

Bidang penelitian: Lingkungan

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**EVALUASI KEMANTAPAN LERENG FINAL PASCA REKLAMASI PT. BUKIT
ASAM (PERSERO) UNIT PENAMBANGAN TANJUNG ENIM
SUMATERA SELATAN**



Oleh:

Ketua peneliti : Dr. Ir. H. Marwan Asof, Dipl-Ing., DEA. (0011115805)
Anggota peneliti : Rosihan Pebrianto, S.T., M.T. (0010029003)
Alieftiyani Paramita Gobel, S.T., M.T. (0021089302)
Alek Al Hadi, S.T., M.T. (0010069008)

Dibiayai oleh:

Anggaran DIPA Badan Layanan Umum
Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2021
Nomor SP DIPA-023.17.2.677515/2021, tanggal 23 November 2020
Sesuai dengan SK Rektor
Nomor : 0022/UN9/SK.LP2M.PT/2021
Tanggal 21 Juli 2021

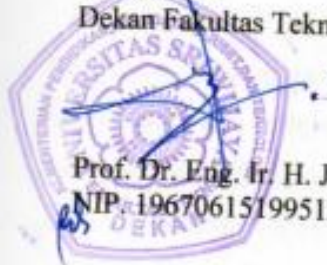
**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Tahun anggaran 2021**

**HALAMAN PENGESAHAN PROPOSAL
SKEMA PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF**

1. Judul Penelitian : Evaluasi Kemantapan Lereng Final Pasca Reklamasi PT. Bukit Asam (Persero) Unit Penambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan
2. Bidang Penelitian : Lingkungan
3. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. H. Marwan Asof, Dipl-Ing., DEA.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIDN/NIDK : 0011115805
 - d. Pangkat dan Golongan : Pembina IV.a
 - e. Pendidikan Terakhir : S3 Teknik Pertambangan
 - f. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - g. Fakultas/Jurusan/Prodi : Teknik/Teknik Pertambangan
 - h. Alamat/Kantor : Jln. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang
 - i. Telepon/Faks : -
 - j. Alamat Rumah : Jln. Seruni Palembang
 - k. Telepon/HP/Faks/E-mail : 082280411658
- 4 Jumlah Anggota Peneliti :
- a. Nama Anggota I : Rosihan Pebrianto, S.T., M.T.
NIDN/NIDK : 0010029003
 - b. Nama Anggota II : Alieftiyani Paramita Gobel, S.T., M.T.
NIDN/NIDK : 0021089302
 - c. Nama Anggota III : Alek Alhadi, S.T., M.T.
NIDN/NIDK : 0010069008
5. Jangka Waktu Penelitian : 1 Tahun
- 6 Jumlah Dana yang Disetujui : Rp. 45.000.000
7. Target Luaran TKT : TKT 6 Demonstration model atau prototype system/subsistem dalam suatu lingkungan yang relevan.

8. Nama, NIM dan Jurusan/Program Studi/BKU Mahasiswa yang Terlibat
1. Mgs m. Fadhil Adli (NIM 03021181823013) Program Studi S1-Teknik Pertambangan
 2. Dendi Pratama (NIM 03021381924093) Program Studi S1-Teknik Pertambangan

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik,

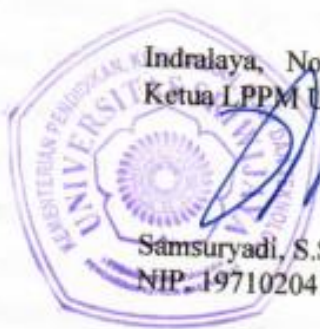


Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Indralaya, November 2021
Ketua Peneliti,

Dr. Ir. H. Marwan Asof, Dipl-Ing., DEA.
NIP. 195811111985031007

Indralaya, November 2021
Ketua LPPM Universitas Sriwijaya



Samsuryadi, S.Si., M.Kom., Ph.D.
NIP. 197102041997021003

RINGKASAN

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. (PTBA) merupakan salah satu perusahaan tambang batubara terbesar yang ada di Indonesia. Perusahaan ini sudah lama beroperasi dan dimiliki oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Lokasi pertambangan PTBA ini berada di dua lokasi yaitu Unit Penambangan Tanjung Enim (UPTE) dan Unit Penambangan Ombilin (UPO).

Tambang UPTE semuanya menggunakan system tambang terbuka sedangkan tambang UPO menggunakan system tambang bawah tanah. Namun akhir-akhir ini wilayah penambangan UPO tidak lagi beroperasi dikarenakan tidak memiliki nilai ekonomis lagi dan penambangan batubara milik PTBA terfokus pada tambang UPTE.

Tambang UPTE memiliki beberapa tambang yaitu Tambang Air Laya (TAL), Tambang Bangko Barat, Tambang Muara Tiga Besar Utara dan Selatan, dan Tambang Townside Basecamp. Khusus tambang TAL sudah memasuki tahap reklamasi beberapa tahun yang lalu sehingga saat ini tambang ini sudah tidak lagi beroperasi.

Tambang TAL ini merupakan tambang terbesar dan terdalam yang dimiliki oleh PTBA. Kedalaman mencapai -57 mdpl dan luas sekitar 7.621 HA. Tambang yang dalam ini tentu memiliki *final slope* atau jenjang akhir yang membatasi wilayah pertambangan dengan lingkungan luar atau tambang lain disampingnya. Pada dasarnya lereng/jenjang ini pada waktu itu dibuat/didesain stabil dan aman, namun seiring berjalannya waktu dan dipengaruhi faktor-faktor lain seperti sifat material dan waktu sehingga sangat memungkinkan adanya perubahan struktur dan/atau kestabilan lereng ini. Untuk itu perlu dilakukan pemantauan atau evaluasi terhadap jenjang/lereng yang sudah ditinggalkan ini agar Faktor Keamanan (FK) lereng tersebut tetap dalam kondisi stabil dan aman.

BAB I

LATAR BELAKANG

Kestabilan lereng tambang terbuka pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting saat ini mengingat sebagian besar perusahaan tambang di Indonesia meningkatkan produksinya. Akibatnya perusahaan tambang tersebut melakukan pelebaran dan pendalaman penggalian. (Masagus, 2012) Semakin lebar dan dalam tambang terbuka tersebut dilakukan penggalian, maka tentunya akan semakin besar risiko yang akan muncul, atau semakin meningkatkan ketidakpastian pada faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka tersebut. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya risiko kelongsoran lereng yang mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi air tanah, karakterisasi massa batuan, serta struktur yang ada pada batuan.

Banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam analisis kestabilan suatu lereng serta terdapatnya sejumlah ketidakpastian terhadap faktor tersebut membuat indikator kestabilan lereng yang digunakan saat ini yaitu faktor keamanan (FK) tidak mampu memberikan desain teoritis yang aman dalam desain praktek suatu lereng. Hal ini terlihat dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray 1974 dimana masih terjadi longsor pada lereng yang memiliki kriteria faktor keamanan yang dapat diterima serta didapatkan beberapa lereng yang masih stabil pada kriteria faktor keamanan yang tidak dapat diterima. (Steffen et.al.,2008). Hal ini dikarenakan faor keamanan hanya menganggap nilai rata-rata parameter masukan sudah mewakili karakteristik masing-masing parameter masukan tersebut. Padahal secara alamiah seluruh parameter tersebut memiliki variasi nilai yang memiliki peluang sama untuk mewakili karakteristik masing-masing parameter. Oleh sebab itu diperlukan suatu cara yang dapat menjadi solusi kondisi tersebut. (Masagus, dkk.,2012).

Suatu alternatif selain pendekatan FK untuk disain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) lereng. Pada metode ini, nilai faktor keamanan digambarkan sebagai variabel acak yang mempunyai fungsi distribusi dengan parameter yang diperlakukan seperti nilai rata-rata dan standar deviasi. Dengan mengkombinasikan distribusi ini dalam model deterministik yang digunakan dalam menghitung nilai FK, maka PK lereng dapat diestimasi. Hal menarik dari metode probabilistik adalah

representasi yang eksplisit dari ketidakpastian dalam kajian stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan disain lereng dapat dioptimasi dengan nilai probabilitas kelongsoran sehingga dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap disain lereng tersebut.

Tambang Air Laya (TAL) merupakan salah satu tambang batubara yang berada dalam kawasan unit penambangan tanjung enim (UPTE) yang dimiliki PT. Bukit Asam (PTBA). Sekarang tambang TAL sudah tidak lagi beroperasi dikarenakan tidak adanya lagi cadangan yang bisa diambil dan sudah mencapai batas maksimal penambangan (Open Pit Limit).

Tambang yang memiliki kedalaman hingga minus 57 meter dibawah permukaan laut dan luas sekitar 7.621 Ha tentu memiliki jenjang yang sangat tinggi dan lebar. Pada saatnya dulu didesain, jenjang ini pasti memiliki tingkat keamanan dan stabilitas yang tinggi. Namun seiring berjalannya waktu tentu jenjang ini akan mengalami perubahan-perubahan baik dari sisi fisik aupun mekaniknya.

Tambang yang memiliki beberapa sisi yang berdampingan dengan pemukiman penduduk dan tambang lain tentu akan memiliki resiko yang sangat besar apabila jenjang TAL ini mengalami kelongsoran. Luasan wilayah dan kerugian yang ditimbulkan bisa saja tidak terbatas. Maka dari itu, untuk mencegah hal yang tidak diinginkan maka perlu dilakukan monitoring dan evaluasi terhadap jenjang-jenjang TAL ini agar potensi-potensi kelongsoran dapat diminimalisir dan dicegah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1. Ketidakpastian Dalam Desain Lereng

Disain lereng merupakan seni dalam menentukan keseimbangan antara kemiringan lereng dan keuntungan bagi perusahaan tambang. Lereng yang semakin curam akan memaksimalkan perolehan penambangan, namun meningkatkan risiko kestabilan lereng. Sebaliknya lereng yang semakin landai akan menurunkan perolehan penambangan, namun merendahkan risiko kestabilan lereng (lereng cenderung lebih stabil).(Masagus, 2012)

Dalam disain lereng tambang, peran ahli geoteknik memiliki arti penting bagi perusahaan. Semakin banyak informasi atau data geoteknik yang dimiliki oleh ahli geoteknik tersebut, maka akan semakin besar peluang dilakukan optimasi pencuraman lereng tambang. Sejumlah ketidakpastian yang menjadi faktor minimnya informasi atau data geoteknik yang dimiliki akan menyebabkan para ahli geoteknik selalu bekerja pada kondisi yang pesimis. Di samping itu juga sejauh ini di dalam disain lereng hanya digunakan satu indikator kestabilan lereng yakni nilai faktor keamanan (FK), yang hanya menganggap nilai rata-rata parameter masukan sudah mewakili karakteristik masing-masing parameter masukan tersebut. Padahal secara alamiah seluruh parameter tersebut memiliki variasi nilai yang memiliki peluang sama untuk mewakili karakteristik masing-masing parameter. Oleh sebab itu diperlukan suatu cara yang dapat menjadi solusi kondisi tersebut.(Masagus 2012).

Secara teoritis metode kesetimbangan batas menyatakan batas kritis lereng aman bila $FK = 1$, di mana lereng akan longsor bila $FK < 1$ dan lereng akan aman bila $FK > 1$. Namun kelemahan pendekatan FK tersebut untuk disain lereng adalah hanya bersifat kasuistik dan tidak dapat diberlakukan untuk kondisi lereng yang lain. Kriteria ini berdasarkan hasil analisis balik dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray 1974. Namun dari grafik tersebut terlihat bahwa masih ada lereng batuan yang longsor di atas kriteria faktor keamanan yang dapat diterima, sehingga kriteria ini tidak dapat diberlakukan secara umum dan bersifat kasuistik.(Masagus, 2011).

Kesulitan dalam menentukan sudut lereng yang bisa diterima disebabkan oleh adanya ketidakpastian yang berkaitan dengan stabilitas lereng. Tabel 1 menyajikan sumber-sumber utama ketidakpastian dalam disain lereng, yang dipertimbangkan selama proses disain lereng

dan beberapa pendekatan yang berbeda digunakan untuk maksud tersebut. Ketidakpastian tersebut diakibatkan adanya variabilitas acak dari aspek yang dianalisis atau ketidaktahuan terhadap aspek tersebut. Pengambilan data lapangan dan penyelidikan lokasi digunakan untuk mengurangi ketidakpastian dan mengetahui variabilitas alami (steffen et.al.,2008).

Tabel 1. Sumber-sumber ketidakpastian dalam kestabilan lereng (steffen et.al.,2008)

Aspek Lereng	Sumber Ketidakpastian
Geometri	Topografi, Geologi/Struktur, Muka air tanah (MAT)
Karakteristik	Kuat Geser, Deformasi, Konduktivitas hidraulik
Beban (Gaya Pengganggu)	Tegangan insitu, peledakan, gempa bumi
Prediksi Kelongsoran	Reliabilitas model

2. Pendekatan Probabilitas

Probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Di samping itu juga pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan.(Masagus, 2011)

Penentuan sudut kemiringan lereng yang dapat diterima (acceptable angle of slope) adalah suatu parameter paling penting dalam perencanaan tambang terbuka. Namun ketidakpastian yang terkait dengan geometri lereng, sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi pembebanan dan reliabilitas model mengakibatkan proses pemilihan sudut kemiringan lereng yang sesuai menjadi lebih sulit.(Masagus, 2011).

Secara garis besar, kelongsoran lereng tambang terbuka terjadi pada beberapa kondisi berikut ini :

- a. Global Failure (Longsor Besar) Lereng keseluruhan (overall slope) longsor yang dapat membahayakan keselamatan pekerja dan keberlangsungan tambang. Longsor ini memerlukan waktu rehabilitasi cukup lama, mengganggu jadwal produksi dan pemenuhan kontrak penjualan.
- b. Inter-ramp Failure (Longsor multi jenjang) Longsor yang terjadi pada lebih dari 1 jenjang, dan kadangkala merusak jalan angkutan ke tambang.
- c. Bench Failure (Longsor tunggal) Kelongsoran lereng hanya mempengaruhi operasi produksi di sekitar jenjang yang longsor Gambar

2 menyajikan konsep probabilitas kelongsoran dan besaran ketidakpastian (Steffen dkk, 2008). PK lereng ditentukan dari perbandingan antara luas area di bawah kurva dari distribusi nilai $FK < 1$ terhadap distribusi nilai $FK \geq 1$. Makin besar rentang distribusi nilai FK, maka makin tinggi ketidakpastian dari nilai FK dengan nilai PK yang sama.

Secara defenisi ada hubungan linier antara nilai PK dengan peluang (likelihood) kelongsoran, sementara tidak berlaku untuk hubungan FK dengan peluang kelongsoran. FK yang besar tidak menggambarkan lereng yang lebih stabil, karena besaran ketidakpastian yang implisit tidak ditangkap oleh nilai FK. Lereng dengan nilai $FK = 3$ bukan berarti 2 kali lebih stabil daripada $FK = 1.5$, sementara lereng dengan nilai PK 5 % menunjukkan 2 kali lebih stabil dari lereng dengan nilai PK 10 %.

Sejumlah penelitian mengenai probabilitas kelongsoran lereng yang dilakukan secara komprehensif telah dilakukan oleh Masagus A. Azizi dkk. (2010, 2011, 2012), yang mencoba melakukan karakterisasi parameter sifat fisik dan mekanik batuan, dan menentukan PK lereng dari beberapa tambang batubara di Indonesia. Hal yang paling penting juga adalah penentuan ambang batas (acceptance criteria) nilai PK untuk kestabilan lereng tambang terbuka. Beberapa peneliti telah mendefinisikan ambang batas nilai PK seperti Priest & Brown (1983) dan Pine (1992). Namun acuan tersebut masih bersifat umum untuk seluruh jenis lereng. SRK (2010) mengeluarkan nilai ambang batas PK lereng pada beberapa kategori lereng, yang dapat dijadikan acuan dalam disain lereng (Tabel 2). Pada konteks kasus yang dibahas dalam penelitian ini, maka lereng yang dimaksud adalah termasuk kategori lereng multi jenjang (interramp) sehingga ambang batas PK maksimum sebesar 25%, artinya bila dalam analisis kestabilan lereng diperoleh PK lereng di atas 25 %, maka lereng tersebut tidak stabil.

Tabel 2, Ambang batas nilai FK dan PK lereng tambang terbuka (SRK, 2010)

Jenis Lereng	Dampak Longsoran	FK (min) (Statik)	FK_{min} (Dinamik)	PK_{max} P[$FK < 1$]
Tunggal/Jenjang (<i>Bench</i>)	Low-High	1.1	NA	25-50%
Multi Jenjang (<i>Interramp</i>)	Low	1.15-1.2	1.0	25%
	Medium	1.2	1.0	20%
	High	1.2-1.3	1.1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	Low	1.2-1.3	1.0	15-20%
	Medium	1.3	1.05	5-10%
	High	1.5	1.1	$\leq 5\%$

3. Metode Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif (Monte Carlo Method, 2008). Dalam simulasi Monte Carlo sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model tersebut memiliki nilai yang memiliki probabilitas yang berbeda, yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau biasa disebut dengan probability distribution function (pdf) dari setiap variabel. Metode Monte Carlo mensimulasikan sistem tersebut berulang-ulang kali, ratusan bahkan sampai ribuan kali tergantung sistem yang ditinjau, dengan cara memilih sebuah nilai random untuk setiap variabel dari distribusi probabilitasnya. Hasil yang didapatkan dari simulasi tersebut adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai sebuah sistem secara keseluruhan. (Adnan, 2008)

Tahapan yang dilakukan dalam metode ini sebagai berikut :

- a. Definisikan domain (daerah asal) dari masukan data yang memungkinkan
- b. Munculkan masukan secara acak dari domain yang sudah ditentukan menggunakan distribusi probabilitas tertentu
- c. Lakukan perhitungan secara deterministic menggunakan data masukan
- d. Gabungkan hasil dari setiap perhitungan individual kepada hasil akhir.

Algoritma ini digunakan sebagai landasan simulasi bilangan acak untuk menentukan fungsi distribusi probabilitas yang sesuai.

Beberapa keuntungan metode Monte Carlo yakni sederhana, lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penarfsiran, dan kemampuan untuk memodelkan korelasi di antara variable dengan mudah (Hammah and Yacoub, 2009). Umumnya analisis stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menghitung probabilitas kelongsoran.

Hasil analisis statistik dari masing-masing nilai parameter masukan (nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi) dicocokkan ke dalam 7 fungsi asumsi yang akan dipilih (Pada program SLIDE ada 7 fungsi : normal, seragam, triangular, beta, eksponensial, lognormal, gamma). Menggunakan metode Monte Carlo maka akan memperbanyak data secara acak mengikuti fungsi yang ditentukan. Untuk menentukan fungsi yang cocok, maka dapat ditentukan dari hasil proses pencocokan.

4. Metode Kesetimbangan Batas

Kemantapan suatu lereng tergantung pada gaya-gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya-gaya penggerak berupa gaya berat, gaya tiris atau muatan, sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka akan menyebabkan terjadinya kelongsoran. Tetapi bila gaya penahan ini lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut tidak akan mengalami kelongsoran atau lereng dalam keadaan stabil.

Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

Di mana:

- 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**

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer, relatif sederhana, mudah digunakan serta telah terbukti keandalannya dalam praktek rekayasa geoteknik selama bertahun-tahun. Dalam perhitungan analisis kestabilan lereng dengan metode ini hanya digunakan kondisi kesetimbangan statik saja serta mengabaikan adanya hubungan regangan-tegangan yang ada dalam lereng. Asumsi lainnya yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu.

Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks Faktor Keamanan (FK). FK dihitung menggunakan kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut tergantung dari metode perhitungan yang dipakai.

5. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemantapan lereng

1. Geometri Lereng

Geometri lereng yang perlu diketahui adalah :

- a. Orientasi (jurus dan kemiringan) lereng
- b. Tinggi dan kemiringan (tiap-tiap jenjang).

c. Lebar jenjang (Berm).

Lereng yang terlalu tinggi akan mengakibatkan kondisi yang tidak mantap dan cenderung lebih mudah longsor, demikian juga untuk sudut lereng yang mempunyai kemiringan yang curam akan menjadikan lereng tidak stabil.

2. Penyebaran Batuan

Macam penyebaran dan hubungan antar batuan yang terdapat di daerah penyelidikan harus diketahui. Hal ini perlu dilakukan karena sifat fisis dan mekanis batuan berbeda sehingga kekuatan batuan dalam menahan bebannya sendiri juga berbeda.

3. Relief Permukaan Bumi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi, pengendapan, menentukan arah aliran air permukaan lebih besar dan mengakibatkan pengikisan yang lebih banyak. Akibatnya adalah banyak dijumpai singkapan-singkapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan akan mudah lapuk dan mempengaruhi kekuatan batuan. Pada akhirnya kekuatan batuan menjadi kecil sehingga kemantapan lereng berkurang.

Struktur Geologi, yang perlu diketahui adalah bidang diskontinuitas atau bidang lemah seperti sesar, kekar, perlapisan, bidang ketidakselarasan dan sebagainya. Struktur geologi ini merupakan bidang lemah dalam massa batuan dan dapat menurunkan kemantapan lereng.

4. Iklim

Iklim berpengaruh terhadap kemantapan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan. Untuk daerah tropis pelapukan berlangsung lebih cepat dan kelongsoran pada lereng lebih cepat berlangsung.

5. Sifat Fisis dan Mekanis Batuan

Sifat fisis dan mekanis batuan yang diperlukan sebagai data menganalisis kemantapan lereng adalah :

a. Bobot isi

Semakin besar bobot isi suatu batuan, maka gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor juga semakin besar. Dengan demikian kestabilan lereng semakin berkurang.

b. Porositas

Batuan yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga memperkecil kestabilan lereng. Adanya air dalam batuan juga akan menimbulkan tekanan air pori yang akan memperkecil kuat

geser batuan. Batuan yang mempunyai kuat geser kecil akan lebih mudah longsor. Kuat geser batuan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau = C + (\sigma - \mu) \tan \theta$$

dimana :

τ = kuat geser batuan (ton/m²)

C = kohesi (ton/m²)

μ = tegangan normal (ton/m²)

θ = sudut geser dalam (angle of internal friction)

c. Kandungan air

Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi semakin besar juga. Dengan demikian berarti bahwa kuat geser batumannya menjadi semakin kecil, sehingga kestabilannya berkurang.

d. Kuat geser batuan dan bidang lemah

e. Kuat tekan uniaksial, kuat tarik, modulus deformasi, poison' ratio Analisis kemantapan lereng untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik biasanya menggunakan metode numerik. Suatu istilah umum yang digunakan untuk menyatakan suatu kemantapan lereng adalah faktor keamanan atau faktor kemantapan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng stabil dengan gaya penggerak yang menyebabkan lereng tidak stabil.

Secara matematis rumus faktor keamanan lereng dapat dinyatakan sebagai berikut

$$F = \frac{R}{F_p}$$

Dengan :

F = Faktor keamanan lereng

R = Gaya penahan,

Berupa resultan gaya-gaya yang membuat lereng tetap mantap.

F_p = Gaya penggerak,

Berupa resultan gaya-gaya yang menyebabkan lereng longsor. Pada keadaan, $F > 1$ =

Lereng dalam keadaan mantap/stabil; $F = 1$ = Lereng dalam keadaan seimbang $F < 1$ =

Lereng dalam keadaan tidak stabil.

BAB III

METODE PENELITIAN

Adapun urutan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi ini dilakukan dengan mempelajari bahan-bahan pustaka yang menunjang diperoleh dari :

1. Instansi yang terkait
2. Perpustakaan
3. Brosur-brosur, buletin
4. Informasi-informasi
5. Peta, grafik dan table

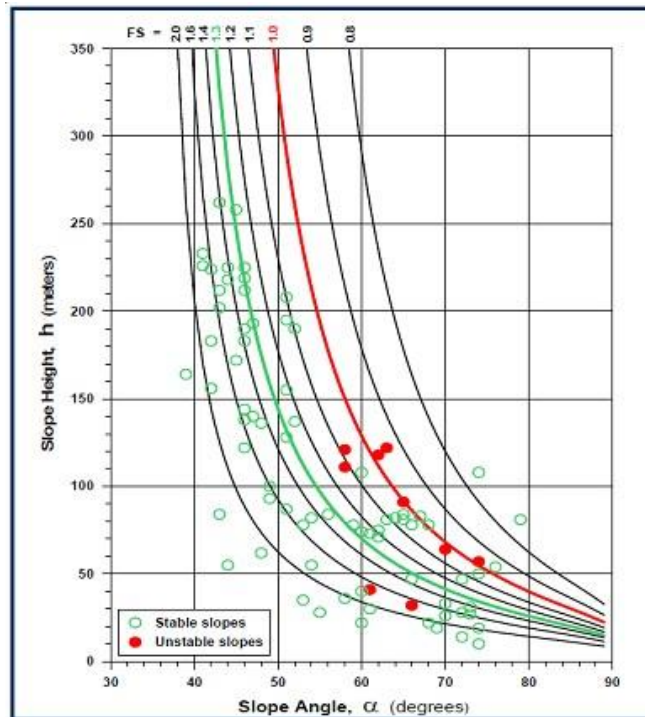
2. Menentukan historical data geoteknik

Tahap ini meliputi kegiatan untuk mendapatkan beberapa data disain lereng masa lalu atau historical data lereng baik lereng tersebut dalam keadaan stabil maupun telah longsor atau dalam proses pergerakan akan longsor.

3. Analisis Historical Data

Setelah menentukan historical data maka tahap selanjutnya menentukan probabilitas kelongsoran dari historical data setiap lereng tersebut sehingga dapat dibandingkan antara indikator keamanan lereng faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran dalam suatu grafik hubungan antara probabilitas kelongsoran dan faktor keamanan terhadap stabil atau longsor suatu lereng yang sudah ada. Tahap ini menjadi landasan dasar untuk melihat peran faktor keamanan dalam menentukan aman atau tidaknya suatu lereng seperti yang dilakukan oleh hoek & bray, 1974.

Jika didapatkan suatu grafik yang menunjukkan kriteria faktor keamanan yang dapat diterima ($FK > 1,2$) terjadi longsor maka menjadi suatu alasan untuk melihat hasil disain probabilitas dalam menentukan aman atau tidaknya suatu lereng serta membuktikan ketidakpastian faktor dalam mendisain suatu lereng sehingga konsep probabilitas (peluang) dapat diterima.



Gambar 1. Kasus kestabilan lereng batuan (Hoek & Bray, 1974 ; steffen et.al.2008)

4. Penelitian di lapangan

Dalam melaksanakan penelitian dilapangan akan dilakukan beberapa tahap, yaitu :

1. Observasi lapangan menentukan objek penelitian beberapa lereng yang sering mengalami kelongsoran.
2. Melakukan pengamatan atau overview terhadap lereng yang sering mengalami kelongsoran sehingga didapatkan data akan kondisi lereng tersebut yang meliputi geometri lereng serta orientasi bidang lemah.

5. Pengambilan data

Mencatat keadaan yang terjadi, melakukan wawancara dan pemotretan serta melakukan pengukuran-pengukuran. Data-data yang diperlukan adalah:

- a. Data utama yaitu data penting yang digunakan untuk membahas masalah-masalah yang dihadapi. Data utama yang perlu diambil adalah data yang mempengaruhi kelongsoran.
- b. Data pendukung yaitu data yang dapat mendukung data-data dari lapangan guna menganalisis permasalahan yang ada untuk mencari alternatif penyelesaian masalah. Data pendukung dapat diambil dari laporan penelitian terdahulu dari perusahaan, brosur perusahaan, dari data instansi yang terkait dan juga dari literatur-literatur.

Data-data tersebut diantaranya :

1. Data litologi
2. Data topografi
3. Peta Geologi
4. Data-data Geoteknik, seperti ;
 - a) Kohesi pada bidang luncur
 - b) Kekuatan geser
 - c) Tegangan total pada bidang geser
 - d) Tegangan air pori
 - e) Sudut geser dalam pada tegangan efektif
 - f) Bobot isi batuan
 - g) Tinggi lereng dan tinggi jenjang
 - h) Sudut kemiringan lereng
6. Akuisisi, pengolahan, dan analisis data

Akuisisi data bertujuan untuk mengumpulkan data dan mengelompokkan data untuk memudahkan analisa nantinya. Mengolah nilai karakteristik data- data yang mewakili obyek pengamatan. Mengetahui keakuratan data, sehingga kerja menjadi lebih efisien.

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan dan penggambaran, selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel-tabel, grafik atau rangkaian perhitungan dalam menyelesaikan suatu proses tertentu. Berikut ini tahapan- tahapan pengolahan dan analisis data untuk mendapatkan analisis dan disain kemantapan lereng yang diamati:

- a. Menentukan parameter masukan dari data geoteknik yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng. Hal ini dikaitkan dengan perhitungan faktor keamanan lereng metode kesetimbangan bishop dimana faktor yang berpengaruh yaitu bobot isi batuan, kohesi, sudut gesek dalam.
- b. Membuat parameter statistik dari beberapa parameter masukan yang meliputi jumlah data, nilai maksimum, minimum, standar deviasi, dan mean.
- c. Menentukan distribusi fungsi dari beberapa parameter masukan tersebut dengan parameter-parameter statistik (jumlah data, maksimum, minimum, deviasi standar, dan mean) untuk dilakukan secara acak agar mendapatkan nilai atau variable parameter masukan yang sangat mempengaruhi kondisi suatu lereng dengan menggunakan software @RISK.

- d. Setelah mendapat nilai atau variable parameter masukan (densitas, kohesi, sudut, gesek dalam) maka langkah selanjutnya menentukan faktor keamanan dengan beberapa variable masukan tersebut sehingga didapatkan nilai FK deterministik, mean, probabilitas, dan indeks reliabilitas lereng
- e. Melakukan analisis data dengan membuat grafik atau tabel hubungan antara sudut kemiringan lereng, tinggi lereng dengan probabilitas kelongsoran dan faktor keamanan, grafik atau tabel hubungan antara probabilitas dengan faktor keamanan, serta grafik atau tabel analisis sensitivitas atau parameter yang sangat mempengaruhi kestabilan lereng tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai kohesi didapatkan melalui grafik linear antara tegangan normal dan tegangan geser dari batuan dengan menentukan nilai y ketika $x=0$ melalui persamaan kurva linear, sedangkan sudut geser dalam didapat dari besarnya sudut yang dibentuk oleh garis linear pada grafik tersebut. Setiap jenis batuan terdiri dari tiga sampel. Setiap sampel diuji dengan beban normal yang berbeda-beda yaitu 1kg/cm^2 , 2kg/cm^2 , dan 3kg/cm^2 (Lampiran A). Berikut ini tabel 4.1 data kohesi dan sudut geser dalam dari setiap lapisan batuan hasil uji *Direct Shear*.

Melalui uji *Direct Shear*, kuat geser batuan juga dapat ditentukan. Kuat geser batuan dapat dihitung dengan bantuan persamaan Mohr Coloumb yaitu $\tau = \sigma_n \cdot \tan \Phi + c$. Perhitungan kuat geser setiap sampel berbeda-beda hal ini dikarenakan setiap sampel mendapat tegangan normal yang berbeda pula. Berikut ini disajikan tabel 1 kuat geser setiap sampel. Dari data tersebut terlihat semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam batuan nilai kuat geser batuan juga semakin besar.

Tabel IV.1: Karakteristik Batuan Penyusun Lereng Tambang Muara Tiga Besar Utara

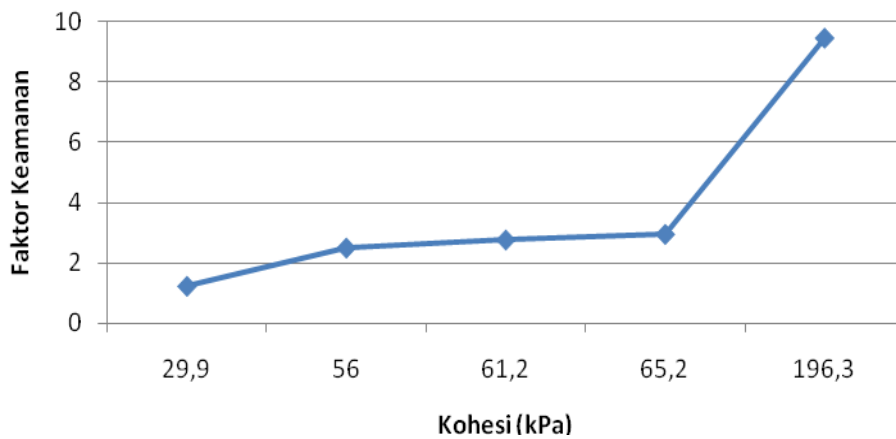
No	Lapisan	Material	Kohesi	Sudut Geser
			kPa	Dalam (°)
1	<i>Overburden A1</i>	<i>Silty Claystone</i>	61,2	19,1
2	<i>Interburden A1-A2</i>	<i>Sandy Silty Claystone</i>	56	22,1
3	<i>Interburden A2-B1</i>	<i>Silty Claystone</i>	29,9	16,8
4	<i>Interburden B1-C</i>	<i>Sandy Clay Silstone</i>	196,3	21,2
5	<i>Under C</i>	<i>Sandy Clay Siltstone</i>	65,2	19,1

Tabel IV.2. Nilai Kuat Geser Batuan

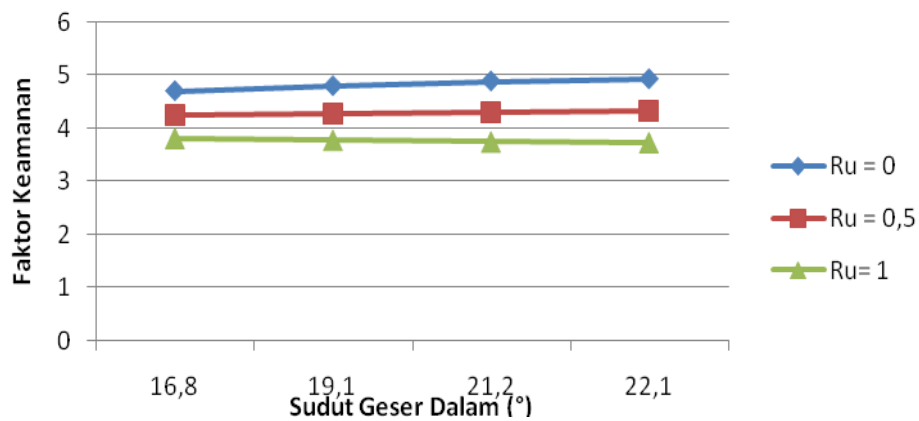
No	Material	Sampel	Tegangan Normal	Kuat Geser
			kg/cm ²	kg/cm ²
1	Sily Claystone	1	1	61,55
	C = 61,3 kPa	2	2	61,89
	$\Phi = 19,1^\circ$	3	3	62,24
2	Sandy Silty Claystone	1	1	56,41
	C = 56,2 kPa	2	2	56,81
	$\Phi = 22,1^\circ$	3	3	57,22
3	Silty Claystone	1	1	30,20
	C = 29,7 kPa	2	2	30,50
	$\Phi = 16,8^\circ$	3	3	30,81
4	Sandy Clay siltstone	1	1	196,68
	C = 196,8 kPa	2	2	197,07
	$\Phi = 21,2^\circ$	3	3	197,45
5	Sandy Clay siltstone	1	1	65,55
	C = 65 kPa	2	2	65,89
	$\Phi = 19,1^\circ$	3	3	66,24

Table IV. 2. Nilai kuat geser terbesar dimiliki oleh batuan *Sandy Clay Siltstone* pada lapisan interburden B1- C dengan 197,45 kg/cm² dengan tegangan normal 3 kg/cm². Nilai kuat geser berdasarkan pengujian ini dipengaruhi oleh nilai kohesi, sudut geser dalam dan tegangan normal, semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam yang dimiliki batuan maka semakin besar juga nilai kuat geser batuan begitu juga dengan nilai tegangan normal yang dikenakan

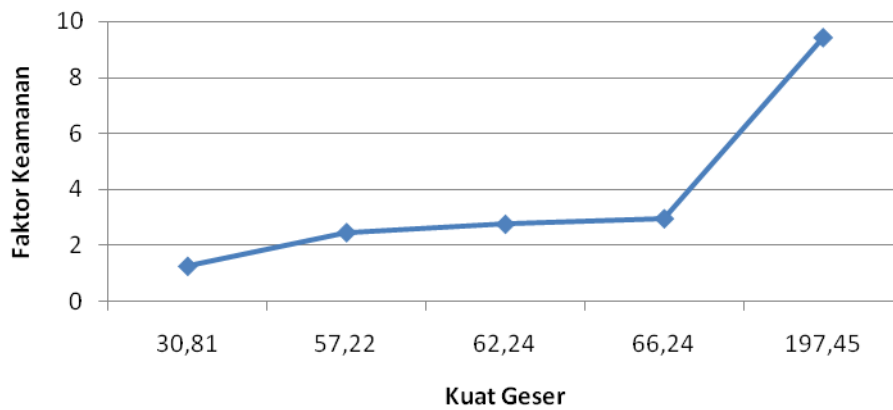
pada batuan, semakin besar tegangan normal yang diberikan maka nilai kuat gesernya pun makin besar. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besarnya tegangan normal yang bekerja, maka semakin besar juga tegangan yang dibutuhkan untuk menyebabkan batuan tersebut bergeser dan semakin besar juga kekuatan batuan untuk menahan geseran dari batuan tersebut, ini juga didukung dengan penelitian Trilaksono, dkk (2016) dengan bertambahnya beban normal yang diberi maka semakin besar nilai tegangan geser yang didapat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1. Pengaruh (a) Kohesi; (b) sudut geser dalam dan (c) kuat geser terhadap faktor keamanan lereng

Tabel. IV.3. Hasil Simulasi Faktor Keamanan Lereng

Material	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)			
		45	53	62	76
<i>Silty Claystone (A1)</i>	6	2,796	2,574	2,298	1,806
	9	1,836	1,615	1,411	1,089
	12	1,372	1,164	0,968	0,724
	15	1,060	0,878	0,737	0,524
<i>Sandy Silty Claystone (A1-A2)</i>	6	2,806	2,572	2,282	1,764
	9	1,828	1,599	1,382	1,042
	12	1,357	1,144	0,939	0,683
	15	1,042	0,856	0,712	0,480
<i>Silty Claystone (A2-B1)</i>	6	1,281	1,154	1,001	0,715
	9	0,814	0,697	0,576	0,386
	12	0,587	0,484	0,375	0,234
	15	0,401	0,352	0,206	0,134
<i>Sandy Clay Siltstone (B1-C)</i>	6	8,863	8,300	7,657	6,608
	9	6,075	5,418	4,976	4,109
	12	4,681	4,034	3,600	2,938
	15	3,737	3,185	2,779	2,261

Material	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)			
		45	53	62	76
<i>Sandy Clay</i>	6	2,703	2,486	2,217	1,737
<i>Siltstone</i>	9	1,772	1,557	1,357	1,043
<i>(Under C)</i>	12	1,322	1,120	0,930	0,690
	15	1,020	0,843	0,707	0,498

Tabel IV.3. Menunjukkan bahwa pada lapisan A2-B1 memiliki tingkat keamanan yang paling rendah. Pada lapisan ini tinggi jenjang maksimal adalah 6 meter dengan sudut 45°. Apabila tinggi jenjang dan sudut kemiringan ditambah maka tingkat kemantapan lereng akan berubah menjadi kritis. Pada lapisan A1, A1-A2 dan Under C memiliki sifat yang hampir sama, dimana untuk ketinggian lereng 6 meter dan sudut lereng 76° masih tergolong stabil atau bisa juga dengan meningkatkan ketinggian lereng menjadi 12 meter dengan sudut lereng 45°. Pada lapisan B1-C merupakan lapisan yang paling stabil sehingga dari semua hasil simulasi, jenis batuan ini masih tetap dalam keadaan stabil.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dari pembahasan pada bab sebelumnya, maka di dapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil uji kuat geser batuan (*Direct Shear Test*) yaitu didapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam setiap lapisan yaitu : Lapisan overburden dengan batuan *Silty Claystone* nilai kohesi 61,2 kpa, sudut geser dalam yaitu 19,1°, lapisan interburden A1-A2 dengan batuan *Sandy Silty Claystone* nilai kohesi 56kpa dan sudut geser dalam 22,1°, lapisan interburden A2-B1 dengan batuan *Silty Claystone* nilai kohesi yaitu 29,9 kPa dan sudut geser dalam 16,8°, lapisan interburden B1-C dengan batuan *Sandy Clay Siltstone* nilai kohesi 196,3 kPa dan sudut geser dalam 21,2° dan lapisan under C dengan batuan *sandy Clay Siltstone* nilai kohesi 65,2kPa dan sudut geser dalam 19,1°.
2. Nilai kuat geser batuan dipengaruhi oleh tegangan normal, kohesi dan sudut geser dalam batuan tersebut,.
3. Pengaruh hasil uji kuat geser terhadap faktor keamanan yaitu semakin besar nilai kohesi batuan, maka semakin besar nilai faktor keamanan. Pengaruh sudut geser dalam batuan tergantung dari keadaan air pada lereng . Jika keadaan kering maka semakin besar sudut geser dalam semakin besar nilai faktor keamanan. Pengaruh kuat geser terhadap faktor keamanan yaitu semakin besar nilai kuat geser batuan maka semakin besar nilai faktor keamanannya.
4. Variasi geometri dengan faktor keamanan lebih dari 1,25 yaitu pada lapisan:
 - a. Overburden
 - Ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62° dan 76°
 - Ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, dan 62°
 - b. Interburden A1-A2
 - Ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62° dan 76°
 - Ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, dan 62°
 - Ketinggian 12m dengan sudut kemiringan 45°
 - c. Interburden A2-B1

Ketinggian 6m sudut kemiringan 45°

d. Interburden B1-C

Ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45° , 53° , 62° dan 76°

Ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45° , 53° , 62° dan 76°

Ketinggian 12m dengan sudut kemiringan 45° , 53° , 62° dan 76°

ketinggian 15m dengan sudut kemiringan 45° , 53° , 62° dan 76°

e. Under C

Ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45° , 53° , 62° dan 76°

Ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45° , 53° , dan 62°