK lereng 1,339, sedangkan menggunakan metode janbu dengan memperkecil sudut kemiringan lereng menjadi  $44^\circ$  diperoleh FK lereng sebesar 1,34 jadi dari kedua metode yang digunakan diperoleh hasil sudut rekomendasi lereng yang berbeda dan dari hasil rekomendasi demikian lereng dikategorikan dalam keadaan aman.

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis dan pembahasan data yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan diantaranya:
2. Berdasarkan hasil pengamatan kondisi lereng di lokasi penambangan PT. Bintang Sumatra Pasifik memiliki sudut kemiringan lereng  $59^\circ$  dengan ketinggian 11 m, dan melakukan pengujian di laboratorium didapatkan nilai kadar air sebesar

38,506 %, bobot isi sebesar 19,67 KN/m<sup>3</sup> sudut geser dalam sebesar 38,08° dan kohesi sebesar 30,1 KN/m<sup>2</sup>

3. Berdasarkan analisis lereng dengan menggunakan program *software rocscience slide v.60* dengan metode *bishop* di dapat faktor keamanan untuk titik pengamatan dalam kondisi lereng jenuh  $FK < 1,3$  yaitu sebesar 0,996 dan analisis dengan menggunakan metoda *janbu* di dapat faktor keamanan untuk titik pengamatan dalam kondisi lereng jenuh adalah  $FK < 1,3$  yaitu sebesar 0,955.

## 5.2 Saran

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di atas, maka penulis menyarankan kepada perusahaan agar mengkaji ulang geometri lereng jalan tambang yang ada saat ini, karena geometri lereng saat sekarang ini berpotensi mengalami kelongsoran.
2. Pengkajian ulang geometri lereng agar mencapai keadaan aman dengan  $FK$  besar dari 1,3 maka penanggulangannya dengan pengurangan sudut lereng tambang tersebut.

## Daftar Pustaka

- [1] Anonim. (2018). Arsip PT. Bintang Sumatra Pasifik
- [2] Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack: V1: Fundamentals, V2: CSMine Software Package, CD-ROM: CS Mine Software*. CRC Press.
- [4] Masagus Ahmad, A. Z. I. Z. I. (2012). Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X). In *Prosiding Simposium dan Seminar Nasional Geomekanika ke-1 Tahun 2012: Menggagas Masa Depan Rekayasa Batuan dan Terowongan di Indonesia* (pp. 4-19). Program Studi Teknik ertambangan FTM UPN" Veteran" Yogyakarta.
- [5] Septian, R., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis kestabilan lereng jalan tambang di pt. Sumbar calcium pratama jorong atas halaban, nagari halaban, kecamatan laleh sago halaban, kabupaten lima puluh kota, provinsi sumatera barat. *Bina Tambang*, 3(2), 893-903.
- [6] Zakaria, Z. (2009). Analisis Kestabilan Lereng Tanah. *Laboratorium Geologi Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran. Bandung*.
- [7] Husien, D., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2018). Slope stability analysis at Pit AI-Block B PT. Anugerah Alam Andalas Muara Ketalo Village, Sungai Bengkal, Tebo Ilir Subdistrict, Tebo District, Jambi Province. *Bina Tambang*, 3(1), 504-523
- [8] Hadi, J. T., Yuliadi, Y., & Muchsin, A. M. (2019). Analisis Stabilitas Lereng untuk Mendukung Kegiatan Penambangan Batubara di Sektor X PT. Asmin Bara Bronang Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah.
- [9] Yusuf, A. M. (2005). Metodologi Penelitian. *Padang. UNP Pres*.
- [10] Monintja, S. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta. 1000m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3).Rajagukguk, O. C., Turangan, A. E., &