

ANALISIS KESTABILAN LERENG MINE *HIGHWALL* DENGAN METODE BISHOP DAN SOFTWARE *ROCKSCIENCE SLIDE* PADA AREA PENAMBANGAN BATUBARA DI PIT 2A BARAT PT. FONTANA RESOURCES INDONESIA) KAB. BARITO UTARA KALIMANTAN TENGAH

Halawa Analiser¹⁾ Nurhakiki²⁾

1. Dosen Teknik Pertambangan Institut Sains dan Teknologi TD. Pardede Medan
Email: halawaftm@gmail.com
2. Mahasiswi, Teknik Pertambangan Institut Sains dan Teknologi TD. Pardede Medan

ABSTRAK

Perhitungan kemantapan lereng yang dilakukan adalah menggunakan metode kesetimbangan batas (Bishop) dan program Slide 5.027 dari *Rockscience Slide*. Lereng yang dianalisis terdiri dari empat lereng di highwall diberi simbol dengan GT-01, GT-02, GT-03 dan GT-04.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan geometri lereng tunggal penambangan yang direkomendasikan adalah Lereng tunggal sisi *highwall* dengan FK mendekati 1.3 (aman), antara lain; pada area GT-01 dengan ketinggian maksimum 38 m dan kemiringan 23⁰, area GT-02 dengan ketinggian maksimum 38 m dan kemiringan 23⁰, area GT-03 dengan ketinggian maksimum 28 m dan kemiringan 34⁰ dan area GT-04 dengan ketinggian maksimum 34 m dan kemiringan 27⁰, dan untuk *lereng multisisi high wall* pada lapisan overburden dengan FK mendekati 1.3 (aman) yaitu antara lain pada area GT-01 dengan ketinggian maksimum 38 m dan kemiringan 26⁰, area GT-02 dengan ketinggian maksimum 33 m dan kemiringan 26⁰, area GT-03 dengan ketinggian maksimum 28 m dan kemiringan 30⁰ dan area GT-04 dengan ketinggian maksimum 34 m dan kemiringan 26⁰ sedangkan pada dimensi kerja masing-masing lapisan material *claystone* dianggap aman dengan ketinggian maksimum 10 m dengan kemiringan 60⁰ dan material *sandstone* dianggap aman pada ketinggian < 10 m dengan sudut kemiringan < 30⁰.

Kata Kunci : *Highwall*, geometri jalan, Litologi lereng, Sudut Lereng, Faktor Keamanan.

ABSTRACT

The calculation of slope stability is done using the Bishop equilibrium method and the Slide 5.027 program from *Rockscience Slide*. The slopes analyzed consisted of four slopes in highwall given a symbol with GT-01, GT-02, GT-03 and GT-04.

Based on the results of calculations carried out by the single mining slope geometry that is recommended is a single highwall slope with FK approaching 1.3 (safe), among others; in the GT-01 area with a maximum height of 38 m and a slope of 230, the GT-02 area with a maximum height of 38 m and a slope of 230, the GT-03 area with a maximum height of 28 m and a slope of 340 and GT-04 area with a maximum height of 34 m and slope 270, and for the high wall multi-slope in the overburden layer with FK close to 1.3 (safe), among others, in the GT-01 area with a maximum height of 38 m and a slope of 260, GT-02 area with a maximum height of 33 m and slope 260, area GT-03 with a maximum height of 28 m and a slope of 300 and a GT-04 area with a maximum height of 34 m and a slope of 260 while the working dimensions of each layer of claystone material are considered safe with a maximum height of 10 m with a slope of 600 and sandstone material considered safe in height <10 m with slope angle <300.

Keywords: *Highwall*, road geometry, slope lithology, slope angle, safety factor.

I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kestabilan lereng pada umumnya membutuhkan perhatian khusus, karena mempengaruhi keberlangsungan operasional penambangan. Kesalahan dalam melakukan rancangan geometri

lereng akan menyebabkan terjadinya runtuh atau longsoran. Akibatnya akan mengganggu operasional Penambangan dan pengangkutan bahan tambang, mobilitas alat mekanis yang bekerja, bahkan dapat menimbulkan korban jiwa. Oleh karena itu dalam operasional penambangan perlu dibuat perencanaan

penambangan professional dengan mempertimbangkan kemandapan dan kestabilan lereng daerah tersebut; Desain lereng yang tepat akan meningkatkan efisiensi dan efektifitas penambangan yang maksimal, *recovery* cadangan yang optimal, dan terjaminnya keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

1.2 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bermaksud Melakukan Analisis Kestabilan Lereng Mine *Highwall* Dengan Metode Bishop Dan Software *Rockscience Slide* Pada Area Penambangan Batubara Di Pit 2a Barat Pt. Fontana Resources Indonesia) Kab. Barito Utara Kalimantan Tengah

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengukur dan menganalisis geometri lereng dan nilai faktor keamanan lereng berdasarkan Metode Bishop
2. Analisis pengaruh tinggi muka air tanah akibat proses penimbunan maupun penggalian.
3. Mendesain atau merancang model geometri lereng jalan berdasarkan hasil analisis dan litologi lereng.
4. Dengan Bantuan Software *Rockscience Slide 5.02*, secara grafis dapat menggambarkan sudut kemiringan lereng yang diinginkan.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini untuk memecahkan masalah yang ada, maka masalah dapat dirumuskan sebagai berikut, antara lain:

- a. Bagaimana cara mengukur dan menganalisis kondisi geometri lereng di area penelitian?
- b. Bagaimana melakukan evaluasi geomteri lereng yang telah di ukur dan di analisis?
- c. Bagaimana mendesain lereng sesuai dengan sudut kemiringan maksimum dengan jenis litologi yang sudah diketahui (data sekunder)
- d. Berapa nilai faktor keamanan (FK) lereng high wall yang harus diperoleh dari kodel dan disain yang dibuat atau direkonstruksi?

1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian ini hanya mengukur dan menganalisis nilai kestabilan lereng di area *Mining highwall* di daerah penambangan dengan menggunakan metode *Bishop* dan analisis model serta faktor keamanan $FK \geq 1.3$ dengan menggunakan *Software Rocscience Slide 5.072* dan atau pendekatan *Mine Plan (master Plan)*.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metoda Observasi langsung di lapangan terutama pada proses

pengukuran dan analisis, termasuk kondisi batuan lereng daerah penelitian.

Observasi lapangan dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai geometri lereng seperti sudut lereng, litologi dan topografi daerah penelitian. Dengan metode *Bishop* dilakukan analisis dan perhitungan data dan untuk mendapatkan sudut, model penampang lereng daerah penelitian digunakan *Software Rockslides*.

1.6 Lokasi Penelitian

Studi Kasus dalam penelitian ini yaitu Daerah pertambangan PT. Fontana Resources Indonesia di Barito Utara, Kec. Teweh selatan, Kab. Barito utara, Provinsi Kalimantan Tengah. PT. Fontana Resources Indonesia merupakan Owner perusahaan tambang batubara dimana sistem penambangan yang diterapkan adalah tambang terbuka (*surface mining*), dengan Kontraktor yang dikerjakan oleh PT. IPPS (*Intraco Penta Prima Servis*).

Lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Fontana Resources Indonesia secara administratif terletak di Desa Butong, Desa Bintang Ninggi I, Desa Bintang Ninggi II dan Desa Buntok Baru, Kecamatan Teweh Selatan, Kabupaten Barito Utara, Provinsi Kalimantan Tengah dengan luas wilayah Izin Usaha Pertambangan 6.660 Ha.

III DASAR TEORI

3.1 Pengertian 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 untuk membuat timbunan untuk membuat bendungan, tanggul dan kanal sungai serta dinding tambang terbuka (**Wesley L.D., 1977**).

Salah satu permasalahan yang perlu diperhatikan pada proses penambangan adalah kemungkinan terjadinya longsor. Sebelum kegiatan penambangan dilakukan kondisi batuan umumnya berada pada keadaan setimbang (*stable*), artinya distribusi tegangan pada material tersebut berada dalam keadaan setimbang (*equilibrium*). Pola-pola diskontinuitas yang terjadi yang disebabkan oleh aktivitas penambangan dapat menyebabkan kekuatan batuan menjadi menurun. Dengan berubahnya geometri lereng maka distribusi tegangan akan berubah pula, sehingga kesetimbangan gaya yang selama ini stabil akan cenderung berubah dan tidak setimbang lagi. Bila tegangan material sudah terganggu, maka gaya-gaya yang terdapat dalam

batuan atau tanah tersebut berusaha mencapai **keadaan setimbang**. Adapun upaya yang dilakukan untuk mengurangi tegangan tersebut secara alamiah, misalnya dengan mengurangi beban pada bidang longsor. Hal ini harus menjadi perhatian karena jika longsor terjadi maka akan mengakibatkan kerugian-kerugian seperti rusaknya alat-alat tambang ataupun mengancam nyawa karyawan yang bekerja di daerah penambangan.

Dalam menganalisa kestabilan lereng, titik awal yang harus diperhatikan terlebih dahulu adalah material pembentuk lereng yakni jenis litologi (batuan) atau Tanah. Tanah merupakan sekumpulan mineral, bahan organik dan sedimen yang relatif lepas yang terdapat diatas suatu batuan dasar. Tanah dengan mudah dapat dihancurkan menjadi butiran – butiran mineral atau bahan organik (Holtz & Kovacs, 1981). Sedangkan menurut Bieniawski (1973) tanah merupakan suatu material bentukan alam yang mempunyai kuat tekan **uniaksial** kurang dari 1 MPa sedangkan batuan lebih dari 1 MPa.

Lereng jalan tambang harus tetap aman sampai selesai penambangan, untuk mengetahui apakah suatu lereng stabil dinyatakan dengan istilah faktor keamanan. Besarnya faktor keamanan (FK) didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak/pendorong. Pengertian lain FK adalah suatu ratio perbandingan dari besarnya kuat tahan terhadap kuat gerak pada suatu permukaan datar, atau suatu ratio perbandingan dari gaya penahan terhadap momen penggerak pada suatu permukaan lingkaran. Secara matematis yakni:

$$FK = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya penggerak}} \text{ atau: } FK = \frac{\tau}{\tau_d} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan τ adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (atau kuat geser yang tersedia), τ_d adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (atau kuat geser yang dimobilisasi oleh tanah untuk menjaga keseimbangan), dan **FK** adalah faktor keamanan. Menurut teori **Mohr-Coulomb**, tahanan geser maksimum kuat atau geser tanah (τ) yang dapat dimobilisasi oleh tanah, disepanjang bidang longsonya, dinyatakan oleh :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan c = kohesi, σ = tegangan normal, dan ϕ sudut geser dalam tanah.

Nilai-nilai c dan α adalah parameter kuat geser tanah disepanjang bidang longsor. Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsonya :

$$\tau_d = c_d + \operatorname{tg} \phi_d \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan c_d dan ϕ_d adalah kohesi dan sudut geser dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsonya. Dari substitusi

persamaan (3.2) dan (3.3), ke persamaan (3.1) diperlukan persamaan faktor keamanan,

$$FK = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \phi}{c_d + \operatorname{tg} \phi_d} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dalam analisis stabilitas lereng, kuat geser yang dibutuhkan (τ_d) disepanjang bidang longsor potensial untuk memelihara keseimbangan dihitung dan kemudian dibandingkan dengan kuat geser yang tersedia (τ). Dalam hal ini, faktor keamanan dianggap konstan disepanjang permukaan bidang longsor, dan faktor keamanan (FK) dinyatakan oleh rasio kuat geser yang tersedia terhadap yang dibutuhkan . jadi, suatu proporsi konstan kuat geser yang tersedia, dimobilisasi pada setiap titik pada bidang longsor untuk menahan pergelinciran.

Menurut Bowles, 1985 kriteria faktor keamanan adalah;

FK > 1,3 lereng dianggap aman

FK = 1,07 sampai 1,25 lereng dalam keadaan kritis

FK < 1,07 lereng dianggap tidak aman

Faktor keamanan berperan sangat penting dalam membuat suatu jenjang, salah satunya adalah menghitung suatu daerah yang tidak di ketahui tingkat keamanannya, kemudian dicari faktor-faktor yang mempengaruhi seperti parameter kekuatan tanah/batuan, penyebaran tekanan air tanah dan stratigrafinya. Secara umum semakin rendah kualitas tanah/bataun semakin tinggi FK yang diperlukan, kecuali jika tanah/batuan tersebut akan dipergunakan untuk keperluan tertentu. Fungsi lain dari FK adalah untuk membatasi perubahan kestabilan sampai pada tingkat yang masih diperbolehkan dalam daerah ekonomis. Dalam hal ini, pemilihan harga FK dipengaruhi oleh pengalaman dengan tanah batuan yang dimaksud. Jika tingkat resiko yang digunakan masih memungkinkan maka penambahan harga FK yang digunakan berbeda-beda menurut jenis material dan sifat-sifatnya.

3.2.3 Perhitungan Kestabilan Lereng

3.2.3.1 Metode Kesetimbangan Batas

Cara yang gunakan pada perhitungan kestabilan lereng adalah cara kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*), yaitu perhitungan besarnya kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kestabilan dan di bandingkan dengan kekuatan geser yang ada. Dari perbandingan ini didapatkan faktor keamanan. Prinsip dari metode kesetimbangan batas menyatakan bahwa batuan akan runtuh atau massa tanah akan longsor sepanjang permukaan runtuh (*failure surface*) apabila gaya geser yang bekerja telah melampaui kekuatan massa batuan atau tanah.

Dalam menganalisa harus ditentukan patokan berapa harga faktor keamanan yang aman untuk lereng, baik untuk lereng tunggal maupun lereng total yang akan

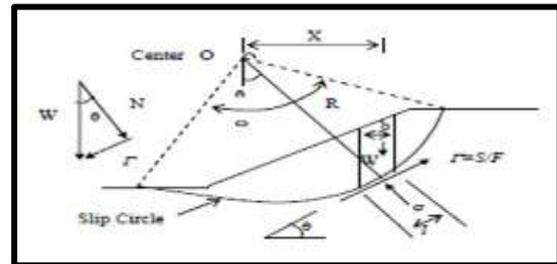
digunakan dalam suatu analisa. Dengan demikian maka diambil faktor keamanan yang direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum (tahun 1994) dimana $FK \geq 1,3$ untuk lereng tunggal dan $FK \geq 1,50$ untuk lereng keseluruhan, metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan – persamaan kesetimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi, dan mengurangi gaya – gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya antar blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsoran yang dipilih sebelumnya. Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa irisan dengan pusat gaya dititik tertentu, kemudian menganalisa gaya yang bekerja pada lereng, saat terjadi longsoran dan setiap bagian pada kondisi kesetimbangan statis. Faktor keamanan pada metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) didefinisikan sebagai perbandingan antara total gaya penahan longsor dengan gaya penyebab longsoran.

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk menghitung besarnya angka faktor keamanan adalah menentukan jenis – jenis kelongsoran yang mungkin terjadi pada suatu bidang gelincir, kemudian menghitung besarnya gaya atau momen yang menyebabkan kelongsoran (gaya penggerak) pada bidang gelincir yang disebabkan oleh berat tanah atau batuan. Langkah berikutnya adalah menghitung besarnya gaya atau momen penahan kelongsoran yang dimiliki oleh tanah atau batuan. Dengan membandingkan kedua momen tersebut maka didapat besarnya angka faktor keamanan.

Analisis kemandapan lereng ditujukan untuk menentukan geometri lereng yang mantap dalam bentuk tinggi lereng dan kemiringan lereng baik lereng tunggal maupun lereng keseluruhan. Pertimbangan yang digunakan untuk analisis ini adalah keadaan topografi, struktur geologi, kemiringan lapisan, arah lapisan serta sifat fisik dan mekanik dari batuan pembentuk lereng tersebut. Perhitungan kemandapan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode Bishop, Fellenius, dan Janbu dengan menggunakan program *Rockscience versi 5.027*. Perhitungan dilakukan pada lereng tunggal dan keseluruhan daerah penambangan. Pengukuran kemiringan lereng penambangan dilakukan dengan menggunakan total station (TS). Setelah data pengukuran sudah lengkap, maka selanjutnya masuk ketahap pengolahan data. Kegunaan kestabilan lereng sendiri adalah untuk menstabilkan lereng agar tidak terjadinya longsor saat kegiatan penambangan berlangsung. Jika desain lereng yang tepat akan meningkatkan efisiensi dan efektifitas penambangan yang maksimal, *recovery* cadangan yang optimal, dan terjaminnya keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

a. Metode Fellenius (1939)

Ada beberapa metode analisis kestabilan lereng, yang paling umum digunakan ialah metode irisan, Fellenius (1939). Metode ini banyak digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah, dan bidang gelincirnya berbentuk busur (*arcfailure*). Perhitungan lereng dengan metode Fellenius dilakukan dengan membagi massa longsoran menjadi segmen-segmen seperti pada gambar 3.1 berikut.

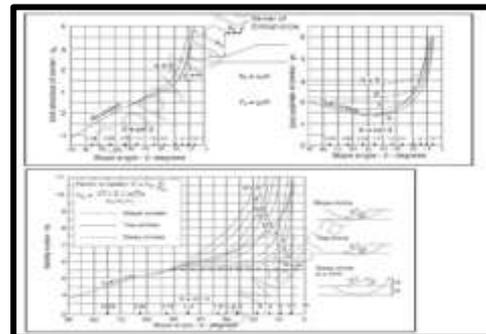


Sumber: Fellenius (1939)

Gambar 3.1: Gaya Yang Bekerja Pada Longsoran Lingkaran

b. Metode Janbu

Metode ini digunakan untuk menganalisis lereng yang bidang longsornya tidak berbentuk busur lingkaran. Bidang longsor pada analisa metode Janbu ditentukan berdasarkan zona lemah yang terdapat pada massa batuan atau tanah. Cara lain yaitu dengan mengasumsikan suatu faktor keamanan tertentu yang tidak terlalu rendah. Kemudian melakukan perhitungan beberapa kali untuk mendapatkan bidang longsor yang memiliki faktor keamanan terendah.



Gambar 3.2: Grafik baku acuan untuk Aplikasi Metode Janbu

c. Metode Bishop yang di Sederhanakan

Metode Bishop yang disederhanakan adalah suatu metode yang diperhitungkan gaya-gaya antar irisan dan mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran.

- a. Metode ini pada dasarnya sama dengan *metode swedia*, tetapi dengan memperhitungkan gaya-

gaya antar irisan yang ada. Metode Bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran

- b. Pertama yang harus diketahui adalah geometri dari lereng dan juga titik pusat busur lingkaran bidang luncur, serta letak rekahan.
- c. Upaya menentukan titik pusat busur lingkaran bidang luncur dan letak rekahan pada longsor busur dipergunakan grafik *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.

Kekeurangan metode ini apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan seperti *Metode Spencer* atau *Metode Kesetimbangan Batas Umum*, jarang lebih

$$Tn = \frac{Sn}{F} = \frac{c \alpha n}{F} = \frac{(Pn - Un \tan \phi) \tan \phi}{F} \quad (3.5)$$

Mendistribusikan pernyataan ini bagi $P_n - U_n I_n$ kedalam persamaan, dan mengganti Tn dengan $b_n S_n c \alpha I_n$ akan mendapat persamaan baru untuk faktor F , persamaan ini masih menawarkan suatu kesulitan, sebab F tampak pada kedua sisi persamaan. Faktor aman F dihitung dengan cara coba – coba berulang dimulai dengan estimasi awal F . Jika nilai F terhitung digunakan dalam cobaan berikutnya, koreksinya akan sangat cepat. Sebagai penyempurnaan, Bishop menganggap bahwa jumlah gaya – gaya samping vertikal pada masing – masing irisan ($X_n + X_{n+1}$) disamakan dengan nol, sehingga :

$$P - ul = \frac{W - 1 \left(\frac{c' \sin \alpha}{F} + u \cos \alpha \right)}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{F}} \quad (3.6)$$

$$\text{Jadi } F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [c' b + (W - ub) \tan \theta'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \theta' \tan \alpha}{F}} \quad (3.7)$$

Dengan kata lain, pada cara Bishop diasumsikan resultan gaya-gaya pada batas vertikal segmen bekerja pada arah horizontal. Dengan asumsi ini, juga karena faktor keamanan pada setiap segmen dijadikan sama, maka besarnya ($E_n - E_{n+1}$) menjadi tertentu, sehingga P dapat diketahui; baik parameter tegangan efektif ataupun parameter tegangan total dapat digunakan pada persamaan – persamaan ini, meskipun persamaan – persamaan tersebut hanya menunjukkan parameter – parameter tegangan efektif. Pada keadaan tanah $\Phi = 0$, persamaan diatas langsung menyelesaikan F dan persamaan tersebut menjadi sederhana seperti metode irisan konvensional.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENELITIAN

4.1.1 Pengujian Laboratorium (Data sekunder)

a. Sifat – sifat fisik batuan

besar dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk mendapatkan secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran dan untuk mencari faktor keamanan minimum.

Bishop menemukan bahwa dengan mengikutsertakan gaya samping horizontal untuk menghitung P_n juga memenuhi keseluruhan momen keseimbangan, dan faktor aman yang dihasilkan hanya sedikit kurangnya dibandingkan dengan metode lainnya. Pada gambar dibawah ini menunjukkan irisan tipikal termasuk gaya-gaya samping yang diwakili oleh komponen horizontal E dan komponen vertikal X , gaya P_n dan oleh karenanya kekuatan pada dasar irisan akan berbeda dari pada keadaan dimana gaya samping diabaikan. Setiap irisan dianggap mempunyai faktor aman yang sama, F dan kekuatan yang dibutuhkan T_n yang sama dengan kekuatan yang tersedia pada dasar irisan dibagi dengan F .

Beberapa sifat fisik batuan utuh yang erat hubungannya dengan proses penggalian adalah :

1. Density
2. Porositas
3. Kadar Air
4. Slate Durability
5. Atterberg's Limit (Tergantung Dari Jenis Material)
6. Komposisi Mineral Keras Dan Ukurannya (Sayatan Tipis)

Dalam penelitian yang dilakukan, sifat-sifat fisik batuan yang di uji (Data sekunder) adalah:

1. Density

Density dari batuan, γ didefinisikan sebagai massa batuan tersebut dibagi dengan volume batuan dengan satuan tertentu, misalnya pound percubic feet kilonewton perkubik meter atau ton per kubik meter. Specific gravity dari benda padat, G , adalah rasio antara densitas dan unit berat dari air, W_w , dimana W_w mendekati 1 gr force / m³ (9,8

KN / m³ atau hampir 0,01MN / m³) Misalnya batuan dengan specific gravity 2,6 maka batuan tersebut akan memiliki densitas mendekati 26 KN / m³.

2. Kadar Air

Kadar air (Moisture Content) dari batuan adalah berat air, W_w , yang ada di batuan tersebut dibagi dengan berat kering batuan itu setelah dipanasi dengan oven (dalam persen).

$$W = \frac{W_w - W_s}{W_w}$$

Dimana :

W = Kadar Air (%)

W_w = Berat sampel awal

W_s = Berat sampel akhir

Sebagian besar batuan mempunyai kadar air berkisar kurang dari 1% sampai lebih dari 35% (misalnya batupasir). Banyak tambang dan pekerjaan bawah tanah, batuan memiliki sifat hampir jenuh. Hasilnya terowongan bocor dan air merembes kemana – mana melalui rekahan, lipatan dan kekar – kekar.

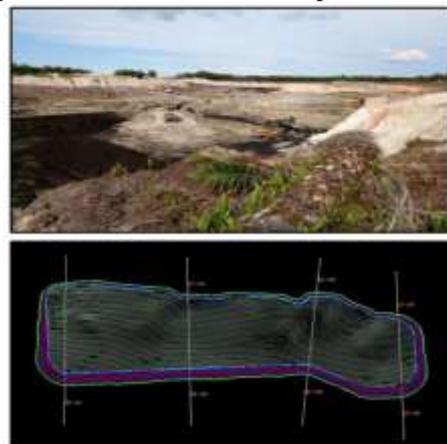
4.1.2 Gambaran Lereng (High Wall) di Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian sebagai studi kasus terletak di Pit 2A pada tambang batubara site Barito Utara. Lapisan batubara pada daerah penelitian memiliki 2 seam yaitu seam 900 dan seam 1000 serta tersebar dari jurus sekitar N 70°-110° E, kemiringan sekitar 4°-6°. Adapun pada daerah tersebut atau berdasarkan master plan PT. Fontana Resources Indonesia direncanakan akan ditambang sampai elevasi -6 di bawah permukaan laut dengan rencana geometri penambangan yakni tinggi jenjang 6 m, lebar jenjang 3-5 m, sudut kemiringan lereng untuk *single slope* 50° dan sudut kemiringan lereng untuk *overall slope* adalah 38°. Rancangan geometri lereng tersebut belum didasarkan pada perhitungan geoteknik sehingga belum diketahui nilai faktor keamanannya. Untuk itu diperlukan kajian geometri lereng sehingga tidak terjadi kelongsoran. Litologi pada lokasi penelitian meliputi *claystone*, *sandstone* dan *coal*. Ada dua tahap yang dilakukan dilapangan, antara lain;

Tahap pertama adalah memodelkan lereng yang ada di lokasi penelitian. Pada tahap ini dibutuhkan pemboran geoteknik dan peta topografi. Pemboran geoteknik berguna untuk mengetahui litologi dan karakteristik material penyusun lereng. Sedangkan peta topografi berguna untuk merepresentasikan kenampakan permukaan daerah penelitian. Peta topografi di *overlay* dengan data litologi hasil pemboran geoteknik untuk membuat sebuah penampang vertikal batuan. Setelah itu lapisan batuan antar titik bor pada satu penampang

dikorelasikan sehingga membentuk sebuah model lereng. Selain itu, diperlukan data-data pendukung seperti keterdapatn struktur geologi dan stratigrafi pada daerah penelitian untuk memberikan pengayaan kondisi geologi pada lereng secara komprehensif. Data-data tersebut peneliti peroleh dari data sekunder perusahaan.

Tahap kedua adalah penyelidikan lapangan untuk memverifikasi data-data yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya sekaligus mengetahui kondisi daerah penelitian secara lebih detail dan menemukan fenomena-fenomena yang tidak terdapat dari hasil penelitian sebelumnya. Setelah data-data terkumpul, Tahap berikutnya adalah pemodelan lereng dengan program *Slide 5.027 dari Rockscience* yang menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium*). Analisis kemantapan lereng pada penelitian ini dilakukan pada lereng penambangan. Masing-masing dari lereng tersebut dianalisis kemantapan lereng tunggal dan keseluruhannya. Berikut gambar lereng pada lokasi penelitian sebelum dilakukannya kajian geoteknik guna mengetahui litologi daerah penelitian. Pemboran geoteknik dilakukan untuk mengetahui litologi dan karakteristik batuan pembentuk lereng. Untuk mengetahui litologi batuan daerah penelitian, pemboran geoteknik dilakukan dengan membuat lubang-lubang bor pada lereng *lowwall* dan *highwall* yang jarak bervariasi. Lokasi dan banyaknya lubang bor. Beberapa lubang bor geoteknik ditempatkan pada posisi searah untuk membuat suatu penampang melintang. Dari hasil pemboran geoteknik, masing-masing hasil lubang bor yang berada pada satu penampang melintang dilakukan pengkorelasian litologi batuan penyusunnya dengan asumsi lapisan batuan daerah penelitian digolongkan homogen dan menerus. Antara penampang melintang satu dengan yang lainnya diusahakan sejajar sehingga dapat merepresentasikan kemenerusan lapisan.



Gambar 4.1: Lereng Sebelum dan sesudah di Lakukan Pengeboran Geoteknik

Dari pemboran geoteknik yang dilakukan didapatkan 4 penampang melintang yaitu, Section 1, Section 2, Section 3, Section 4. Total jarak penampang pada daerah penelitian ± 1185 meter. Sedangkan jarak antar penampang melintang bervariasi antara 352-436 meter dengan posisi relatif sejajar satu sama lainnya.

4.1.3 Litologi Lereng Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil rekapitulasi pemboran geoteknik, terdapat empat jenis material utama batuan penyusun daerah penelitian, yaitu;

a. Lereng Batupasir



Gambar 4.2: Lereng (a) Batupasir dan (b) Lempung yang ada di daerah penelitian

Batupasir pada daerah ini mempunyai warna putih kecoklatan dan kekompakan masif. Batupasir bertekstur klastik dengan endapan berasal dari rombakan batuan terdahulu akibat pelapukan dan erosi. Batuan mempunyai butiran berukuran pasir dengan bentuk membundar yang menunjukkan material tertransportasi dari daerah yang tidak terlalu jauh. Derajat keseragaman butir baik dengan komposisi fragmen Kuarsa dan Feldspar, lilitik, silika. Batuan mempunyai kemas terbuka dengan kontak antar butiran tidak ada. Porositas dan permeabilitas batuan baik sehingga batupasir dapat berfungsi sebagai lapisan akuifer. Lapisan akuifer adalah lapisan batuan yang dapat menyimpan dan meluluskan air. Karena sifat inilah, lapisan batupasir dapat dimanfaatkan untuk mengurangi tingkat kejenuhan lereng dengan cara membuat *drainhole* yang menembus lapisan batupasir. *Drainhole* yang mempunyai lubang-lubang kecil yang berfungsi sebagai jalan air pada lapisan batupasir untuk keluar. Batu lempung mempunyai warna abu-abu kehitaman dan kekompakan *massive*. Batu lempung daerah ini bertekstur klastik dengan endapan berasal dari rombakan batuan terdahulu akibat pelapukan dan erosi. Batuan mempunyai butiran berukuran lempung dengan bentuk membundar yang menunjukkan material tertransportasi dari daerah yang jauh. Derajat keseragaman butir baik dengan komposisi fragmen kuarsa, matrik lempung, dan semen karbonan. Batuan mempunyai kemas tertutup dengan terjadi kontak antar butiran. Porositas dan permeabilitas buruk sehingga lapisan batuan ini

bersifat *aquifuge*. Lapisan *aquifuge* adalah lapisan batuan yang tidak dapat menyimpan dan meluluskan air dengan baik.

b. Lereng Batulempung

Batubara di daerah penelitian memiliki ketebalan berkisar 0,9-1,3 meter untuk seam 900 dan 2-2,3 meter untuk seam 1000. Batubara termasuk batuan sedimen dengan warna hitam mengkilap dan masif, mempunyai butiran sangat halus dan terdapat sisipan karbonan. Batubara daerah ini termasuk batubara *Autochton* yaitu batubara yang terbentuk pada lingkungan pengendapan di sekitar daerah tumbuhnya tumbuhan asal pembentuk batubara tersebut. Hal ini didasarkan batubara daerah penelitian tergolong batubara dengan kadar debu atau pengotor yang rendah. Porositas dan permeabilitas batubara buruk sehingga bersifat lapisan *aquifuge*. Bila batubara mempunyai *cleat* maka dapat bersifat lapisan akuifer atau *aquiclude*. Lapisan *aquiclude* adalah lapisan yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat mengalirkannya.

c. Carbonaceous Clay

Batuan ini mempunyai karakteristik hampir sama dengan batu lempung. Hanya *carbonaceous clay* bersifat impermeable (tidak meloloskan air) dan sangat baik sebagai lapisan penutup serta mempunyai kandungan karbon yang besar dan kekuatan batuan yang sangat rendah dibanding batu lempung.

4.1.4 Data Sifat Fisik dan Mekanik Material Penyusun Lereng (Highwall)

Data sifat fisik dan mekanik diperoleh dengan melakukan Pengujian laboratorium terhadap percontohan batuan dilakukan di laboratorium Geoteknik PT Fontana Resources Indonesia pada lubang bor seri **GT-01** sampai dengan **GT-04** dengan jenis uji laboratorium yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Uji sifat fisik untuk mendapatkan parameter bobot isi basah, ρ_{wet} (t/m^3), dan bobot isi kering, ρ_{dry} (t/m^3), kadar air (%), Specific Gravity, porositas, angka pori dan derajat kejenuhan.
- Uji geser langsung untuk mendapatkan parameter kohesi, C (kPa) dan Sudut Geser dalam, δ ($^{\circ}$).
- Uji Kuat Tekan

Uji ini dilakukan untuk mendapatkan parameter modulus young, dan nisbah poisson. Uji kuat tekan dilakukan dengan cara menekan *sample* batuan dengan mesin penguji, hingga batuan pecah. Selama penekanan, dilakukan pengamatan terjadinya regangan baik secara aksial ataupun lateral. Kemudian hubungan antara tegangan dan regangan diplot ke dalam grafik yang akan menghasilkan

parameter kuat tekan, modulus young. Poison ratio. Hasil kuat tekan akan berguna dalam pengklasifikasian jenis batuan, apakah termasuk batuan atau tanah.



Sumber: Dokumentasi Tugas Akhir, (2018)

Gambar 4.3: Contoh Pengambilan Sample Core Box Didaerah Penelitian

Dari pengujian-pengujian yang dilakukan, maka parameter hasil pengujian yang digunakan untuk analisis kemandapan lereng adalah hasil uji sifat fisik dan uji kuat geser.

4.1.5 Kajian Data Geoteknik

Kajian data geoteknik ini dimaksudkan untuk menentukan sifat fisik dan mekanik batuan penyusun overburden, interburden, serta menentukan geometri lereng yang mantap.

1) Data pembedoran geoteknik

Pembedoran geoteknik di area Pit 2A ada 7 (tujuh) titik bor, yang terdiri dari Empat titik di area highwall (GT01, GT02, GT03, dan GT04) dan 3 titik di area lowwall (GT05, GT06 dan GT07). Lihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Lokasi pembedoran geoteknik

NO	NAMA TITIK BOR	LOKASI TITIK BOR	KOORDINAT		TOTAL DEPT
			EAST	NORTH	
1	GT-01	Highwall	268731,648	9879508,606	59
2	GT-02	Highwall	269166,258	9879541,933	53
3	GT-03	Highwall	269564,12	9879551,25	20
4	GT-04	Highwall	269905,951	9879466,561	20
5	GT-05	Lowwall	269156,24	9879979,411	45
6	GT-06	Lowwall	269610,381	9879997,051	54
7	GT-07	Lowwall	269885,457	9879896,228	20

4.1.6 Data Muka Air Tanah (MAT)

Air tanah adalah semua air yang terdapat pada lapisan pengandung air (akuifer) di bawah permukaan tanah, termasuk mata air yang muncul di permukaan tanah. Peranan air tanah semakin lama semakin penting karena air tanah menjadi sumber air utama untuk memenuhi kebutuhan pokok hajat hidup

orang banyak, seperti air minum, rumah tangga, industri, irigasi, pertambangan, perkotaan dan lainnya, serta sudah menjadi komoditi ekonomis bahkan di beberapa tempat sudah menjadi komoditi strategis. Diperkirakan 70% kebutuhan air bersih penduduk dan 90% kebutuhan air industri berasal dari air tanah.

Permukaan air tanah disebut *water table*, sementara lapisan tanah yang terisi air tanah disebut zona saturasi air. Model aliran air tanah itu sendiri akan dimulai pada daerah resapan air tanah atau sering juga disebut sebagai daerah imbunan air tanah (*recharge zone*). Daerah ini adalah wilayah dimana air yang berada di permukaan tanah baik air hujan ataupun air permukaan mengalami proses penyusupan (*infiltrasi*) secara gravitasi melalui lubang pori tanah/batuan atau celah/rekahan pada tanah/batuan.

Muka air tanah (*watertable*) ditunjukkan dengan pembagian dari bagian air bawah tanah (*ground water*) dan daerah kelembaban di bawah permukaan tanah. Kondisi ini dapat ditemukan dengan membuat lubang menggunakan alat bor ke dalam tanah. Air di sekelilingnya akan mengalir ke dalam lubang dan mengisi lubang tersebut sampai mencapai tinggi permukaan *watertable*.

1. Cara mengukur muka air tanah

Alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran Muka Air Tanah (MAT)

Adapun peralatan yang perlu disediakan untuk melakukan pengukuran muka air tanah ini adalah sebagai berikut:

- a. Tali/benang
- b. Bandul pemberat
- c. Meteran

Sedangkan alat yang perlu disediakan untuk melakukan pengukuran tinggi muka air tanah ini adalah sebagai berikut:

1. Formulir pencatatan data pengukuran
2. Alat tulis.

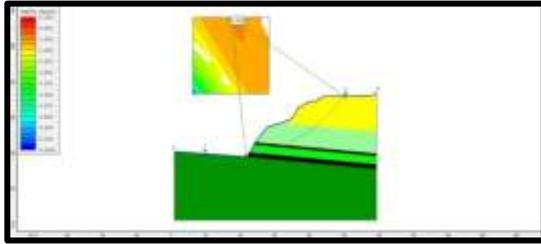
Untuk melakukan pengukuran tinggi muka air ini dapat dilakukan dengan prosedur berikut ini:

- 1) Persiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk mengukur muka air tanah.
- 2) Ikat bandul pemberat pada tali/benang yang digunakan untuk mengukur tinggi muka air tanah.
- 3) Masukkan tali/benang yang telah diikat bandul pemberat kedalam lubang bor yang telah dipasang piezometer hingga menyentuh muka air tanah.
- 4) Angkat tali/benang yang telah dimasukkan kedalam lubang bor tadi, kemudian di hitung panjang tali/benang yang masuk kedalam lubang bor dengan menggunakan meteran.

Tujuan dari dilakukannya pengukuran muka air tanah (MAT) ini adalah untuk mengetahui level air tanah.

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Analisis Lereng sebelum di desain



Geometri lereng yang ada saat ini adalah tinggi lereng tunggal 130 meter dan sudut lereng tunggal 37°. Geometri lereng tersebut setelah dilakukan analisis kestabilan lereng, ternyata belum sesuai dengan nilai faktor keamanan yang telah ditentukan, yakni lereng dikatakan stabil apabila mempunyai nilai faktor keamanan > 1,3 untuk lereng tunggal dan > 1,5 untuk lereng keseluruhan. Dengan menganalisis kestabilan lereng dari geometri lereng saat ini dengan menggunakan metode Bishop dan bantuan *Software Rocscience Slideversi 5.027* maka nilai faktor keamanan dari geometri lereng saat ini adalah 0,990.

Berikut hasil perhitungan lereng yang diperoleh dari pengujian-pengujian yang dilakukan, maka parameter hasil pengujian yang digunakan untuk analisis kemantapan lereng adalah hasil uji sifat fisik dan uji kuat geser. Hasil dari pengujian sifat fisik dan mekanik yang dilakukan di laboratorium geoteknik dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Sifat Fisik dan Mekanik Material Pembentuk Lereng di GT-01

No	Material	Sifat Mekanik			Kedalaman Sampel (meter)
		Bobot (kN/m ³)	Kohesi (Kpa)	Sudut Geser (deg)	
1	Soil	-	-	-	-
2	Sandstone	19.42	25.61	11.15	0-8
3	Claystone01	20.09	60.26	18.92	22-45
4	Coal000	11.62	188.85	25.14	-
5	Claystone02	19.77	89.62	22.84	49.60-69.70
6	Coal1000	11.22	88.27	23.26	-
7	Claystone03	21.23	119.49	24.82	50.70-62.20

Tabel 4.2 Sifat Fisik dan Mekanik Material Pembentuk Lereng di GT-02

No	Material	Sifat Mekanik			Kedalaman Sampel (meter)
		Bobot (kN/m ³)	Kohesi (Kpa)	Sudut Geser (deg)	
1	Soil	-	-	-	-
2	Sandstone	20.25	25.61	11.15	0.20-4.20
3	Claystone01	19.62	75.79	14.22	26.70-35.60
4	Coal000	11.62	188.85	25.14	28.60-28.90
5	Claystone02	25.54	52.39	22.10	41.50-66.20
6	Coal1000	11.22	88.27	23.26	48.00-68.20
7	Claystone03	20.76	72.48	22.20	48.75-69.00

Tabel 4.3 Sifat Fisik dan Mekanik Material Pembentuk Lereng di GT-03

No	Material	Sifat Mekanik			Kedalaman Sampel (meter)
		Bobot (kN/m ³)	Kohesi (Kpa)	Sudut Geser (deg)	
1	Soil	-	-	-	-
2	Sandstone	18.74	15.85	6.91	4.60-12.20
3	Claystone01	19.90	88.25	19.11	29.70-29.90
4	Coal000	11.62	188.85	25.14	-
5	Claystone02	20.50	89.62	22.84	41.20-47.60
6	Coal1000	11.22	88.27	23.26	-
7	Claystone03	21.23	119.49	24.82	50.70-62.20

Tabel 4.4 Sifat Fisik dan Mekanik Material Pembentuk Lereng di GT-04

No	Material	Sifat Mekanik			Kedalaman Sampel (meter)
		Bobot (kN/m ³)	Kohesi (Kpa)	Sudut Geser (deg)	
1	Soil	-	-	-	-
2	Sandstone	18.74	15.85	6.91	4.60-12.20
3	Claystone01	19.90	88.25	19.11	29.70-29.90
4	Coal000	11.62	188.85	25.14	-
5	Claystone02	20.50	89.62	22.84	41.20-47.60
6	Coal1000	11.22	88.27	23.26	-
7	Claystone03	21.23	119.49	24.82	50.70-62.20

4.2.2 Hasil Perhitungan Nilai Faktor Keamanan Lereng Baru Menggunakan Software Rocscience Slideversi 5.027

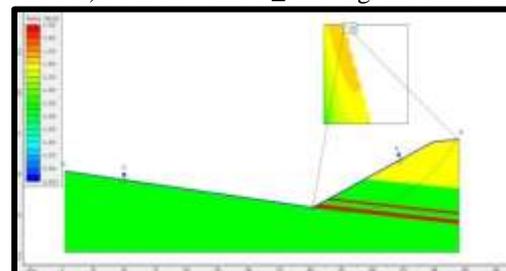
Lereng yang akan dianalisis pada Pit 2A padaterdiridariempatlereng di *highwall* total yang diberisimboldenganGT-01, GT-02, GT-03 dan GT-04. Berikut penampang masing-masing section GT 01 s.d 04 di *highwall*.

4.2.3 Hasil Simulasi Kestabilan Lereng Tunggal (Single Bench) berdasarkan Rocksciens Slides 52.07

Dari hasil simulasi perhitungan faktor keamanan lereng didapatkan dimensi lereng berupa tinggi dan sudut lereng untuk masing-masing lapisan dengan nilai faktor keamanan ≥ 1,3 dengan rincian seperti yang tertera pada tabel berikut;

a. GT_01

Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_01 dengan OSA 23°



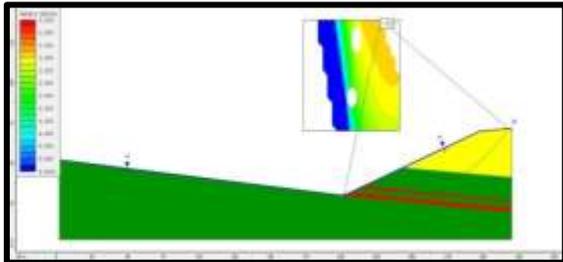
Gambar 4.10 Perhitungan kestabilan lereng GT_01_S_23°

Tabel 4.5 Perhitungan kestabilan lereng tunggal penampang GT-01

No	Section	Tinggi Lereng	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	GT_01_S_23	38	23	1.330
2	GT_01_S_27	38	27	1.172
3	GT_01_S_30	38	30	1.071
4	GT_01_S_34	38	34	0.993
5	GT_01_S_38	38	38	0.933

b. GT_02

Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_02 dengan OSA 23°

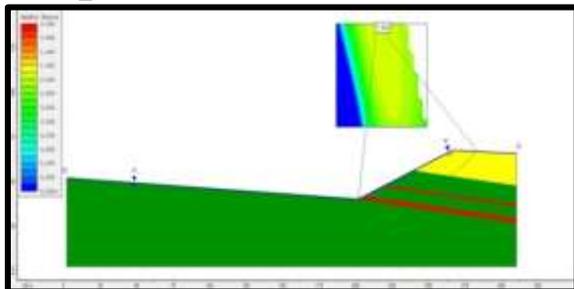


Gambar 4.11 Perhitungan kestabilan lereng GT_02_S_23°

Tabel 4.6 Perhitungan kestabilan lereng tunggal penampang GT-02

No	Section	Tinggi Lereng	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	GT_01_S_23	34	23	1.403
2	GT_01_S_27	34	27	1.333
3	GT_01_S_30	34	30	1.187
4	GT_01_S_34	34	34	1.107
5	GT_01_S_38	34	38	1.032

c. GT_03



Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_03 dengan OSA 23°

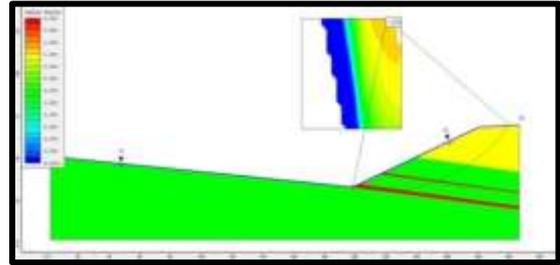
Gambar 4.12 Perhitungan kestabilan lereng GT_03_S_23°

Tabel 4.7 Perhitungan kestabilan lereng tunggal penampang GT-03

No	Section	Tinggi Lereng	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	GT_01_S_23	27	23	1.802
2	GT_01_S_27	27	27	1.803
3	GT_01_S_30	28	30	1.439
4	GT_01_S_34	28	34	1.342
5	GT_01_S_38	28	38	1.234

d. GT_04

Perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_04 dengan OSA 23°



Gambar 4.13 Perhitungan kestabilan lereng GT_04_S_23°

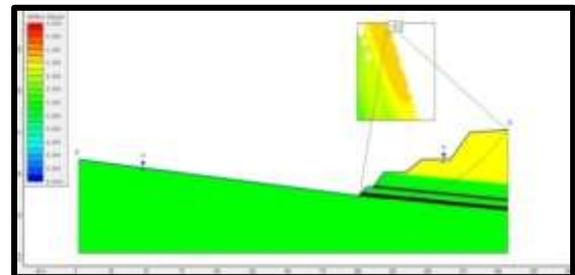
Tabel 4.8 Perhitungan kestabilan lereng tunggal penampang GT-04

No	Section	Tinggi Lereng	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	GT_01_S_23	34	23	1.403
2	GT_01_S_27	34	27	1.333
3	GT_01_S_30	34	30	1.187
4	GT_01_S_34	34	34	1.107
5	GT_01_S_38	34	38	1.032

4.2.4 Kestabilan Lereng Multi (Multi Bench)

a. GT_01

Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_01 dengan OSA 26°

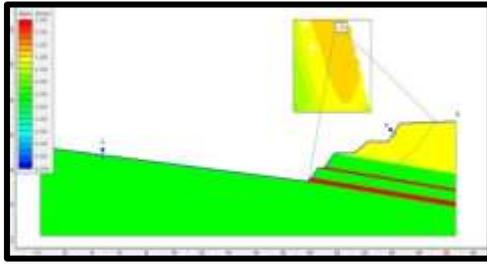


Gambar 4.14 Hasil FK Section GT_01_M_26°

Tabel 4.9 Perhitungan kestabilan lereng multi penampang GT-01

No	Tinggi Lereng (Meter)	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	33.23	26	1.274
2	32.96	29	1.178
3	33.02	33	1.057
4	32.38	38	0.911

b. GT_02



Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_02 dengan OSA 26⁰

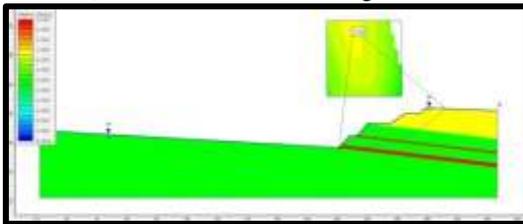
Gambar 4.15 Hasil FK Section GT_02_M_26

Tabel 4.10 Perhitungan kestabilan lereng multi penampang GT-02

No	Tinggi Lereng (Meter)	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	33.23	26	1.274
2	32.96	29	1.173
3	33.02	33	1.057
4	32.38	38	0.911

c. GT_03

Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_03 dengan OSA 26⁰.

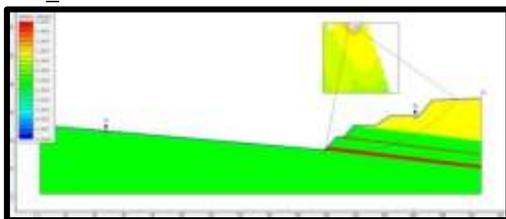


Gambar 4.16 Hasil FK Section GT_03_M_26⁰

Tabel 4.11 Perhitungan kestabilan lereng multi penampang GT-03

No	Tinggi Lereng (Meter)	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	27	26	1.655
2	27	27	1.625
3	28	30	1.436
4	28	38	1.186

d. GT_04



Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section GT_04 dengan OSA 26⁰

Gambar 4.17 Hasil FK Section GT_04_M_26⁰

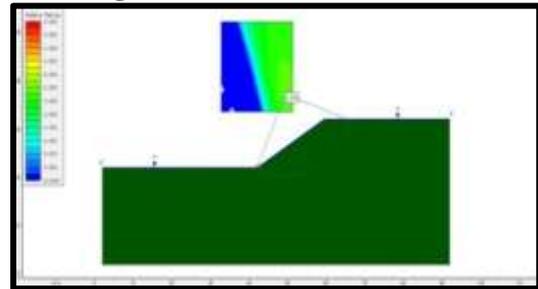
Tabel 4.12 Perhitungan kestabilan lereng multi penampang GT-04

No	Tinggi Lereng (Meter)	Sudut (°)	Faktor Keamanan
1	35	26	1.445
2	35	27	1.202
3	35	33	1.098
4	35	38	0.978

4.2.5 Kestabilan Lereng Single Slope Material Penyusun

a. Material Clay (Claystone)

i. Lereng sudut 30⁰



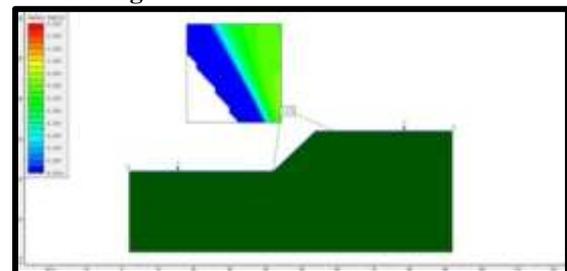
Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material claystone OSA 30⁰

Gambar 4.18 Perhitungan kestabilan lereng material clay 30⁰

Tabel 4.13: Hasil FK dari material penyusun claystone OSA 30⁰

No	Section	Tinggi Lereng	Faktor Keamanan
1	CL30_10	10	2.655
2	CL30_20	20	1.570

ii. Lereng sudut 40⁰



Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material claystone OSA 40⁰

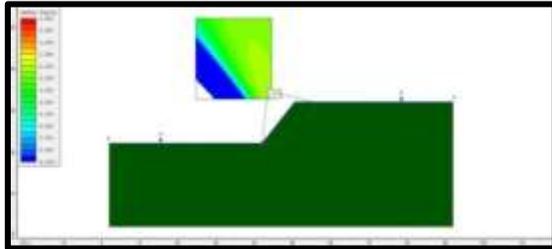
Gambar 4.19 Hasil FK dari material penyusun claystone OSA 40⁰

Tabel 4.14 Perhitungan kestabilan lereng material clay 40°

No	Section	Tinggi Lereng	Faktor Keamanan
1	CL40_10	10	2.372
2	CL40_20	20	1.319

iii. Lereng sudut 50°

Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material claystone OSA 50°

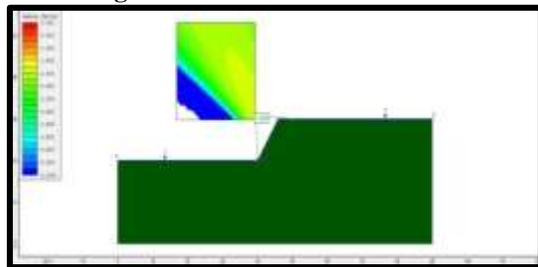


Gambar 4.20: Hasil FK dari material penyusun claystone OSA 50°

Tabel 4.15: Perhitungan kestabilan lereng material clay 50°

No	Section	Tinggi	Faktor Keamanan
1	CL50_10	10	2.079
2	CL50_20	20	1.137

iv. Lereng sudut 60°



Contoh hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material claystone OSA 60°

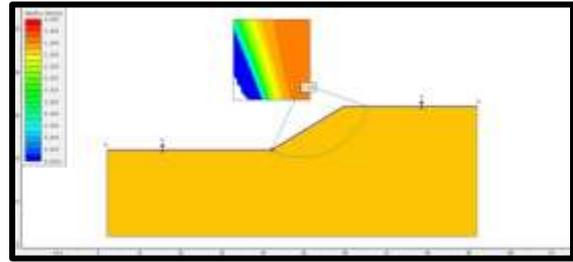
Gambar 4.21 Hasil FK dari material penyusun claystone OSA 60°

Tabel 4.16 Perhitungan kestabilan lereng material clay 60°

No	Section	Tinggi	Faktor Keamanan
1	CL60_10	10	1.834
2	CL60_20	20	0.957

b. Material Pasir (Sandstone)

i. Lereng sudut 30°



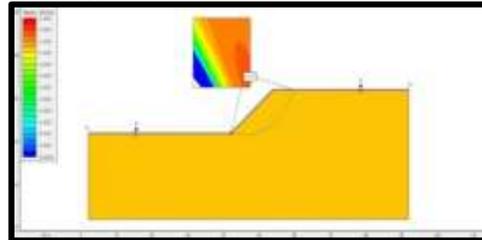
Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material Sandstone OSA 30°

Gambar 4.22 Hasil FK dari material penyusun Sandstone OSA 30°

Tabel 4.17 Perhitungan kestabilan lereng material sand 30°

No	Section	Tinggi	Faktor Keamanan
1	SS30_10	10	0.820
2	SS30_20	20	0.484

ii. Lereng sudut 40°



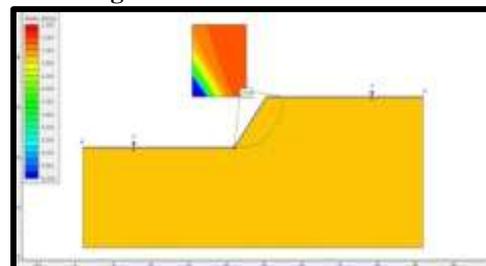
Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material Sandstone OSA 40°

Gambar 4.23 Hasil FK dari material penyusun Sandstone OSA 40°

Tabel 4.18 Perhitungan kestabilan lereng material sand 40°

No	Section	Tinggi	Faktor Keamanan
1	SS40_10	10	0.717
2	SS40_20	20	0.404

iii. Lereng sudut 50°



Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material Sandstone OSA 50°

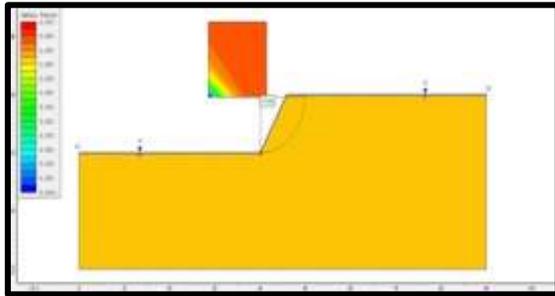
Gambar 4.24 Hasil FK dari material penyusun Sandstone OSA 50°

Tabel 4.19 Perhitungan kestabilan lereng material sand 50⁰

No	Section	Tinggi	Faktor Keamanan
1	SS50_10	10	0.639
2	SS50_20	20	0.347

iv. Lereng sudut 60⁰

Hasil perhitungan kestabilan lereng (Faktor Keamanan) dari section material Sandstone OSA 60⁰



Gambar 4.25 Hasil FK dari material penyusun Sandstone OSA 60⁰

Tabel 4.20 Perhitungan kestabilan lereng material sand 60⁰

No	Section	Tinggi	Faktor Keamanan
1	SS60_10	10	0.554
2	SS60_20	20	0.290

4.2.6 Analisis Faktor Keamanan (FK) Lereng Tunggal

Perhitungan kemantapan lereng tunggal dilakukan pada batuan penyusun lereng yaitu batupasir, batulempung dan batubara. Ketiga material dihitung faktor keamanannya dengan variasi tinggidan kemiringan lereng yang direncanakan. Sebenarnya terdapat satu batuan pembentuk lereng lagi yaitu *carbonaceous mudstone*. Tapi karena keterdapatannya lapisan batuan ini di daerah penelitian tidak tebal sehingga tidak cukup untuk membentuk suatu lereng tunggal maka tidak dilakukan perhitungan terhadapnya.

Pada perhitungan lereng tunggal dilakukan koreksi terdapat perlapisan batuan yang tidak menguntungkan karena searah jurus lereng dan ketidakterdapatannya kekar dan *carbonaceous mudstone* yang mempunyai kuat geser sangat lemah pada perhitungan Rockscien Slide 5.027. Kemiringan lereng tunggal batupasir, batulempung dan batubara pada berbagai ketinggian yang memenuhi faktor keamanan rata-rata minimum berdasarkan metode bishop. Dari perhitungan kestabilan lereng tunggal dapat terlihat bahwa untuk highwall single bench yang memenuhi nilai standar faktor keamanan lereng tunggal berdasarkan metode bishop = 1.3 adalah sebagai berikut:

1. Section high wall area GT-01 yang memenuhi standar faktor keamanan lereng adalah pada sudut kemiringan lereng 23⁰ dan tinggi maksimal lereng 38 m, dengan nilai FK = 1.33
2. Section high wall area GT-02 yang memenuhi standar faktor keamanan lereng adalah pada sudut kemiringan lereng 23⁰ dan tinggi maksimal lereng 38 m, dengan nilai FK = 1.32
3. Section high wall area GT-03 yang memenuhi standar faktor keamanan lereng adalah pada sudut kemiringan lereng 34⁰ dan tinggi maksimal lereng 28 m, dengan nilai FK = 1.34
4. Section high wall area GT-04 yang memenuhi standar faktor keamanan lereng adalah pada sudut kemiringan lereng 27⁰ dan tinggi maksimal lereng 34 m, dengan nilai FK = 1.33

4.2.7 Analisis Faktor Keamanan (FK) Lereng Multi

Analisis kemantapan lereng keseluruhan menggunakan 4 material utama yaitu batupasir, batulempung, batubara, dengan *Carbonaceous mudstone* sebagai *bedding shear*. Walaupun *Carbonaceous mudstone* tidak tebal, lapisan mempunyai kuatgeser yang sangat rendah sehingga harus diperhitungkan dalam analisis kestabilan lereng keseluruhan. Dari perhitungan kestabilan lereng multi dapat terlihat bahwa untuk highwall single bench yang memenuhi nilai standar faktor keamanan lereng multi berdasarkan metode bishop = 1.3 adalah sebagai berikut:

1. Section lereng multi high wall area GT-01 yang mendekati standar faktor keamanan lereng adalah pada overall slope 26⁰ dan tinggi maksimal lereng 38 m, dengan nilai FK = 1.25
2. Section lereng multi high wall area GT-02 yang mendekati standar faktor keamanan lereng adalah pada overall slope 26⁰ dan tinggi maksimal lereng 33 m, dengan nilai FK = 1.27
3. Section lereng multi high wall area GT-03 yang mendekati standar faktor keamanan lereng adalah pada overall slope 34⁰ dan tinggi maksimal lereng 28 m, dengan nilai FK = 1.43
4. Section lereng *multi high wall area* GT-04 yang mendekati standar faktor keamanan lereng adalah pada overall slope 26⁰ dan tinggi maksimal lereng 34 m, dengan nilai FK = 1.44

4.2.8 Analisis Faktor Keamanan Lereng Tunggal Material Penyusun

1. Material clay (claystone)

Dari perhitungan nilai faktor keamanan kemiringan lereng tunggal batu lempung (clay) pada berbagai ketinggian yang memenuhi faktor keamanan minimum. Dari perhitungan tersebut diperoleh kesimpulan, lereng tunggal batulempung masih aman

sampai ketinggian 10 meter dengan kemiringan 60° dengan faktor keamanan lebih besar dari 1.3 atau lebih tepatnya 1.834. Ketinggian 20 meter dengan kemiringan 40° dengan faktor keamanan 1.319. Perhitungan dilakukan pada keadaan lereng jenuh sehingga telah mengantisipasi kondisi terburuk di lapangan. Dengan kata lain dengan geometri lereng diatas, lereng batulempung akan aman baik dalam kondisi kering maupun kondisi basah sehingga dapat diterapkan pada musim kemarau ataupun penghujan.

2. Material batu pasir (sandstone)

Dari perhitungan nilai faktor keamanan kemiringan lereng tunggal batupasir pada berbagai ketinggian yang memenuhi faktor keamanan minimum. Dari perhitungan tersebut diperoleh kesimpulan, lereng tunggal batupasir akan aman dengan ketinggian maksimal 10 meter dan kemiringan kurang dari 30° dengan faktor keamanan pada lereng tinggi 10 m dan sudut 30° adalah 0.820. Perhitungan dilakukan pada keadaan lereng jenuh sehingga telah mengantisipasi kondisi terburuk di lapangan. Dengan kata lain dengan geometri lereng diatas, lereng batupasir akan aman baik dalam kondisi kering maupun kondisi basah sehingga dapat diterapkan pada musim kemarau ataupun penghujan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis yang dilakukan pada lokasi telitian Pit 2A Barat PT. Fontana Resources Indonesia dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya yaitu :

1. Pemboran geoteknik di area Pit 2A ada 7 (tujuh) titik bor, yang terdiri dari 4 titik di area highwall (GT01, GT02, GT03, dan GT04) dan 3 titik di area low-wall (GT05, GT06 dan GT07)
2. Litologi batuan penyusun lereng highwall Pit 2A terdapat 4 jenis material penyusun utama, yaitu batu pasir (sandstone), batu lempung (claystone), batubara (coal) dan *carbonaceous clay*.
3. Lereng tunggal sisi high wall pada lapisan overburden dianggap aman dengan FK mendekati 1.3 pada area GT-01 adalah pada ketinggian maksimum 38 m dengan kemiringan 23° , area GT-02 adalah pada ketinggian maksimum 38 m dengan kemiringan 23° , area GT-03 adalah pada ketinggian maksimum 28 m dengan kemiringan 34° dan area GT-04 adalah pada ketinggian maksimum 34 m dengan kemiringan 27°
4. Lereng multi sisi high wall pada lapisan overburden dianggap aman dengan FK mendekati 1.3 pada area GT-01 adalah pada ketinggian maksimum 38 m dengan kemiringan 26° , area GT-02 adalah pada ketinggian maksimum 33 m dengan kemiringan 26° , area GT-03 adalah pada

ketinggian maksimum 28 m dengan kemiringan 30° dan area GT-04 adalah pada ketinggian maksimum 34 m dengan kemiringan 26° .

5. Dimensi lereng kerja masing-masing lapisan; Material Claystone : tinggi 10 meter; sudut lereng 60°
6. Material Sandstone : tinggi < 10 meter; sudut lereng < 30°

5.2 Saran

Kesimpulan di atas diketahui bahwa hampir seluruh lereng berpotensi tidak stabil pada kondisi jenuh air dan sebagian pada kondisi setengah jenuh, untuk itu perlu dilakukan beberapa tindakan perbaikan untuk mencegah kejadian tersebut, meskipun pada kenyataannya kondisi jenuh total tidak mungkin terjadi pada lokasi penelitian. Beberapa hal yang dapat dilakukan sebagai tindakan perbaikan adalah sebagai berikut;

1. Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak Gaya atau momen penggerak dapat diperkecil hanya dengan merubah bentuk lereng yang bersangkutan. Ada dua cara yaitu :
 - a. Membuat lereng lebih datar, yaitu mengurangi sudut kemiringan
 - b. Memperkecil ketinggian lerengUmumnya cara ini hanya dapat dipakai pada lereng yang ketinggiannya terbatas, yaitu dalam hal kelongsoran yang bersifat *rational slide*.
2. **Pemantauan lereng;** Pengamatan lereng secara berkala perlu dilakukan untuk mengetahui dan pergerakan badan lereng, dengan alat pemantau lereng seperti *Crackmeter*, *ekstensometer* dan atau *inclinometer*.

ACKNOWLEDGMENT

Penghargaan dan ucapan terimakasih kepada PT. Fontana Resources Indonesia Kabupaten Barito Utara Kalimantan Tengah, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan observasi dan pengukuran Mine Highwall pada site area tambangnya dilapangan yaitu observasi data primer ataupun dalam memndapatkan data sekunder serta termasuk segala dukungan baik Moril dan materil yang telah diberikan kepada penulis selama di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.L., 1985 “Sifat-sifat Fisis International student Edition, MC. Grw-Hill dan Geoteknis Tanah.” (alih bahasa), Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.L., 1985 “Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah.” (alih bahasa), Erlangga, Jakarta.

- G.Tjatmiko S. dan S.J. Eddy Purnomo, 1993, "Mekanika Tanah," Edisi 1-2, Kanisius, Malang.
- Hoek, E., Bray, J.W,1981, "Rock Slope Engineering", Institution of Mining and Metallurgy, London.
- International Society of Rock Mechanics,1981,"International Society of Rock Mechanics", ISRM, ,
- Karl Terzagi & Ralph B. Peck,1987., "Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa" jilid 1 dan 2 Edisi ke-5, Erlangga, Jakarta.
- Lambe, William T, 1951, "Soil Testing for Engineering, Jhon Wiley & Sons Inc. New York.
- Newmark, N.M. , Effects of Earthquakes on Dams and Embankments Geotechnique, 1965.
- , 2000. "Rockscience, Slide user's Guide, Rockscience Inc." Canada.
- Wesley, L.D, 1997, "Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.