

Analisa Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Fellenius Secara Manual dan Software Slide Rocscience 6.0 (Studi Kasus : TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk)

(Analysis Slope Stability Using Fellenius Method Manually And Software Slide Rocscience 6.0 in TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk)

Damos Tinambunan¹, Ferra Fahraini², Irvani¹

¹Mahasiswa Program Sarjana, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

¹Staf Pengajar, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

²Staf Pengajar, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

Abstract

A hill slope is a part of a mining, especially mining by Open Pit Method. The TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk, which is often referred as the TB 1.42 applies the open pit method in its mining, hence the condition of the hill slope greatly influences the mining Safety because hill slope instability can cause avalanche. Hence, the hill slope stability has to be calculated. The calculation is performed to get the value of the safety factor (FK) and to understand the slope's condition. This calculation can be done using the Fellenius Method, either manually or using Software Slide Rocscience 6.0. The Fellenius Method requires the shear strength parameter in the calculation, therefore a laboratory testing is performed using direct shear test ASTM D-3064-04. This test generates the value of cohesion (c), the angle of internal friction (ϕ) and the soil density (γ) of a soil sample taken from the field. Based on the research the front south slope TB 1.42 Pemali have sandy loam lithology (Slope LT01), clay (Slope LT02 dan LT03), and gravelly clay (slope LT04). Based on the Fellenius Method, the value of FK for the slope is affected by the slope's angle and shear strength parameter (c and ϕ). The analysis conducted in this study showed that of the four slopes that are observed, there are two unstable slopes, which are slope LT02 with FK amounted to 0,809 (manual) and 0,877 (slide), which is unstable ; and the slope LT03 with FK amounted to 1,056 (manual) and 1,070 (slide), which is in critical condition. In order to solve the instability of the slope, PT Timah (Persero) Tbk. Can alter the slope's geometry and install a grouted tieback anchors at unstable slopes.

1. Pendahuluan

Penelitian ini membahas penambangan timah di Tambang Besar 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk atau sering disebut TB 1.42 Pemali. Tambang ini ditambang dengan metode *open pit* yaitu penambangan dengan cara penggalian kebawah secara terus menerus untuk mengupas tanah penutup sampai ditemukan material kaya akan timah. Penggalian yang dilakukan terus menerus akan menambah kedalaman *front* penambangan, pertambahan kedalaman ini menyebabkan terbentuknya lereng yang berhubungan langsung dengan font penambangan karena setiap penggalian yang dilakukan akan mengubah dimensi lereng baik pada panjang bidang gelincir, tinggi lereng maupun sudut lereng pada tambang. Dari metode penambangan darat diatas dapat dilihat betapa berpengaruhnya lereng penambangan TB 1.42 memerlukan kepastian kestabilan lereng sebagai acuan dan faktor keamanan dalam penambangan.

*Korespondensi Penulis : Damos Tinambunan
Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

Email : tinambunandams@gmail.com

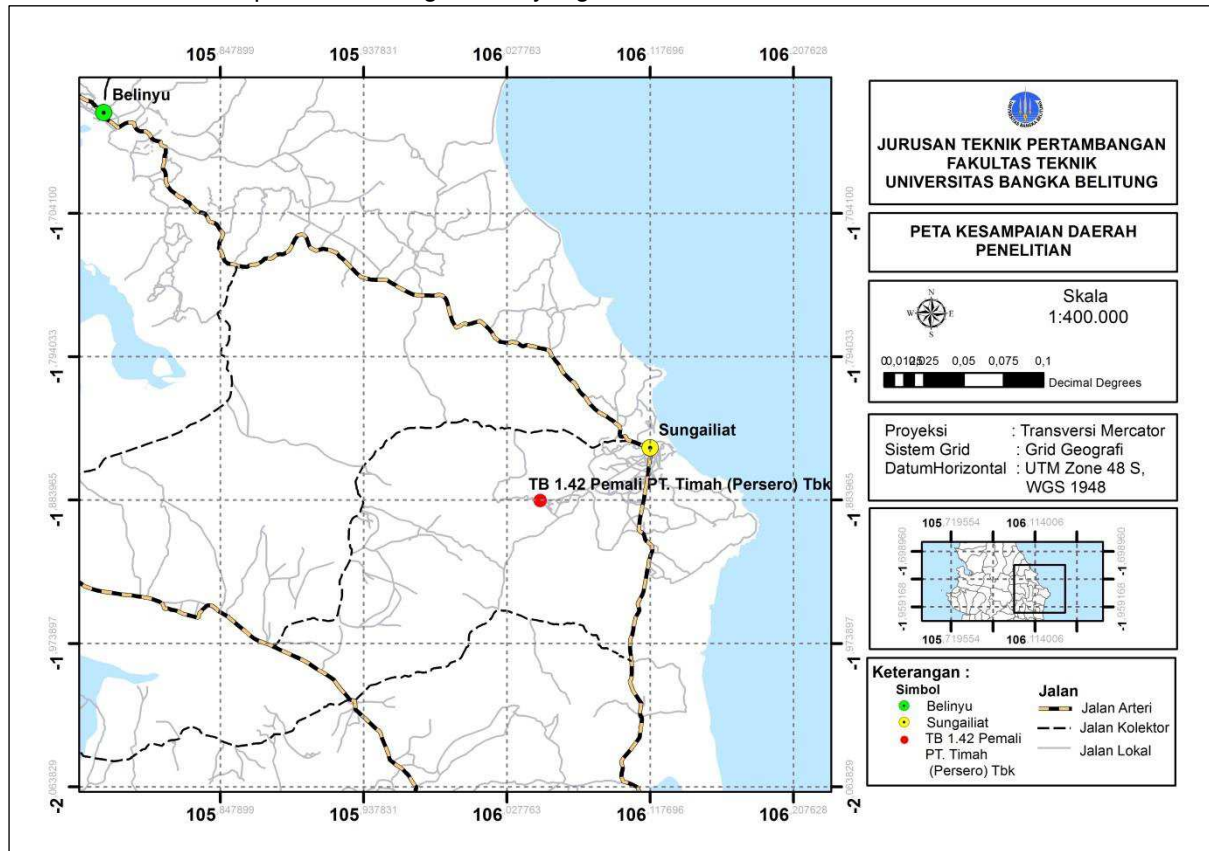
Handphone : 082380146209

Maka dari itu dilakukan analisa kestabilan lereng dan pada penelitian ini akan dianalisa kestabilan lereng di TB 1.42 pemali PT Timah (Persero) Tbk dengan Metode Fellenius secara manual dan bantuan Software Slide Rocscience 6.0.

Adapun tujuan penelitian ini adalah Mengetahui kondisi litologi batuan, dan stratigrafinya di TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk, Mengetahui kondisi kestabilan lereng menggunakan Metode Fellenius secara manual dan Software Slide Rocscience 6.0 pada TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk, Mengetahui faktor yang mempengaruhi nilai kestabilan lereng dari perhitungan Metode Fellenius secara manual dan dengan Software Slide Rocscience 6.0 di TB 1.42 Pemali. Mengetahui cara penanggulangan masalah kestabilan lereng dari penganalisaan dengan Metode Fellenius secara manual dan Software Slide Rocscience 6.0 di TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk.

Lokasi Penelitian

Anonim (2012), Sungailiat merupakan terletak di pulau bangka (Gambar1). ibukota dari Kabupaten BangkaIndukyang



Gambar 1 Peta Lokasi Daerah Pemali

Terletak ± 30 km dari Kota Pangkalpinang (ibu kota dari Provinsi Kepulauan Bangka Belitung), Sungailiat dapat ditempuh dari Jakarta dengan penerbangan udara 55 menit ke Bandara Depati Amir Pangkalpinang dan dilanjutkan dengan perjalanan darat selama 45 menit. Lokasi penambangan TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk terletak di Kecamatan Pemali, Kabupaten Bangka Induk, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (Gambar 5), dengan koordinat kesampaian daerah $02^{\circ} 06' 34,7936''S$ dan $105^{\circ} 38' 41,9998''E$ Morfologi daerah penambangan dapat digolongkan kedalam satuan morfologi perbukitan

Tinjauan Pustaka

Penelitian ini akan membahas penerapan Metode Fellenius pada analisis stabilitas lereng khususnya untuk massa tanah. Metode Fellenius merupakan perhitungan untuk mendapatkan faktor keamanan dari lereng. Beberapa metode untuk analisa kestabilan lereng telah dikembangkan oleh para peneliti terdahulu seperti metode bishop yang disederhanakan (Arya, 2015) Metode Pendekatan Numerik digunakan untuk menjabarkan hasil dari perilaku tegangan dan

regangan pada elemen disekitar bidang lemah pada model lereng (Hermawan, 2015) *Back Analysis* Metode Probabilistik (Yuliadi, 2015).

Geologi Umum

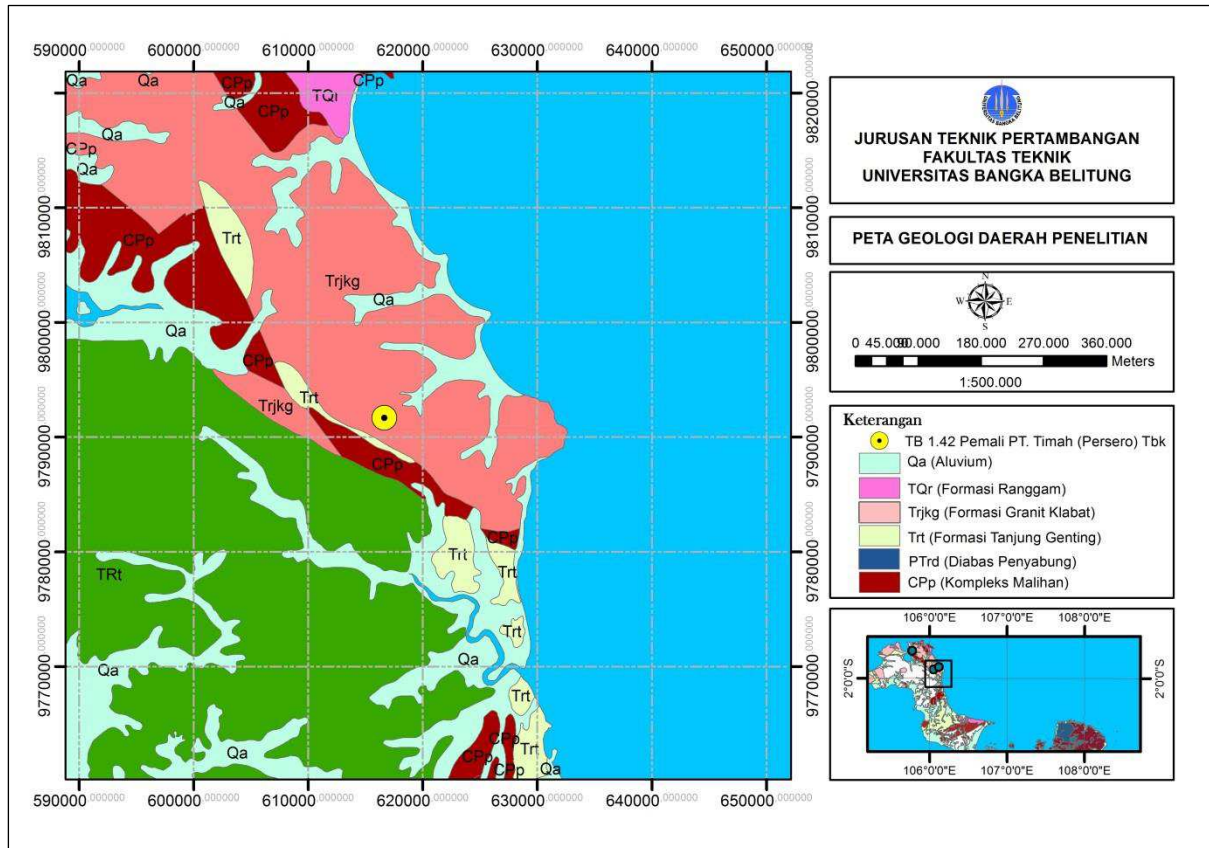
Menurut Mangga dan Djamal (1994), Geologi Pulau Bangka mempunyai susunan batuan yang terdiri dari batuan beku granit berumur Trias–Yura, yang menerobos batuan metasedimen dan sedimen (Gambar 2). Kelompok batuan ini umumnya dicirikan oleh tinggian-tinggian yang menempati pulau-pulau di daerah tersebut, seperti di bagian utara terdapat granit Klabat yang berbentuk lengkungan berarah timur hingga barat, melewati Teluk Klabat.

Statigrafi

Menurut Mangga dan Djamal (1994), Secara stratigrafi Pulau Bangka disusun oleh Kompleks Malihan Pemali (C_{pp}), Diabas Penyambung (P_{Trd}), Formasi Tanjung Genting (T_{Trt}), Formasi Granit Klabat (T_{Trkg}), Formasi Ranggam (T_{Qr}), dan Endapan Aluvium (Q_a). dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik mengubah batuan menjadi partikel-partikel lebih

kecil yang terjadi akibat adanya pengaruh iklim, erosi, angin, es, manusia dan akibat adanya perubahan suhu atau cuaca. Proses pembentukan tanah secara kimia adalah proses

hancurnya batuan karena perubahan kimia dari mineral-mineralnya yang dapat terjadi karena pengaruh oksigen, karbondioksida, dan air.



Gambar 2 Peta Geologi Pemali, Kab. Bangka Induk (Mangga dan Djamal, 1994)

Tanah

Menurut Wesley (1977), Pembentukan tanah dari proses pelapukan batuan itu sendiri.

Sifat-Sifat Tanah

Menurut Hardiyatmo (1994), tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.. Adapun sifat-sifat dasar tanah antara lain:

1. Sifat-sifat fisik tanah

Tanah terdiri dari dua bagian, yaitu bagian padat dan bagian rongga. Bagian padat terdiri dari partikel-partikel padat (*solids*) dengan kondisi tanah yang lebih keras sedangkan bagian berongga (pori) terisi air atau udara dengan kondisi tanah yang lebih lunak.

2. Permeabilitas (*permeability*)

Permeabilitas dan rembesan adalah kemampuan tanah untuk dapat dilewati air melalui pori-porinya. Studi mengenai aliran air

melalui pori-pori tanah sangat berguna di dalam memperkirakan jumlah rembesan air di dalam tanah.

3. Sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*)

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan pada permukaan tanah akan mengakibatkan tertutupnya pori-pori tanah, mengakibatkan kepadatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain (*settlement*).

4. Kekuatan geser tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan keruntuhan dan longsoran pada bidang longsor tertentu di dalam tanah. Kuat geser tanah dipengaruhi oleh jenis tanah (kohesif dan non kohesif) serta keadaan tingkat kejenuhan air bagi tanah kohesif.

a. Kohesi (c)

Dermawan (2004), Kohesi merupakan gaya tarik menarik antara partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*.

b. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Terzaghi (1925), Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*.

Direct Shear Test

Menurut Dermawan (2004), Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratorium terhadap sampel tanah asli (*undisturbed*), tanah tersebut diambil dengan hati-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel. Pada percobaan ini dapat ditentukan nilai kohesi (c) dan nilai sudut geser dalam (ϕ) yang digunakan untuk menghitung tegangan geser tanah.

Hukum Coloumb

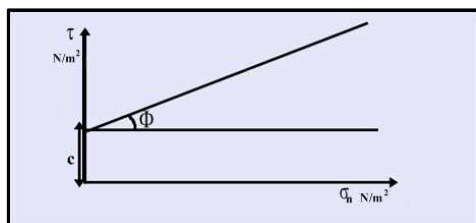
Menurut Mohr (1910), keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya.
- Gesekan antar butir – butir tanah.

Mohr (1910), mendefinisikan :

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad \dots\dots\dots(1)$$

Hubungan antara τ , c, σ , ϕ dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kohesi (c) dan Sudut Geser dalam (ϕ)(Mohr, 1910)

$$T_{Gn} = \frac{\text{dial} \times \text{kalibrasi alat}}{A} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$T_{Nn} = \frac{\text{Total Beban}}{A} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\gamma = \frac{w}{v} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\gamma_{\text{lereng}} = \frac{\gamma_{\text{rata-rata tiap sampel}}}{n} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\phi_{\text{lereng}} = \arctan \frac{(T_{Gn+1} - T_{Gn})}{(T_{Nn+1} - T_{Nn})} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\phi_{\text{lereng}} = \arctan \frac{(T_{G\text{max}} - T_{G\text{min}})}{(T_{N\text{max}} - T_{N\text{min}})} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$c = T_{Gn} \times (\phi_{\text{rata-rata}}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

T_{Gn} = Tegangan geser ke-n (kN/m^2) atau (kg/cm^2)

T_{Nn} = Tegangan normal ke-n (kN/m^2) atau (kg/cm^2)

γ = Berat isi tanah (kN/m^3)

A = Luas penampang sampel (m^2) atau (cm^2)

w = Berat tanah sampel (kg) atau (kN)

v = Volume tanah sampel (m^3) atau (cm^3)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

c = kohesi (kN/m^2)

Analisa Kestabilan lereng

Sulistianto (2006), Lereng adalah suatu bagian dari permukaan bumi yang berbentuk miring sedangkan kestabilan/kemantapan lereng adalah suatu kondisi atau keadaan yang mantap atau stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng (Tabel 1).

Tabel 1. Tabel faktor keamanan ditinjau dari intensitas kelongsoran(Bowles, 1991)

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Kejadian / Intensitas Longsor
FK < 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (kelas labil)
FK antara 1,07 – 1,25	Longsor pernah terjadi (kelas kritis)
FK > 1,25	Longsor jarang terjadi (kelas stabil)

Perhitungan Metode Fellenius Secara Manual

Banyak rumus perhitungan Faktor Keamanan lereng (material tanah) yang diperkenalkan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng ini. Rumus dasar Faktor Keamanan (*Safety Factor*, F) lereng (material tanah) yang diperkenalkan oleh Fellenius dalam

Braja, (1995). Dengan menggunakan prinsip dasar serta asumsi-asumsi yang telah dikemukakan di atas, maka selanjutnya dapat diuraikan analisis Faktor Keamanannya sebagai berikut:

Kriteria Keruntuhan Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \dots \dots \dots (9)$$

Sudut Geser Dalam Efektif dan cohesi efektif dinyatakan sebagai:

$$u = \gamma_{air} \times h \dots \dots \dots (10)$$

Dengan:

τ_N = Tegangan normal (kN/m^2)

μ = Tekanan pori (tekanan pori ($\gamma_{air} \times h$) (kN/m^2)

τ_G = Tegangan geser r (kg/cm^2) atau (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

c = Kohesi (kN/m^2)

Rumus Faktor Keamanan akibat berat sendiri tanah (W) yang dirumuskan oleh Fellenius

$$W = \gamma \times A \dots \dots \dots (11)$$

Untuk mencari volume tanah yang berdampak pada kestabilan lereng dilakukan perhitungan menggunakan *Autocad Land Dextop 2009*. Sehingga didapatkan perumusan FK sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sum [(c \times L + \{W \cos \alpha - \mu \times L\} \tan \phi)]}{\sum W \sin \alpha} \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

FK = Faktor Keamanan

L = Panjang muka lereng (m)

c = Kohesi massa lereng (kg/cm^2) atau (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

W = Berat tanah utuh (kg) atau (kN)

A = Luas area tanah kestabilan Lereng (m^2)

α = Sudut kemiringan lereng ($^\circ$)

μ = Tekanan air pori (kN/m^2)

S = Tegangan Penggerak (kN/m^2)

Analisis faktor keamanan lereng dilakukan dengan menggunakan program *Slide Rocscience 6.0* dengan menggunakan Metode Fellenius (Prabandaru, 2015). Data-data yang dimasukkan diantaranya : Berat isi tanah, kohesi, dan sudut geser dalam, serta geometri lereng.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan - tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Data kuat geser tanah akan digunakan sebagai parameter analisa untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) baik secara manual dan dengan *Software Slide Rocscience 6.0*.

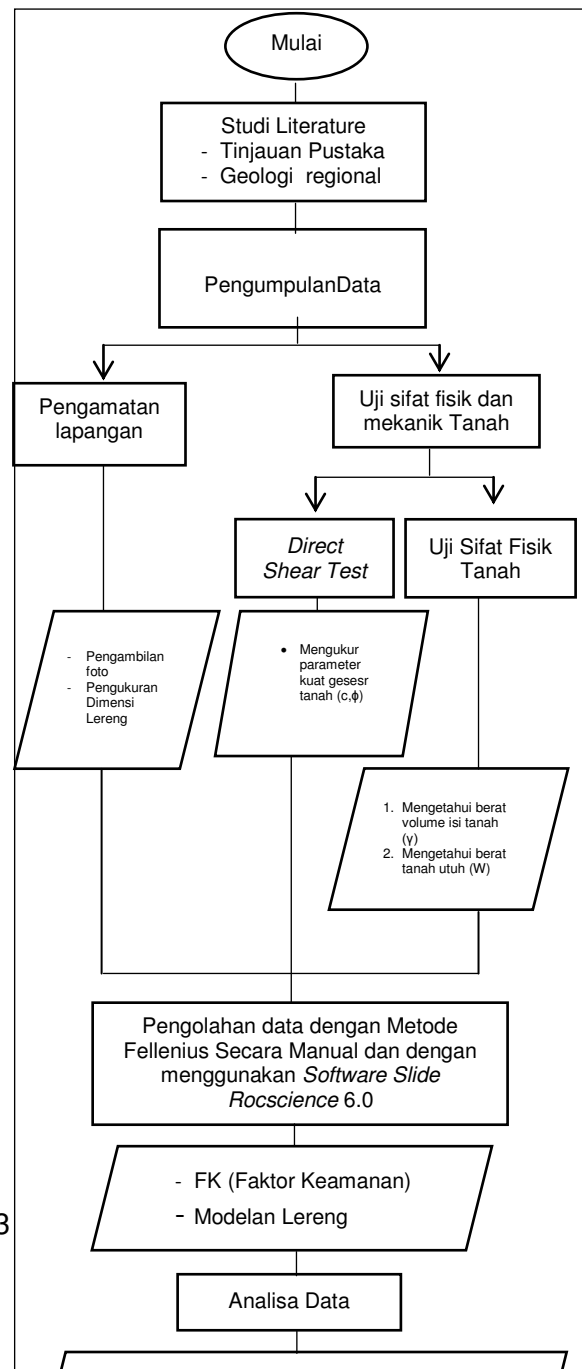
Pengamatan Lapangan

Pengamatan dilapangan menggunakan beberapa alat dan dilakukan dengan beberapa tahap pengamatan yaitu untuk mengukur dimensi lereng dan mengambil sampel. Tahap pengamatan tersebut berupa :

- Pengukuran panjang muka lereng
- Pengukuran sudut lereng
- Pengambilan koordinat lereng
- Pengambilan sampel

Pengujian Laboratorium

Untuk tahapan pengujian laboratorium telah dijelaskan sebelumnya di BAB III, tahapan ini dilakukan setelah pengamatan lapangan dan didapatkan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil kemudian diuji dengan *Direct Shear Test* untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah tersebut



granit yang berumur Trias Atas. Sedangkan timah pada aluvium dalam, berasosiasi dengan Endapan Kwartar.

Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Pada tahap ini pengumpulan data secara umum dilakukan di lapangan serta pengujian sampel tanah di laboratorium. Pengumpulan data dilapangan untuk mendapatkan ukuran dimensi lereng dan sampel tanah sedangkan pada pengujian laboratorium untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah.

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Geologi TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk. Secara garis besar geologi tambang terbuka pemali dibagi atas dua bagian yaitu Geologi Praterterier dan Geologi Kuarter. Geologi Pratersier menempati hampir 75% dari rencana pengembangan tambang terbuka pemali, terletak mulai *section* 9 ke utara dan terdiri dari batuan metasedimen, batulempung, granit, mermer serta batu tanduk.

Statigrafi TB 1.42 Pemali

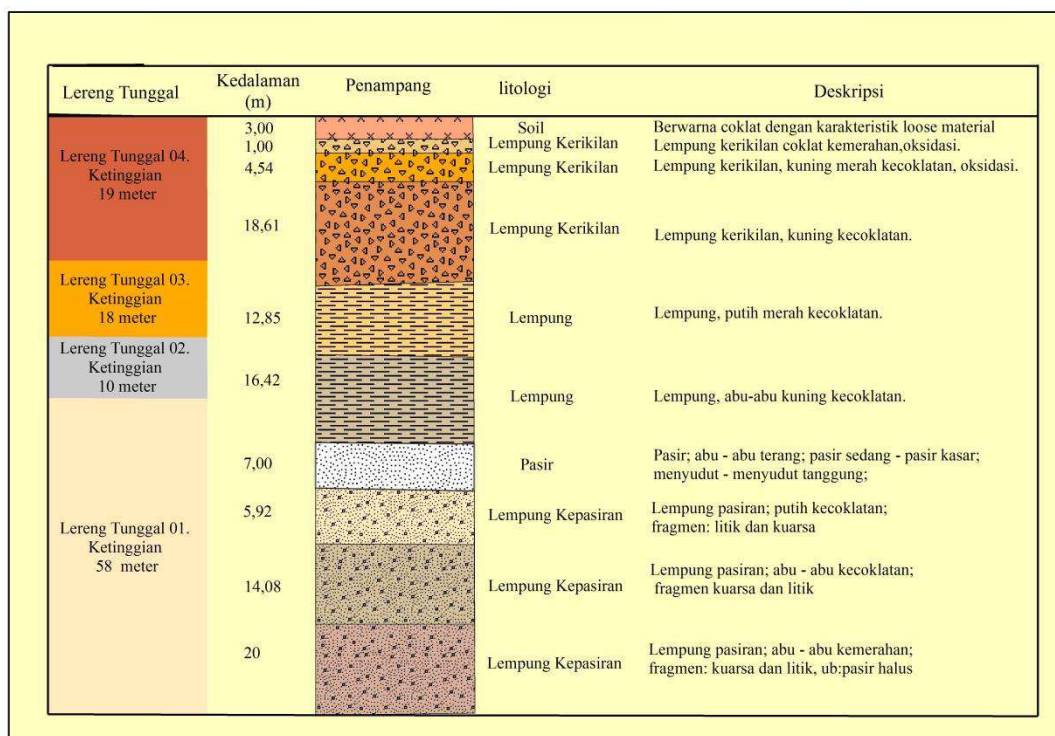
Statigrafi menunjukkan umur geologi lapisan batuan dan urutan kejadiannya. Statigrafi Tambang Terbuka Pemali dijelaskan dalam Tabel 2. Batuan tertua yang ada di TB 1.42 Pemali berumur Permokarboreous dan mineralisasi timah primer berasosiasi dengan

Tabel 2. Statigrafi Tambang Terbuka Pemali (Anonim, 1989)

Geologi	Umur	Lapisan Batuan
Kwartar	Resent	Endapan sungai, pantai
	Holosen	
	Pleistosen	Kaksa
Tersier	Pliosen	Pasir, lempung konglomerat
	Miosen	
	Oligosen	
	Eosen	
	Paleosen	
Pratersier	Kapur	Sekis, serpihan karbonat, kwarsit, rijang, marmer, granit
	Jura	
	Trias	
	Perm	
	Permokarbon	

Kondisi Geoteknik TB 1.42 Pemali

Kondisi geologi yang berpengaruh terhadap perhitungan geoteknik adalah jenis batuan, struktur geologi, tingkat pelapukan batuan. Sejak penelitian Tim Geoteknik PPTM tahun 1980-1982 dan 1986, sudah banyak data geoteknik yang diambil dari Tambang Terbuka Pemali, baik data dari pengambilan perconton asli dari inti bor geoteknik maupun perconton asli yang diambil dari permukaan lereng- lereng tambang. Melalui data hasil geoteknik dapat diketahui lapisan tanah sehingga didapatkan penampang litologi (Gambar 5).



Gambar 5. Penampang litologi di TB 1.42 Pemali

Perhitungan Data Hasil Pengujian Sampel Tanah

Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c) dan berat isi tanah (γ) sampel yang telah diuji (Tabel 3). Berikut contoh perhitungan yang dilakukan pada sampel uji S01LT02. S01LT02 diuji pada urutan pengujian ke 6 sehingga tanah sampel yang dicetak diberi simbol A6, B6 dan C6.

Tabel 3. Hasil perhitungan data pengujian sampel tanah

Kode Sampel	$C_{rata-rata}$ (kN/m ²)	$\phi_{rata-rata}$ (°)
S01LT01	34,99	39,69
S02LT01	48,71	39,42
S03LT01	32,67	39,556
S01LT02	14,25	22,3
S02LT02	12,48	22,2
S03LT02	13,54	22,28
S01LT03	19,69	28,29
S02LT03	23,86	28,45
S03LT03	15,68	28,32
S04LT03	19,15	28,42
S01LT04	21,95	34,04
S02LT04	28,83	34,2
S03LT04	27,22	34,12

Analisa Kestabilan Lereng

Analisa kestabilan lereng pada *Front Selatan* TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk dilakukan dengan 2 metode analisa untuk penjelasannya dapat dilihat pada bagian Metodologi Penelitian.

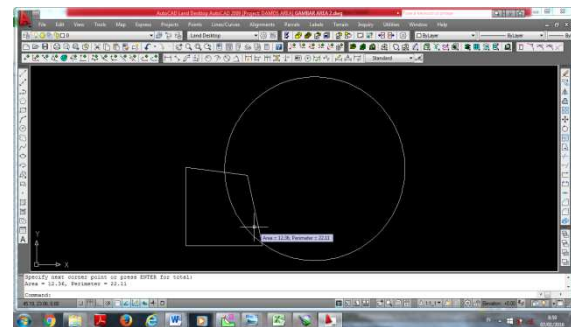
Perhitungan Dengan Metode Fellenius Secara Manual

Perhitungan dengan Metode Fellenius secara manual merupakan perhitungan nilai FK menggunakan rumusan secara teoritis. Pada pembahasan ini akan dijelaskan perhitungan manual Metode Fellenius pada salah satu lereng

tunggal *Front Selatan*. Sebagai salah satu contoh analisa akan dilakukan penganalisaan kestabilan pada Lereng Tunggal 02 (LT02).

Nilai γ (Berat Isi Tanah) dan W (Berat Tanah Utuh) LT02

Berat isi tanah didapat dari pengujian 9 sampel tanah di laboratorium. Secara sistematis dapat dilihat pada Persamaan 4. Pada perhitungan diatas didapat nilai γ LT02 = 14,35 kN/m³. Nilai γ dibutuhkan untuk mencari berat tanah utuh (W) lereng menggunakan Persamaan 11. Namun sebelumnya dibutuhkan besar luas area tanah (A) lereng terlebih dahulu (Gambar 6)



Gambar 6. Perhitungan luas area dengan Autocad Land Desktop 2009

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan diketahui luas area tanah kestabilan (A) LT02 sebesar 12,36 m sehingga dengan menggunakan Persamaan 11 didapatkan nilai berat tanah utuh (W) sebesar 177,366 kN/m. Hasil W pada 3 lereng lainnya pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai W Pada Lereng *Front Selatan* TB 1.42 Pemali.

Lereng	γ (kN/m ³)	A (m ²)	W (kN/m)
LT01	11,47	423,95	4862,707
LT02	14,35	12,36	177,366
LT03	12,12	34,88	422,745
LT04	13,39	43,24	578,984

Perhitungan FK Pada Lereng Tunggal 02 (LT02)

Data yang didapatkan dari pengamatan lapangan pada lereng tunggal 02 yang akan digunakan sebagai parameter perhitungan Faktor Keamanan (FK) :

- Panjang Muka Lereng (L) : 9,2 m
- Sudut Lereng (α) : 77^0
- Tinggi Lereng (h) : 10 m

Didapat Nilai Faktor Kemanan (FK) lereng sebesar 0,809, termasuk kategori lereng labil. Pada Tabel 5 ditunjukkan perhitungan fellenius secara manual pada lereng *Front Selatan TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk.*

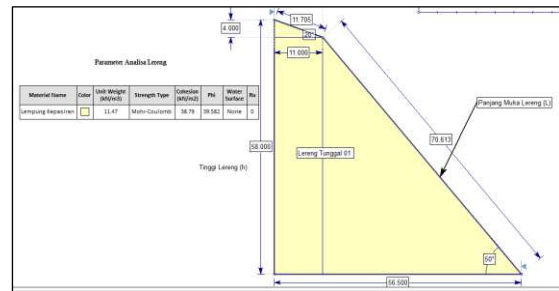
Tabel 5. Hasil perhitungan fellenius secara manual

Lereng	γ (kN/m ³)	W (kN/m)	ϕ (0)	c (kN/m ²)	FK	Keterangan
LT01	11,47	4862,707	39,58	38,79	1,427	Stabil
LT02	14,35	177,366	22,26	13,42	0,809	Labil
LT03	12,12	422,745	28,37	19,59	1,056	Kritis
LT04	13,39	578,984	34,12	26,00	1,537	Stabil

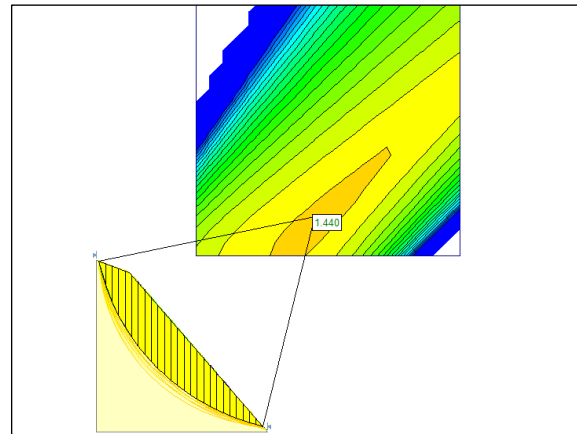
Analisa Kestabilan Lereng Dengan *Software Slide Rocscience 6.0*

Analisa ini menggunakan Metode Fellenius namun dengan bantuan *Software Slide Rocscience 6.0*. Pada penganalisaan diperlukan data parameter kuat geser tanah dan geometri lereng. Dalam pembahasan ini sebagai contoh dilakukan analisa pada salah satu lereng yang diteliti yaitu LT01 (Gambar 7 dan 8). Berikut data yang diinput pada *Software Slide Rocscience 6.0*.

1. Data geometri lereng berupa koordinat lereng, tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng.
2. Nama material : lempung pasir, didapat dari penampang litologi *Front Selatan TB 1.42 Pemali*.
3. Berat isi tanah (γ) : 11,47 kN/m³
4. Kohesi : 38,79 kN/m²
5. Sudut geser dalam (ϕ) : $39,58^0$



Gambar 7. Input data ke *Slide Rocscience 6.0*



Gambar 8. Input data ke *Slide Rocscience 6.0*

Tabel 6. Hasil Analisa Fellenius Dengan *Slide Rocscience 6.0*

Lereng	γ (kN/m ³)	W (kN/m)	ϕ (0)	c (kN/m ²)	FK (Manual)	FK (slide)	Keterangan
LT01	11,47	4862,707	39,58	38,79	1,427	1,440	Stabil
LT02	14,35	177,366	22,26	13,42	0,809	0,877	Labil
LT03	12,12	422,745	28,37	19,59	1,056	1,070	Kritis
LT04	13,39	578,984	34,12	26,00	1,537	1,545	Stabil

Berdasarkan tabel di atas terlihat nilai FK hasil analisa 2 metode. Namun berdasarkan hasil itu juga diketahui bahwa hasil analisa Fellenius secara teoritis maupun *Slide Rocscience 6.0* tidak jauh berbeda artinya masih diklasifikasi yang sama. Hasil penganalisaan *software Slide Rocscience 6.0* juga pemodelan

lerengnya dan *output* berupa *query* yaitu hubungan tegangan geser dengan keruntuhan lereng. Setiap nilai FK lereng menunjukkan karakteristik potensi setiap lereng. Karakteristik berdasarkan nilai FK dari lereng LT01, LT02, LT03 dan LT04 berupa:

- LT01 dikategorikan stabil artinya Pada lereng ini dengan karakteristik pada masa sekarang jarang bahkan tidak akan terjadi longsor secara alamiah.
- LT02 dikategorikan labil artinya pada lereng ini dengan karakteristik pada masa sekarang dapat terjadi longsor secara alamiah.
- LT03 dikategorikan kritis artinya pada lereng ini dengan karakteristik pada masa sekarang sering terjadi longsor secara alamiah.
- LT04 dikategorikan stabil artinya pada lereng ini dengan karakteristik pada masa sekarang jarang bahkan tidak akan terjadi longsor secara alamiah.

Penanggulangan Ketidakstabilan Lereng Front Selatan Pemali

1. Merubah Geometri Lereng

Dengan menggunakan perhitungan berdasarkan estimasi rumusan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa untuk meningkatkan kestabilan lereng sebagai salah satu cara penanggulangan ketidakstabilan lereng pada LT02 (Labil) adalah dengan cara merubah kemiringan lereng dari 77° menjadi 49° . Hasil perhitungan FK dengan merubah Sudut Kemiringan lereng terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan FK Dengan Merubah Sudut Kemiringan Lereng

Lereng	γ (kN/m^3)	W (kN/m)	ϕ ($^{\circ}$)	c (kN/m^3)	α ($^{\circ}$)	FK	Keterangan
LT02	14,35	177,366	22,26	13,42	77	0,809	Labil
	14,35	177,366	22,26	13,42	49	1,279	Stabil
	14,35	177,366	22,26	13,42	46	1,363	Stabil
LT03	12,12	422,745	28,37	19,59	69	1,070	Kritis
	12,12	422,745	28,37	19,59	58	1,271	Stabil
	12,12	422,745	28,37	19,59	55	1,345	Stabil

2. Penyangga (*Support*)

Berdasarkan hasil penganalisaan bahwa LT02 dalam kondisi labil, jenis tanah lempung yang didominasi lempung kepasiran yang bersifat permeable. Menurut Wesley (1997), Untuk kondisi tanah tersebut dibuat penyangga berupa lengan penyangga. Salah satu lengan penyangga yang tepat digunakan adalah Type Grouted Tieback karena terbuat dari material yang sangat keras. Pada analisis Slide Rocscience 6.0, Type Grouted Tieback dipasang dengan 3 lengan yang masing-masing panjang lengan 7 m dan dengan pertimbangan panjang lengan harus melewati area longsor. Hasil yang didapatkan adalah $FK=1,841$ dalam kondisi stabil (Gambar 4.18). Sedangkan LT03 berdasarkan hasil analisa dalam kondisi kritis. Karena kondisi tanah sama dengan LT02 penyangga yang digunakan juga Type Grouted Tieback dipasang 3 lengan dengan masing-masing panjang lengan 10 m. Hasil yang didapatkan adalah $FK= 1,507$ dalam kondisi stabil

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan penulis menyimpulkan :

1. Lereng selatan TB 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk terdiri empat lereng dengan

litologi lereng LT01 berupa lempung pasiran, LT02 dan LT03 berlitologi lempung, serta LT04 dengan litologi lempung kerikil yang berumur: kwarter, Tersier, Pratersier,

2. Kestabilan lereng TB 1.42 Pemali menunjukkan Lereng LT01 dengan FK sebesar 1,427 (manual) dan 1,440 (slide) berkondisi stabil, Lereng LT02 dengan FK sebesar 0,809 (manual) dan 0,877 (slide) berkondisi labil, Lereng LT03 dengan FK sebesar 1,056 (manual) dan 1,070 (slide) termasuk kritis, Lereng LT04 dengan FK sebesar 1,537 (manual) dan 1,545 (slide) berkondisi stabil.
3. Faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng berupa kemiringan lereng, besarnya sudut kemiringan Lereng LT02 (77°) dan LT03 (69°) menyebabkan nilai FK kecil. Selain itu juga dipengaruhi parameter kuat geser c dan ϕ .
4. Penanggulangan ketidakstabilan lereng dapat dilakukan dengan merubah geometri lereng dan pemasangan penyangga pada lereng. Secara geometri pengurangan sudut kemiringan Lereng LT02 dari 77° menjadi 49° menaikkan nilai FK menjadi sebesar 1,279 (stabil) dari semula 0,809 (labil) dan Lereng LT03 dari 69° menjadi 58° menaikkan nilai FK menjadi 1,271 (stabil) dari semula 1,056 (kritis). Sedangkan melalui simulasi

penggunaan penyangga Grouted Tieback 3 lengan menaikkan nilai FK lereng LT02 dan LT03 masing-masing menjadi sebesar 1,841 dan 1,501.

Saran

Berdasarkan penelitian saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk menentukan standar geometri lereng yang aman dalam proses penambangan .
2. Perlu pemantauan lereng secara teratur jadwal.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2012, Laporan Tahunan PT Timah (Persero) Tbk, PT Timah (Persero) Tbk, Pangkalpinang.
- Anonim, 1989, Studi Kelayakan Open Pit Pemali Program Tahun 1990-2002, Pangkalpinang.
- Arya, R., Rancangan Geometri Lereng Tambang Menggunakan Metode Bishop Yang Disederhanakan & Pendekatan Probabilistik, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Azizi, M.A., 2014, Analisis Probabilistik untuk Kestabilan Lereng, Pekan Workshop PERHAPI, 30 September, Bandung, Indonesia.
- Azizi, M.A., 2014, Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia, Program Studi Rekayasa Pertambangan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Bowles J.E., 1991, Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Braja, M.D., 1995, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik), Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Canada Center for Mineral and Energy Technology (CANMET), 1979, Poit Slope Manual: Chapter 9- Waste Embankments, Mining Research Laboratories, Departemen of Energy, Miner, and Resources, Canada.
- Crude dan Varnes, 1992, Slope Movement and Typea of Processes in Landslides, Analysis and Control Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Dermawan, 2004, Uji Geser Langsung (Direct Shear Test) ASTM D 3080-04, Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2003, Mekanika Tanah II, Edisi 3, Gadjah Mada Universit Press.
- Hardiyatmo, H.C., 1994, Mekanika Tanah 1, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hermawan, K, 2015, Pengaruh Bidang Lemah Terhadap Kemantapan Lereng Di Kuari Batugamping, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Highway Research Board 1978, Guide to geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping, Study of Geology and Geomorphology, ITC, Enschede The Netherlands.
- Katili, J.A., 1967, Pola Sebaran Jalur Subduksi Indonesia Bagian Barat, Departemen Uruusan Research Nasional, Jakarta.
- Mangga, A.S., dan Djamal, B., 1994, Peta Geologi Lembar Bangka Utara Sumatera, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Mohr, 1910, Geotechnical engineering investigation manual, McGrawHill Book Co., 984 p
- Prabandaru, 2015, Kajian Geoteknik Untuk Kestabilan Lereng Disposol PT. Senamas Energindo Mineral, Barito Timur, Kalimantan Tengah, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Yogyakarta.
- Read, J., Stacey, P., 2009, Open Pit Slope Design, CSIRO Publishing, Australia.
- Sulistianto, B., 2006, Analisis Kemantapan Lereng, Kursus Singkat Geoteknik Terapan untuk Tambang Terbuka, Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Terzaghi.K., 1925, Theoretical Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers., Granada. London.
- Wesley, L.D., 1977, Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.
- Yuliadi, 2015, Back Analysis Longsoran Low Wall Di Tambang Batubara Pit B3 PT. BJA Menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo. Universitas Islam Bandung, Bandung

