

ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG BATUBARA TERBUKA PIT D SELATAN PT. ARTHA NIAGA CAKRABUANA JOB SITE CV. PRIMA MANDIRI DESA DONDANG KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Kornelis Bria¹, Ag. Isjudarto²

Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jogjakarta
Captencornelis@yahoo.com

Abstrak

Kelerengan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menjamin keamanan dan kelancaran suatu operasi penambangan. Karena kegiatan penambangan tidak akan lepas dari keberadaan lereng pada daerah didalam tambang maupun lokasi – lokasi lainnya seperti jalan tambang, *stockpile*, dan lain sebagainya. Semoa lokasi tersebut membutuhkan keamanan yang baik untuk menjamin kelancaran penambangan. Adanya kegiatan penambangan, seperti penggalian pada suatu lereng akan menyebabkan terjadinya perubahan gaya – gaya pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan pada akhirnya terjadi longsor pada lereng tersebut. Longsoran sering terjadi pada lokasi dengan keadaan geologi, morfologi, hidrologi dan iklim yang kurang menguntungkan. Longsoran secara alami terjadi antara lain karena menurunnya kemantapan suatu lereng, akibat degradasi tanah/batuan bersamaan waktu dan usianya.

Kata Kunci: Lereng, Kelongsoran, Sudut Geser Dalam, Kohesi, Faktor Keamanan

1. Pendahuluan

Longsoran merupakan suatu bencana alam yang sering terjadi pada lereng – lereng alami maupun buatan kebanyakan longsor terjadi pada saat tekanan air tanah meningkat yang mengakibatkan penurunan kuat geser tanah (c), dan sudut geser dalam (ϕ) yang menyebabkan kelongsoran.

Pada saat merancang suatu tambang terbuka maka dilakukan suatu analisis terhadap kestabilan lereng yang terjadi karena proses penibunan atau penggalian sehingga dapat memberikan keamanan pada rancangan tersebut. Stabilitas dari suatu lereng biasanya menjadi masalah yang membutuhkan perhatian yang lebih bagi kelangsungan operasi penambangan setiap harinya.

Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis kestabilan lereng sangat diperlukan. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung nilai faktor keamanan.

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang rendah. Lereng umumnya terbentuk baik secara alami maupun dibuat oleh manusia.

Kestabilan suatu lereng dikontrol oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng, kondisi air tanah dan juga teknik penggalian 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 agar dapat dipastikan lereng tersebut disebut aman atau stabil.

Apabila kestabilan dari suatu jenjang dalam operasi penambangan meragukan, maka kestabilannya harus dimulai berdasarkan struktur geologi, kondisi air tanah dan faktor pengontrol lainnya yang terjadi pada suatu lereng. Kestabilan lereng pada batuan dipengaruhi oleh geometri lereng, struktur batuan, sifat fisik dan mekanik batuan serta gaya-gaya luar yang bekerja pada lereng tersebut.

Satu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan studi tentang kestabilan lereng, maka dibagi tiga kelompok rentang Faktor Keamanan (FK) yang ditinjau dari intensitas kelongsorannya

Tabel 1 Nilai faktor keamanan dan Intensitas Longsor

Nilai faktor Keamanan	Kejadian atau Intensitas Longsoran
FK < 1,07	Longsoran terjadi biasa /

	sering (kelas labil)
FK antara 1,07 – 1,25	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)
FK > 1,25	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)

Sumber: Bowles, 1989

Menurut Bowles, lereng yang stabil memiliki harga FK yang tinggi ($FK > 1,25$) dan lereng yang tidak stabil memiliki harga FK yang rendah ($FK < 1,07$). (Bowles, 1989)

Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Umumnya stabil atau tidaknya suatu lereng tergantung dari beberapa faktor, antara lain:

1) Geometri Lereng

Geometri lereng meliputi bentuk lereng, baik tinggi lereng dan besar sudut lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang.

2) Struktur Batuan

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kestabilan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah (diskontinuitas) dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor. Jika orientasi umum bidang-bidang lemah tersebut searah dengan arah lereng dan kemiringan bidang lemah lebih landai dari kemiringan bidang lereng. Maka struktur tersebut mempunyai pengaruh langsung yang lebih besar terhadap stabilitas lereng, sebaliknya jika arah dan kemiringan bidang lereng berlawanan maka struktur bidang lemah tersebut mempunyai pengaruh langsung yang lebih kecil terhadap stabilitas lereng.

Struktur geologi mempunyai kemantapan lereng adalah adanya bidang ketidakmenerusan. Hal yang paling penting dalam bidang ketidakmenerusan adalah adanya pengaruh tekanan air yang berbeda pada saat rekahan ditarik. Selain adanya rembesan air pada bidang ketidakmenerusan tersebut, rekahan tarik juga akan terisi oleh material pengisi yang dapat memisahkan dua sisi batuan, batuan tersebut akan memiliki kuat geser yang kecil untuk menahan potensi longsoran.

Kondisi bidang lemah dan penyebaran perlu diketahui untuk menentukan arah dan jenis longsoran yang terjadi pada massa batuan tersebut. Bila jenis longsoran diketahui, maka lebih mudah untuk menentukan geometri yang mantap dengan melakukan analisa kestabilan lereng.

3) Kandungan Air Tanah

4) Kandungan air tanah sebagai *moisture* tanah pada lereng yang bersangkutan akan memberikan tambahan beban yang besar pada

lereng. Selain itu juga, kondisi material yang jenuh dengan air tanah akan mengalami penurunan kekuatan geser akibat adanya tekanan air pori di dalam tubuh material tersebut.

Penambahan air tanah pada pori-pori tanah atau batuan akan memperbesar beban dan pada akhirnya menimbulkan gaya penggerak yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor.

Kondisi air tanah yang dimaksud disini adalah ketinggian level air tanah yang berada di bawah permukaan lereng. Pengaruh air tanah terhadap kestabilan lereng yaitu adanya tekanan ke atas dari air pada bidang – bidang lemah yang secara efektif mengurangi kekuatan geser dan mempercepat proses pelapukan dari batuan.

5) Berat Beban Yang Ditanggung Oleh Lereng

Pada suatu lereng yang menanggung beban massa, semakin berat beban yang ditanggung lereng maka semakin besar potensi lereng untuk mengalami pergerakan. (Bowles, 1989)

6) Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

a. Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan terdiri dari:

- Bobot isi asli (*natural density*)
- Bobot isi kering (*dry density*)
- Bobot isi (*saturated density*)
- Berat Jenis Semu (*apparent specific gravity*) Berat jenis sejati (*true specific gravity*) Kadar air asli (*natural water content*) *Saturated water content (absorption)*
- Derajat Kejenuhan
- Porositas
- Void Ratio

b. Uji Sifat Mekanik

Uji Kuat Tekan (*Unconfined Compression Strength/UCS*)

Data hasil pengujian kuat tekan, dapat digambarkan kurva tegangan – regangan (*stress – strain*) untuk tiap percontoh batuan. Kemudian dari kurva ini dapat ditentukan sifat mekanik batuan:

1. Kuat tekan (σ_c)
2. Batas elastik (σ_E)
3. Modulus *young*
4. *Poisson's ratio*: pada tegangan σ_1

c. Uji Triaksial

Salah satu uji yang terpenting di dalam mekanika batuan, untuk menentukan kekuatan batuan dibawah tiga komponen tegangan adalah uji triaksial. Contoh yang digunakan berbentuk silinder dengan syarat – syarat sama pada uji kuat tekan:

Dari hasil uji triaksial dapat ditemukan:

1. *Strength envelope* (kurva *intrinsic*)
2. Kuat geser (*shear strength*)
3. Sudut geser dalam (ϕ)

4. Kohesi (C)

d. Uji Geser Langsung

1. Uji ini digunakan untuk mengetahui kuat geser batuan pada tegangan normal tertentu. Dari hasil uji dapat ditentukan:
2. Garis *coulomb's shear strength*
3. Kuat geser (*shear strength*)
4. Sudut geser dalam ()
5. Kohesi (C)

7) Gaya Dari Luar

Gaya – gaya dari luar yang dapat mempengaruhi (mengurangi) kestabilan suatu lereng adalah:

- a. Getaran yang diakibatkan oleh gempa.
- b. Peledakan di dekat lereng.
- c. Pemakaian alat – alat mekanis yang berat. (Bowles, 1989)

Tujuan yang akan di capai dalam melakukan penelitian ini adalah:

- Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan dengan metode Spencer.
- Mencari solusi yang tepat untuk mengatasi bahaya kelongsoran.

2. Metode

2.1 Metode pengumpulan data

Dalam melaksanakan penelitian ini data – data yang berhubungan dengan analisa didapat dengan dua cara, yaitu melakukan studi literatur dan penelitian langsung di lapangan.

Berikut ini data – data yang diperoleh selama melakukan penelitian:

- Data properties massa batuan (*Unit Weight, Cohesi, dan Sudut Geser Dalam*)
- Data *log bor* daerah penelitian.

2.2 Metode Analisis data

Data – data yang diperoleh dari penelitian di lapangan dan studi literatur selanjutnya dapat diolah untuk dipakai dalam melakukan analisa. Analisa untuk mengetahui kestabilan lereng ini selanjutnya menggunakan perangkat lunak komputer yakni dengan *software slide 6.0* dengan parameter yang telah tersedia.

Metode analisa yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Kestimbangan Batas yakni Metode Spencer. Metode Spencer Merupakan salah satu metode yang memperhitungkan gaya baik gaya vertikal maupun gaya horizontal dan juga memperhitungkan momen.

Tabel 2 Persamaan dan variabel yang tidak diketahui

Persamaan	Keterangan
N	Kesetimbangan momen untuk tiap irisan
N	Kesetimbangan gaya dalam arah vertikal
N	Kesetimbangan gaya dalam

	arah horizontal
N	Kriteria keruntuhan (persamaan Mohr – Coulomb)
4n	Jumlah total persamaan

Variabel yang tak diketahui	Variabel
1	Faktor keamanan (F)
N	Gaya normal pada dasar tiap irisan (N)
N	Titik kerja gaya normal pada dasar tiap irisan
N	Gaya geser pada dasar tiap irisan (Sm)
n – 1	Gaya geser antar irisan (X)
n – 1	Gaya normal antar irisan (E)
n – 1	Titik kerja gaya antar – irisan (garis dorong)
6n – 1	Jumlah total variabel yang tidak diketahui

Sumber: Arief Saefudin 2009

Hampir semua metode irisan mengasumsikan bahwa titik kerja dari gaya normal pada dasar di irisan terletak pada tengah dari dasar irisan, asumsi menyebabkan jumlah variabel yang tak diketahui akan berkurang menjadi ($5_n - 2$). Masih terdapat sejumlah ($n - 2$) asumsi tambahan yang di perlukan untuk menjadikan persoalan statik tak tentu menjadi persoalan statik tertentu. Terdapatnya beberapa variasi metode irisan disebabkan oleh adanya perbedaan asumsi tambahan yang digunakan. Asumsi yang digunakan oleh beberapa metode irisan dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 3 Asumsi – asumsi yang digunakan oleh beberapa metode irisan

Metode	Asumsi
Irisan Biasa (Fellenius)	Resultan gaya irisan – irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh.
Bishop Disederhanakan	Gaya geser antar – irisan sama dengan nol ($X = 0$)
Janbu Disederhanakan	Gaya geser antar – irisan sama dengan nol ($X = 0$). Faktor koreksi digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan efek dari gaya geser antar irisan.
Janbu Yang Umum	Letak gaya antar – irisan didefinisikan oleh garis gaya antar irisan yang diasumsikan.
Lowe – Karafiath	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal

	antar – irisan besarnya sama dengan: <ul style="list-style-type: none"> • Kemiringan permukaan lereng, atau • Kemiringan dari kaki bidang runtuh ke puncak bidang runtuh
Spencer	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar – irisan adalah sama untuk semua irisan.
Morgestern – Price	Kemiringan gaya geser antar – irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.
Kesetimbangan batas umum	Sudut gaya antar – irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang di asumsikan.

Sumber: Arief Saefudin 2009

Jumlah irisan yang digunakan akan menentukan kondisi kesetimbangan yang dapat di penuhi, apabila jumlah asumsinya melebihi $(n - 2)$ maka tidak semua kondisi kesetimbangan dapat dipenuhi. Kondisi kesetimbangan yang di penuhi oleh beberapa metode irisan seperti pada tabel 8.4 berikut.

Tabel 4 Kondisi Kesetimbangan Yang Dipenuhi

Metode	Kesetimbangan Gaya		Kesetimbangan momen
	Vertikal	Horisontal	
Irisan Biasa (Fellenius)	Tidak	Tidak	Ya
Bishop Yang Disederhanakan	Ya	Tidak	Ya
Janbu Yang Disederhanakan	Ya	Ya	Tidak
Janbu Yang Umum	Ya	Ya	Tidak
Lowe – Karafiath	Ya	Ya	Tidak
Corps of Engineers	Ya	Ya	Tidak
Spencer	Ya	Ya	Ya
Morgestern – Price	Ya	Ya	Ya
Kesetimbangan Batas Umum	Ya	Ya	Ya

Sumber: Arif Saefudin, 2009

Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat di penuhi, metode irisan dapat di kelompokkan menjadi dua kategori:

1. Metode yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain yaitu metode Irisan Biasa, Metode Bishop Yang Disederhanakan, dan metode Corps of Engineer.
2. Metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain Metode Spencer, Metode Morgestern – Price dan Metode Kesetimbangan Batas Umum.

FAKTOR PENYEBAB DAN PEMICU TERJADINYA LONGSOR

Faktor – faktor penyebab terjadinya tanah longsor dapat disebabkan karena adanya gaya gravitasi. Selain itu pula, faktor penyebab tanah longsor dapat dipengaruhi oleh :

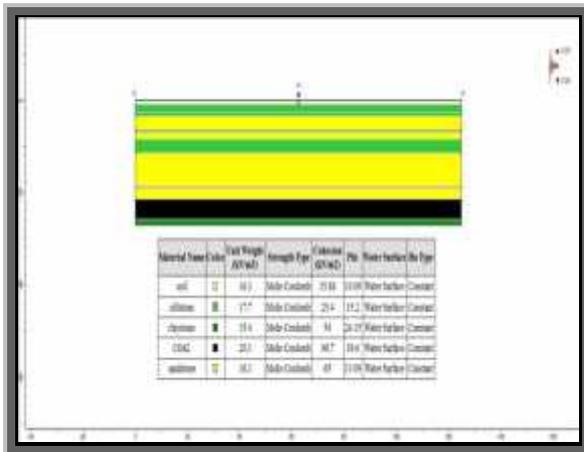
1. Kemiringan lereng
Semakin besar sudut lereng, semakin besar pula daya dorong yang disebabkan meningkatnya tegangan geser (*shearing stress*) berbanding terbalik dengan tegangan normal (*normal strength*) berupa kekuatan penahan.
2. Litologi
Tergantung mudah/tidaknya batuan mengalami pelapukan batuan, besar kecilnya porositas/permeability. Semakin mudah batuan melapuk, semakin mengurangi kohesi dan kekuatan batuan penyusun kondisi stratigrafi batuan, terutama jika lapisan batuan keras berselang-seling dengan lapisan batuan lunak, maka batuan yang lunak dapat menjadi faktor penyebab tanah longsor.
3. Struktur geologi dan batuan.
Zona sesar merupakan zona batuan yang mengalami penghancuran disebabkan pergeseran blok – blok batuan pada bidang patahan. Pada zona sesar tersebut daya tahan menjadi lemah, sehingga lebih mudah mengalami proses pelapukan, erosi dan tanah longsor. Bidang permukaan sesar, lapisan batuan, kekar, retakan, zona bidang batas soil dan batuan dasar, kontak batuan merupakan bidang diskontinuitas, dapat menjadi bidang gelincir apabila arah kemiringannya searah dengan kemiringan lereng.
4. Kandungan air pori
Tinggi rendahnya permukaan airtanah (*water table*), terhadap bidang diskontinuitas dan permukaan lereng juga merupakan salah satu faktor pendorong terjadinya gesekan massa.
Beberapa macam kondisi yang dapat memicu terjadinya proses tanah longsor, diantaranya:
 - a. Infiltrasi air kedalam lereng
 - b. Pembebanan lereng
 - c. Perubahan fisik lereng
 - d. Getaran mesin, alat berat dan gaya berat.

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui hubungan anatar parameter kestabilan lereng, diperlukan kondisi aktual dari lereng yang akan dianalisis. Model tersebut diperoleh setelah dilakukan analisis terhadap karena itu diperlukan untuk analisis terhadap kondisi lereng tersebut.

Berdasarkan data *log bor* yang di dapat dari pemboran yang berada pada daerah penelitian terdiri dari lapisan tanah (*soil*), batulempung (*claystone*), dan batubara (*coal*).

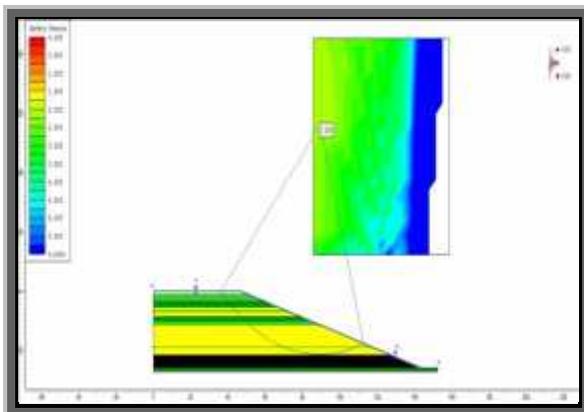
Dari properties massa batuan diatas makan dapat dibuat litologi daerah penelitian dengan mengimput data – data tersebut kedalam software slide yakni:



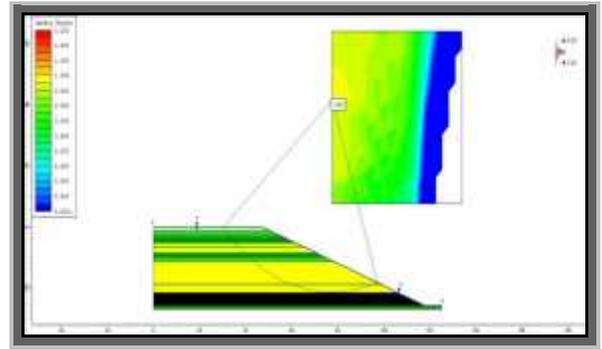
Gambar 1 Litologi daerah Penelitian

Berdasarkan material pembentukannya lereng dibedakan menjadi lereng tanah dan lereng batuan. Disebut batuan apabila memiliki kuat tekan lebih besar dari 1 Mpa dan lereng tanah bila kuat tekan kurang dari 1 Mpa. Berdasarkan material pembentuknya maka kondisi lereng tanah dengan nilai kuat tekan kurang dari 1 Mpa.

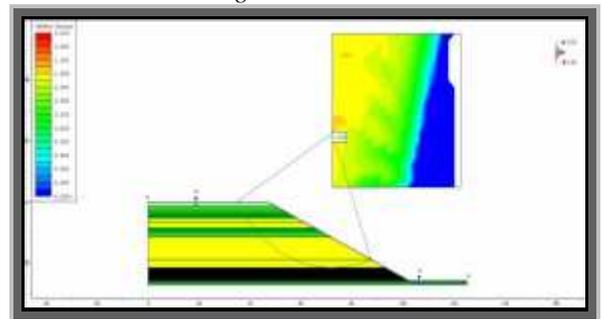
Dari data properties massa batuan diatas diadakan analisis dan didapatkan hasil sebagai berikut:



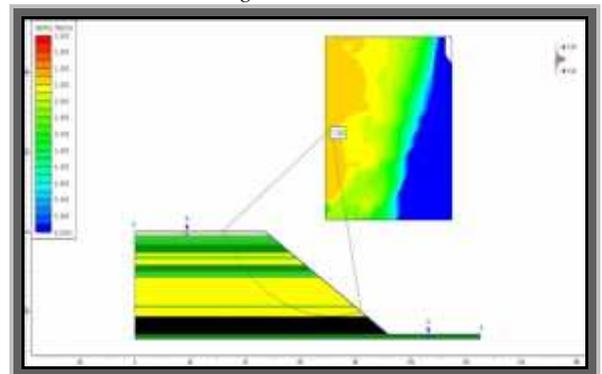
Gambar 2 Kondisi Lereng Pada ketinggian 25,80m dan Sudut 15⁰



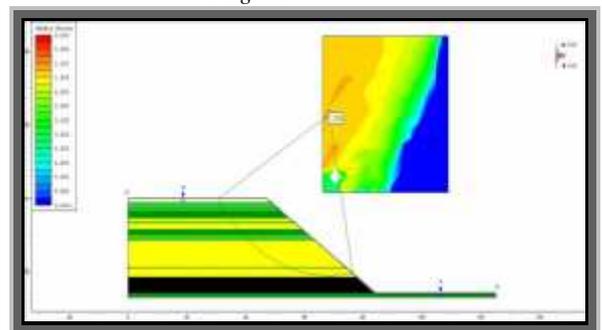
Gambar 3 kondisi lereng pada ketinggian 25,80m dengan sudut 20⁰



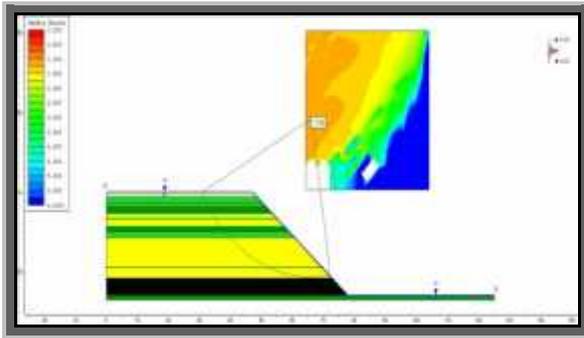
Gambar 4 kondisi lereng pada ketinggian 25,80m dengan sudut 25⁰



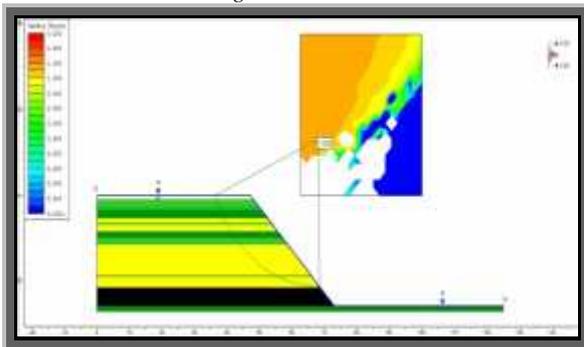
Gambar 5 kondisi lereng dengan ketinggian 25,80m dengan sudut 30⁰



Gambar 6 kondisi lereng dengan ketinggian 25,80m dengan sudut 35⁰



Gambar 7 kondisi lereng pada ketinggian 25,80m dengan sudut 40°



Gambar 8 kondisi lereng pada ketinggian 25,80m dengan sudut 45°

TINDAKAN PENANGANAN KELONGSORAN YANG TERJADI

1. Perbaikan Geometri Lereng

Tindakan ini dilakukan untuk memperoleh atau menciptakan geometri lereng yang aman. Perbaikan geometri lereng dapat dilakukan dengan:

- Mengurangi tinggi lereng, dengan membagi satu lereng yang terlalu tinggi menjadi beberapa lereng yang lebih pendek atau dengan memotong bagian atas lereng.
- Mengurangi sudut kemiringan sehingga lebih landau

2. Penanganan Air permukaan dan Air Tanah

■ Penanganan Air Permukaan

- Untuk penanganan air permukaan pada lereng dapat dilakukan dengan membuat saluran permukaan. Pembuatan saluran air ini berfungsi agar tidak terjadi genangan air di permukaan lereng pada saat musim hujan dan juga berfungsi untuk mencegah terjadinya erosi di permukaan lereng.
- Membuat saluran permukaan yang dibuat pada bagian luar dari lereng dan mengelilingi daerah lereng, sehingga dapat mencegah masuknya air permukaan yang datang dari air hujan dan dari lokasi yang lebih tinggi dari lereng tersebut.

■ Penanganan Air Tanah

- Penurunan muka airtanah dilakukan guna mengurangi atau menghilangkan gaya nilai air dan meningkatkan kuat

geser material lereng. Penurunan muka airtanah dilakukan secara horizontal dengan cara pemasangan pipa – pipa penirisan dengan panjang tertentu pada permukaan lereng baik dengan pemompaan maupun tanpa pemompaan sehingga akan menurunkan permukaan airtanah.

3. Stabilisasi dengan menggunakan vegetasi

- Penggunaan vegetasi atau tanaman untuk menjaga stabilitas lereng dan pengontrolan erosi air. Dengan adanya tanaman pada lereng akan meningkatkan faktor keamanan, karena adanya beban tambahan dan gaya tarik akar yang ditimbulkan oleh tanaman. Peningkatan faktor keamanan yang terjadi berkisar antara 20% - 25%
- Jenis – jenis tanaman yang dapat digunakan untuk menjaga stabilitas lereng dan pengontrolan erosi antara lain rumput – rumputan, alang – alang palawija, kacang – kacang, semak – semak dan lainnya. Akan tetapi dalam pelaksanaannya tergantung dengan kondisi lapangan. Faktor – faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis tanaman ini berdasarkan iklim dan cara penanaman.

4. Pemantauan lereng

Kegiatan pemantauan lereng secara berkala perlu dilakukan untuk mengetahui adanya gerakan tanah yang mungkin terjadi baik yang tampak di permukaan maupun yang tidak tampak di permukaan, dengan demikian apabila terjadi gejala ketidakstabilan dapat segera dilakukan upaya pencegahan.

5. Saluran air

Saluran air yang berada di area Pit Utara kurang maksimal dalam mengalirkan air limpasan ketika hujan datang ataupun mengalirkan air permukaan. Sehingga, air akan selalu tertampung dalam saluran air tersebut. Yang menyebabkan membuat jenuh tanah. Sehingga potensi longsor terjadi.

4. Kesimpulan

Dari beberapa analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian tersebut akan aman apabila rancangan lereng yang dilakukan berada pada kisaran sudut antara 10° – 25° . Menurut Bowless 1989, nilai faktor keamanan yang intensitas longsornya dikatakan aman adalah nilai faktor keamanan $FK > 1,25$.

Penelitian ini masih sangat kurang sehingga sangat dianjurkan untuk penelitian selanjutnya agar menjadi lebih baik lagi sangat diharapkan berbagai kritik dan saran yang membangun dalam kemajuan karya tulis ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian karya tulis ini Yakni Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberikan rahmat kesehatan sehingga penyelesaian karya tulis boleh terselesaikan dengan baik. Para pembimbing yakni para dosen Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta secara khusus para dosen jurusan teknik pertambangan yang membimbing hingga penyelesaian karya tulis. Dan juga buat teman – teman seangkatan yang sudah membantu berupa gagasan dan semua saran yang membangun.

DAFTAR PUSTAKA

Arief Saifuddin, “*Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Irisan*”, 2009

Bowless J. E, “*Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*”, Edisi Kedua, Erlangga: Jakarta, 1989

Hoek, E. and Bray, J. W., “*Rock Slope Engineering*” 3rd Ed, *The Institution of Mining and Metallurgy*: London, 1981

Made Astawa Rai, Dr. Ir. “*Mekanika Batuan*”, Laboratorium Geoteknik Pusat Antar Mahasiswa Universitas – Ilmu Rekyasa – Institut Teknologi Bandung: ITB

Made Astawa Rai, Dr. Ir dan Anung Dri Prasetya, Ir, “*Kemantapan Lereng Batuan*”, Kursus Pengawas Tambang, 1998