

# ANALISIS KEMANTAPAN LERENG BERDASARKAN HASIL UJI KUAT GESER DENGAN METODE DIRECT SHEAR TEST DI PIT MUARA TIGA BESAR UTARA PT. BUKIT ASAM (PERSERO) TBK

## SLOPE STABILITY ANALYSIS BASED ON RESULTS OF SHEAR STRENGTH TEST WITH DIRECT SHEAR TEST METHOD IN PIT MUARA TIGA BESAR UTARA PT . BUKIT ASAM ( PERSERO ) TBK

*Yenni Madora<sup>1</sup>, Marwan Asof<sup>2</sup>, Mukiat<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya*

*Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, 30139, Indonesia*

*E-mail: [yennimadora@yahoo.com](mailto:yennimadora@yahoo.com)*

### ABSTRAK

Kemantapan suatu lereng dapat dinyatakan dengan suatu nilai faktor keamanan (FK) yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. Dalam menentukan besarnya nilai faktor keamanan dibutuhkan data sifat mekanik batuan yaitu kohesi ( $c$ ) dan sudut geser ( $\phi$ ) dalam batuan. Salah satu cara untuk mendapatkan kohesi dan sudut geser dalam melalui pengujian kuat geser batuan (Direct Shear Test). Dari hasil uji kuat geser batuan 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  $19,1^\circ$ , lapisan interburden A1-A2 dengan batuan Sandy Silty Claystone nilai kohesi 56kpa dan sudut geser dalam  $22,1^\circ$ , lapisan interburden A2-B1 dengan batuan Silty Claystone nilai kohesi yaitu 29,9 kPa dan sudut geser dalam  $16,8^\circ$ , lapisan interburden B1-C dengan batuan Sandy Clay Siltstone nilai kohesi 196,3 kPa dan sudut geser dalam  $21,2^\circ$  dan lapisan under C dengan batuan sandy Clay Siltstone nilai kohesi 65,2kPa dan sudut geser dalam  $19,1^\circ$ . Pengaruh hasil uji kuat geser terhadap faktor keamanan yaitu semakin besar nilai kohesi, sudut geser dalam ( $R_u$  Coefficient = 0 dan 0,5) dan kuat geser batuan, maka semakin besar nilai faktor keamanan. Hasil simulasi dengan memvariasikan geometri lereng didapatkan ketinggian lereng yang aman ( $FK > 1,25$ ). Geometri yang aman untuk setiap lapisan yaitu pada geometri dengan ketinggian lereng 6 meter dan kemiringan lereng  $45^\circ$ .

Kata kunci : Uji Kuat Geser, Kohesi, Sudut Geser Dalam, Kuat Geser, Kestabilan Lereng

### ABSTRACT

The stability of a slope can be expressed by a safety factor value (FK) which is the ratio between the force retaining and driving force. In determining the value of the safety factor of the data required mechanical properties of rocks that cohesion ( $c$ ) and friction angle ( $\phi$ ) in rocks. Cohesion and angle of friction obtained by testing the shear strength of rock (Direct Shear Test). Rock shear strength test results are obtained values of cohesion and friction angle in each layer are: overburden with rock layer of silty Claystone value 61,2kpa cohesion, friction angle in which is  $19,1^\circ$ , interburden layer A1-A2 with Sandy silty rocks Claystone 56kpa cohesion value and sliding in a  $22,1^\circ$  angle, layer interburden A2-B1 with silty rocks Claystone cohesion value is 29.9 kPa and the shear angle  $16,8^\circ$ , interburden layer B1-C with Sandy Clay siltstone rocks cohesion value of 196.3 kPa and shear angle in  $21,2^\circ$  and under a layer of rocks sandy siltstone Clay 65,2kPa cohesion value and sliding in a  $19,1^\circ$  angle. The influence of the shear strength test results of the safety factor that is greater cohesion value, corner angle of friction ( $R_u$  Coefficient = 0 dan 0,5) and shear strength of rock, the greater the value of the safety factor. The simulation results obtained by varying the geometry slopes slopes safe altitude for each layer varies depending on the value of the safety factor specified is greater than 1.25. Geometry is safe for each layer that is on the slope geometry with a height of 6 meters and a slope of  $45^\circ$ .

Keywords: Direct Shear Test, Cohesion, Angle of Friction, Slope Stability

# 1. PENDAHULUAN

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan yang terletak di Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Perusahaan ini memiliki beberapa Pit, salah satunya yaitu Pit Muara Tiga Besar Utara (MTBU). Perusahaan ini melakukan aktifitas penambangannya menggunakan sistem *Strip Mining* yang mempunyai pola penambangan berjenjang.

Dalam pembuatan jenjang dapat menimbulkan masalah terutama pada batuan yang tidak kompak, jika terjadi kesalahan maka akan mengakibatkan longsoran. Longsoran dapat dicegah dengan dilakukannya analisis kemantapan lereng. Properti yang digunakan dalam menganalisa kestabilan lereng menggunakan model Mohr-Coloumb yaitu parameter dari kuat geser yaitu kohesi dan sudut geser dalam [1]. Kohesi dan sudut geser dalam didapatkan melalui pengujian kuat geser batuan (*Direct Shear Test*).

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini, penulis membatasi masalah: (1) Pengujian kuat geser dilakukan di Laboratorium Geoteknik PT. Bukit Asam dan Laboratorium Geomekanik Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya, (2) Jenis Batuan yang diuji yaitu batuan *overburden* dan *interburden* di Pit Muara Tiga Besar Utara, (3) Pengujian ini dititikberatkan pada karakteristik mekanik kohesi, sudut geser dalam, dan kuat geser melalui uji kuat geser, (4) Analisa kestabilan dengan perhitungan faktor keamanan menggunakan *Software Rockscience Slide v.5.0* dengan menganggap lereng dengan keadaan jenuh.

Tujuan penelitian ini yaitu: (1) Menghitung nilai kohesi dan sudut geser dalam melalui uji kuat geser (2) Mengetahui nilai kuat geser batuan pembentuk lereng di Pit MTBU, (3) Mengetahui pengaruh hasil uji kuat geser terhadap faktor keamanan, (4) Menganalisa kemantapan lereng Pit Muara Tiga Besar Utara yang ditinjau melalui variasi geometri lereng.

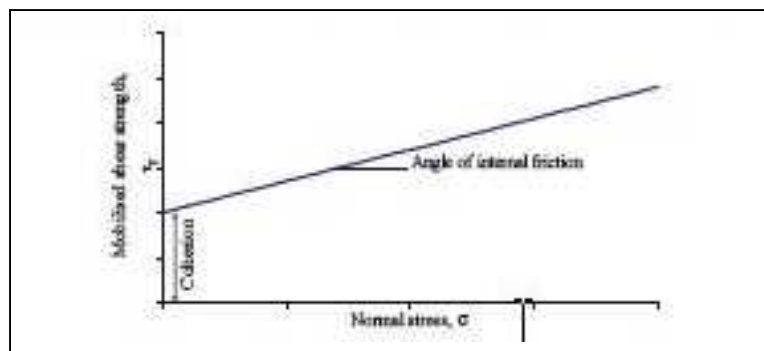
Kuat geser batuan adalah besarnya tegangan geser maksimum yang dapat diterima oleh struktur internal batuan tanpa menyebabkan bidang geser pada batuan dapat mengalami *failure* [2]. Nilai kuat geser batuan dapat ditentukan melalui uji kuat geser batuan. Hasil yang diperoleh setelah melakukan uji kuat geser yaitu parameter mekanik batuan yaitu kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang digunakan dalam mendesain lereng [3]. Formula kuat geser dapat dilihat pada persamaan berikut [4]:

$$\tau = n \tan \phi + c \tag{1}$$

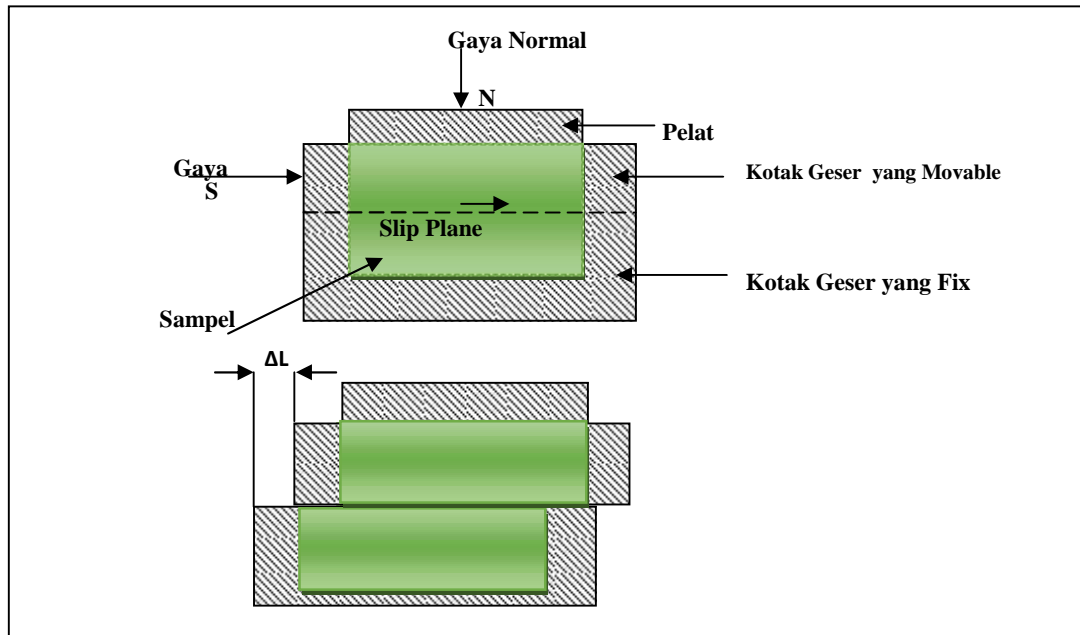
Keterangan:

- $\tau$  : Kuat Geser ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $c$  : Kohesi ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\phi$  : Sudut Geser Dalam ( $^\circ$ )
- $n$  : Tegangan Normal ( $\text{kg/cm}^2$ )

Parameter kuat geser didapatkan dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr Coloumb dengan mengasumsikan selubung keruntuhan adalah linear (Gambar 1)[4]. Nilai kohesi yang didapatkan pada pengujian sampel batuan *intact* adalah kohesi puncak.[5]



Gambar 1. Garis Kekuatan Mohr-Coloumb



**Gambar 2. Mekanisme uji Kuat Geser Langsung**

Pengujian dilakukan minimal pada 3 sampel. Masing-masing contoh diberikan tegangan normal yang berbeda-beda dan nilai tegangan geser yang dihasilkan diukur setiap jarak perpindahan ( $\Delta l$ ) tertentu yang dialami oleh sampel (Gambar 2). Pada uji kuat geser, tegangan geser dan tegangan normal masing-masing merupakan gaya geser dan gaya normal dibagi dengan luas bidang kontak [6].

$$n = \frac{FN}{A} \quad (2)$$

$$s = \frac{FS}{A} \quad (3)$$

Longsor dapat terjadi tiba tiba atau tanpa ada tanda sebelumnya, penyebab utamanya yaitu terjadinya peningkatan tegangan geser atau menurunnya kuat geser pada bidang longsor [7]. Didunia pertambangan, 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 [8].

Faktor-faktor yang mempengaruhi kemantapan lereng yaitu: sifat fisik dan mekanik batuan, struktur geologi, geometri lereng, gaya-gaya luar, keberadaan air dan pelapukan [9]. Longsor yang mungkin terjadi yaitu longsor busur. Bidang longsor yang terbentuk pada longsor ini yaitu longsor busur. [10].

Perhitungan nilai faktor keamanan merupakan cara untuk menganalisis kestabilan suatu lereng dengan menggunakan data sifat fisik tanah atau batuan, mekanika tanah atau batuan (geoteknis) dan bentuk geometri lereng. Berbagai metode dapat digunakan dalam menentukan faktor keamanan. Salah satu metode yaitu metode bishop. Metode ini menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Metode ini merupakan salah satu metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan batas dalam menentukan faktor keamanan dari suatu material yang berpotensi longsor khususnya yang berpotensi mengalami longsor busur. Namun untuk memudahkan perhitungan, dalam penelitian ini menggunakan *Software Rockscience Slide v. 5.0* dalam menentukan faktor keamanan.

## 2. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang digunakan yaitu:

- a. Orientasi Lapangan

Kegiatan orientasi lapangan yaitu dengan melakukan kunjungan ke Lapangan, melihat kondisi lereng yang akan diteliti, serta melihat bagaimana penampang lapisan batuan lereng tersebut. Kegiatan ini dilaksanakan pada 26 Oktober 2015.

b. Pengambilan Sampel

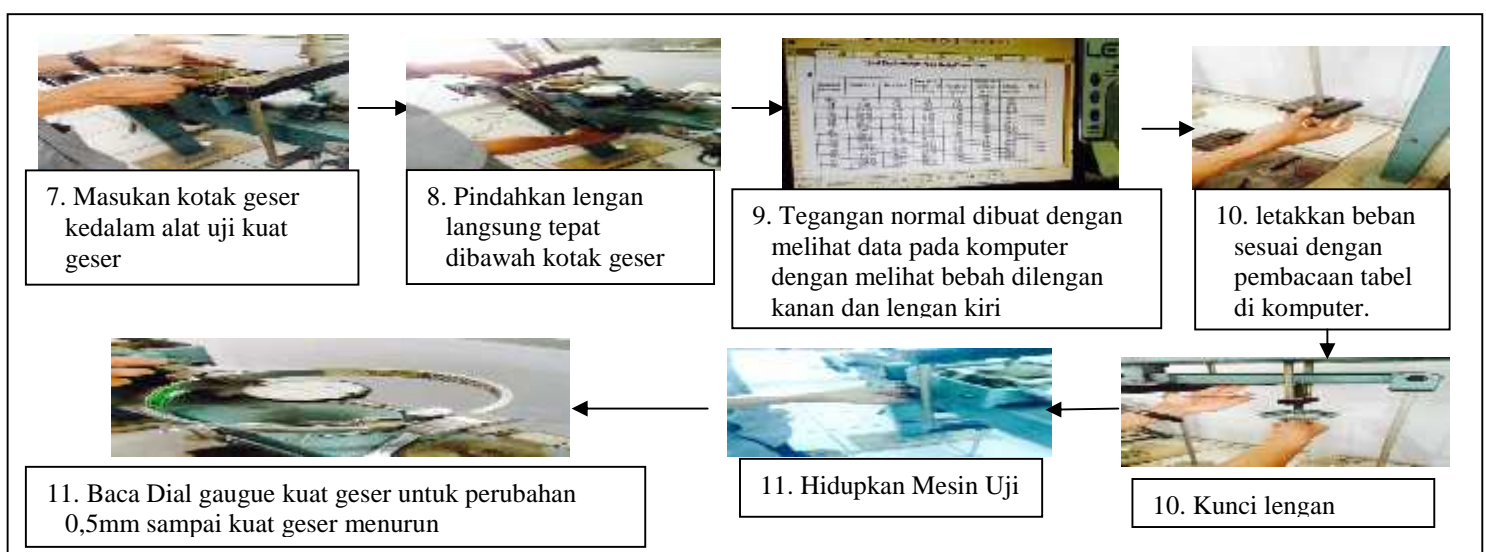
Jenis sampel batuan yang digunakan yaitu batuan Silty Claystone, Sandy Silty Claystone, dan Sandy Clay Siltstone dengan ukuran diameter sampel 6,36 cm. Sampel dimasukkan kedalam plastik dan dibawa ke Laboratorium.

c. Uji Laboratorium

Pengujian laboratorium terlebih dahulu dengan mempersiapkan sampel yang akan diuji, kegiatan ini biasanya disebut dengan preparasai sampel (Gambar 3). Sampel yang telah dipreparasi selanjutnya diuji coba dengan mesin uji kuat geser (Gambar 4). Pengujian ini dengan menggunakan prosedur dengan ketentuan ASTM D-3080-04.



**Gambar 3. Urutan Prosedur Preparasi Sampel**



**Gambar 4. Urutan Prosedur Pengujian Kuat Geser**

d. Penentuan Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Penentuan nilai sifat mekanik tersebut dari kurva tegangan normal dan kuat geser batuan. Dengan adanya grafik nilai kohesi dapat ditentukan dengan melihat nilai  $y$  ketika  $x=0$ , sedangkan sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk oleh grafik dalam penelitian ini penentuan sudut geser dalam dengan bantuan *Software Rockdata*. Nilai gaya geser didapatkan dari nilai kuat geser yang dibaca pada *dial gauge* pada saat tegangan geser puncak (tertinggi). Nilai kuat geser batuan berbeda beda tergantung dari tegangan normal yang diberikan.

e. Pengolahan Data untuk Analisis Kemantapan Lereng

Analisis dimulai dengan pemodelan lereng terlebih dahulu menggunakan *Software Autocad 2010*. Model lereng dibuat dengan variasi geometri lereng. Lereng dengan ketinggian 6m, 9m, 12m dan 15 m. Sudut kemiringan lereng yaitu 45°, 53°, 62°, dan 76°. Selanjutnya penentu longsor yaitu longsor bidang kemudian penentuan faktor keamanan dengan *Software Rockscience Slide v.5.0*, nilai faktor keamanan kurang dari 1,25 mendandakan bahwa lereng tersebut tidak mantap/tidak aman.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengujian *Direct Shear Test*

##### 3.1.1 Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Kohesi dan sudut geser dalam yang digunakan dalam hal ini yaitu kondisi puncak, karena sampel yang diambil adalah batuan *intact*. Setiap jenis batuan terdiri dari tiga sampel. Setiap sampel diuji dengan beban normal yang berbeda-beda yaitu 1kg/cm<sup>2</sup>, 2kg/cm<sup>2</sup>, dan 3kg/cm. Data kohesi dan sudut geser dalam hasil uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai kohesi tertinggi berdasarkan tabel berada pada batuan *Sandy Clay Siltstone* yaitu 196,2 kPa, sedangkan nilai sudut geser dalam yaitu *Sandy Silty Claystone* dengan besarnya sudut geser dalam yaitu 22,1°. *Sandy Clay Siltstone* memiliki nilai kohesi tertinggi diduga karena memiliki kandungan air terendah dibandingkan batuan lainnya. Kandungan air batuan *Sandy Clay Siltstone* berdasarkan data sifat fisik dari Eksplorasi Rinci PT. Bukit Asam (Persero) yaitu 14,92%. Batuan *Sandy Silty Claystone* memiliki sudut geser dalam terbesar diduga karena banyaknya ukuran partikel *sand* pada batuan ini adalah yang terbanyak yaitu sebesar 27,47%. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan air atau ukuran partikel terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam.

##### 3.1.2. Kuat Geser Batuan

Kuat geser batuan dapat dihitung dengan bantuan persamaan Mohr Coloumb yaitu  $\tau = n.Tan + c$ , sehingga kuat geser setiap sampel dapat ditentukan. Perhitungan kuat geser setiap sampel berbeda beda hal ini dikarenakan setiap sampel mendapat tegangan normal yang berbeda pula. Berikut ini disajikan Tabel 2 kuat geser setiap sampel. Dari data tersebut terlihat semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam batuan nilai kuat geser batuan juga semakin besar.

#### 3.2 Pengaruh Hasil Uji *Direct Shear Test* Terhadap Kestabilan Lereng

##### 3.2.1 Pengaruh Kohesi Terhadap Faktor Keamanan

Perhitungan faktor keamanan setiap lapisan dibuat dengan menganggap nilai sudut geser dalam dan densitas sama ( $\gamma = 20\text{kN/m}^3$ ,  $\phi = 19,66^\circ$ ) untuk setiap lapisan batuan, sehingga yang membedakan setiap lapisan batuanya hanya nilai kohesi. Penentuan pengaruh kohesi dibuat dengan *Ru coefficient* 0, 0,5 dan 1. Nilai sudut geser dalam dan faktor keamanannya dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan grafik faktor keamanan dan kohesi terlihat bahwa semakin besar nilai kohesi batuan maka semakin besar nilai faktor keamanannya. Semakin besar nilai kohesi berarti gaya tarik tarik antar partikel batuan juga semakin besar, hal ini menjadikan kekuatan lereng lebih besar (Gambar 5).

##### 3.2.2 Pengaruh Sudut Geser Dalam Terhadap Faktor Keamanan

Perhitungan faktor keamanan dibuat dengan menganggap kohesi dalam dan densitas sama ( $\gamma = 20\text{kN/m}^3$ ,  $c = 81,72 \text{ kPa}$ ) untuk setiap lapisan batuan, sehingga yang membedakan setiap lapisan batuanya hanya sudut geser dalam. Menurut penelitian yang terdahulu pengaruh sudut geser dalam terhadap faktor keamanan yaitu semakin besar nilai sudut geser dalam maka semakin besar nilai faktor keamanannya, penelitian tersebut menggunakan pengujian dengan nilai *Ru Coefficient* yaitu 0,5. Penelitian ini mencoba menggunakan dengan *Ru Coefficeint* 0, 0,5 dan 1. Berikut ini disajikan Tabel 4 untuk nilai sudut geser dalam dan faktor keamanannya. Dari grafik faktor keamanan dengan sudut geser dalam terlihat bahwa semakin besar nilai sudut geser dalam suatu batuan maka semakin besar pula nilai faktor keamanannya hanya pada nilai *Ru Coefficeient* 0 dan 0,5 (lereng dalam keadaan kering dan keadaan setengah jenuh dan setengah kering), sedangkan dengan *Ru Coefficeient* 1 (lereng jenuh) didapatkan semakin besar nilai sudut geser dalam maka semakin menurun nilai faktor keamanannya. Grafik pengaruh sudut geser dalam terhadap faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 6.

**Tabel 1. Kohesi dan Sudut Geser Hasil Uji**

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

**Tabel 2. Nilai Kuat Geser Batuan**

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

**Tabel 3. Nilai Kohesi dan Faktor Keamanan**

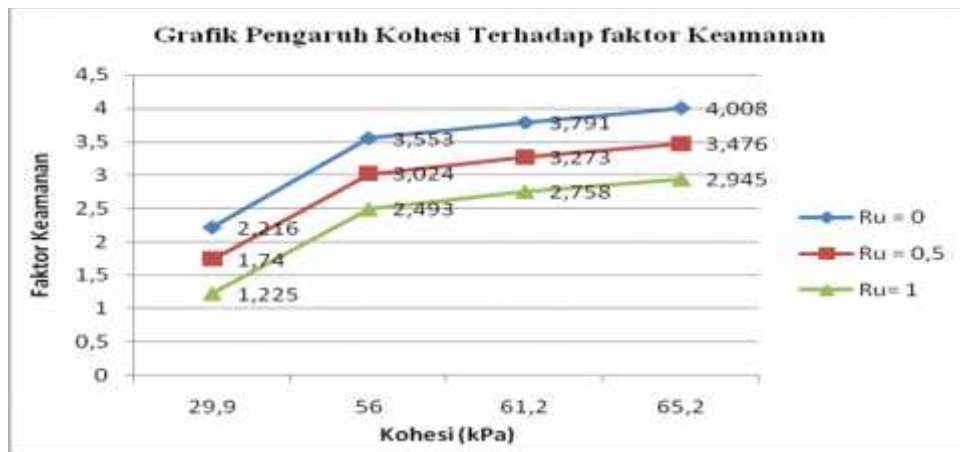
No	Lapisan	Kohesi (kPa)	FK		
			Ru = 0	Ru = 0,5	Ru = 1
1	Overburden A1	61,2	3,791	3,273	2,758
2	Interburden A1-A2	56	3,553	3,024	2,493
3	Interburden A2-B1	29,9	2,216	1,740	1,225
4	Interburden B1-C	196,3	10,504	9,973	9,441
5	Under C	65,2	4,008	3,476	2,945

### 3.2.3. Pengaruh Kuat Geser Terhadap Faktor Keamanan

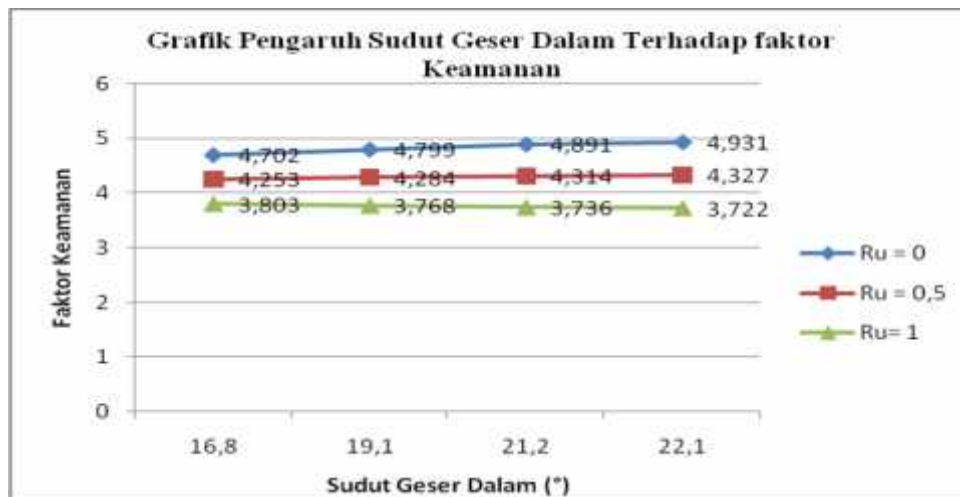
Kuat geser batuan dipengaruhi oleh nilai kohesi, sudut geser dalam dan tegangan normal. Dalam pembahasan ini kuat geser yang diambil yaitu kuat geser batuan pada tegangan normal 3kg/cm<sup>2</sup> (dalam hal ini diambil nilai = 20kN/m<sup>3</sup>). Dari grafik terlihat semakin besar nilai kuat geser batuan maka semakin besar pula nilai faktor keamanan, karena kuat geser merupakan kekuatan yang dimiliki oleh batuan untuk menahan geser atau longsoran. Grafik Pengaruh kuat geser terhadap faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 4. Nilai Sudut Geser Dalam dan Faktor Keamanan

No	Lapisan	Sudut Geser Dalam (°)	FK		
			Ru = 0	Ru = 0,5	Ru = 1
1	Overburden A1	19,1	4,799	4,284	3,768
2	Interburden A1-A2	22,1	4,931	4,327	3,722
3	Interburden A2-B1	16,8	4,702	4,253	3,803
4	Interburden B1-C	21,2	4,891	4,314	3,736
5	Under C	19,1	4,799	4,284	3,768



Gambar 5. Grafik Pengaruh Kohesi Terhadap Faktor Keamanan



Gambar 6. Grafik Pengaruh Sudut Geser Dalam Terhadap Faktor Keamanan

Penelitian-penelitian terdahulu juga mendukung mengenai pengaruh hasil uji kuat geser (kohesi, sudut geser dalam dan kuat geser) terhadap faktor keamanan. Semakin besar nilai kohesi maka semakin besar nilai faktor keamanan lereng, semakin besar nilai sudut geser (kondisi lereng jenuh dan setengah jenuh-kering) maka semakin besar nilai faktor keamanan. Nilai sudut geser dalam pada kondisi lereng jenuh berbanding terbalik yaitu semakin besar nilai sudut geser dalam batuan semakin rendah nilai faktor keamanan. Pengaruh kuat geser terhadap faktor keamanan yaitu semakin besar nilai kuat geser batuan maka semakin besar nilai faktor keamanannya.



**Gambar 7. Grafik Pengaruh Kuat Geser Terhadap Faktor Keamanan**

### 3.3 Analisa Kemantapan Lereng

Analisa kemantapan lereng dengan melihat faktor keamanan minimal yang ditetapkan oleh perusahaan. Faktor keamanan yang kurang dari nilai faktor keamanan minimum dianggap lereng tidak aman. Variasi ketinggian lereng tunggal yang dianalisa yaitu 6m, 9m, 12m, dan 15m. Variasi sudut lereng yang dipakai yaitu  $45^\circ$  (1:1),  $53^\circ$  (1:0,75),  $62^\circ$  (1:0,5) dan  $76^\circ$  (1:0,25). Perhitungan faktor keamanan ini menggunakan *Software Rock Science Slide v.5.0* dengan mengasumsikan:

1. Lereng tersebut terdiri dari batuan homogen untuk memudahkan perhitungan.
2. Kondisi material yang dianalisis dianggap jenuh hal ini dibuat dengan memasukkan nilai input  $R_u$  Coefficient = 1
3. Kriteria karakteristik kekuatan batuan yang dipakai yaitu Mohr-Coloumb, sedangkan metode yang dipakai yaitu metode bishop dikarenakan metode ini lebih teliti dibandingkan dengan metode lainnya dan metode yang sesuai untuk kelongsoran busur.
4. Faktor gaya-gaya luar tidak dimasukkan sebagai input data pada perhitungan ini.
5. Nilai faktor Keamanan minimum yang digunakan berdasarkan ketentuan keadaan stabil menurut PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. Tabel Nilai faktor keamanan yang digunakan oleh PT. Bukit Asam (Persero) Tbk dapat dilihat pada Tabel 5.
6. Densitas yang digunakan adalah densitas jenuh karena dapat dianggap mewakili keadaan terburuk yang dapat terjadi di daerah penelitian. Tabel densitas batuan dapat dilihat pada Tabel 6.
7. Nilai Faktor keamanan yang didapatkan dari Software Rockscience Slide dapat dilihat pada Tabel 7.

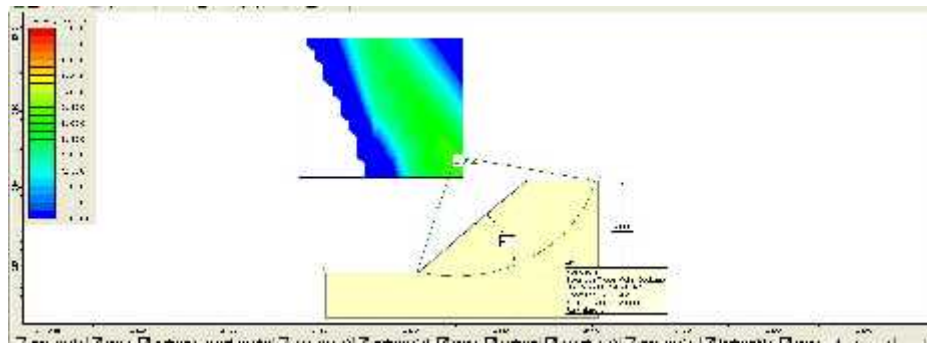
**Tabel.5 Nilai Faktor Keamanan dengan Kondisi Lereng (Eksplorasi Rinci PT.Bukit Asam, 2015)**

Nilai Faktor Keamanan	Kondisi Lereng
1,25	Stabil
1,08- 1,24	Risikn
1,00-1,07	Kritis
<1,00	Longsor

**Tabel 6. Densitas Batuan ( Eksplorasi rinci PT.Bukit Asam, 2015)**

No	Lapisan	Material	Density
			( $\text{kN/m}^3$ )
1	Overburden A1	Silty Claystone	19,74
2	Interburden A1-A2	Sandy Silty Claystone	17,75
3	Interburden A2-B1	Silty Claystone	19,68
4	Interburden B1-C	Sandy Clay Siltstone	21,20
5	Under C	Sandy Clay Siltstone	21,69





**Gambar 8. Contoh Simulasi Perhitungan Faktor Keamanan *Overburden* A-1 Ketinggian 6m sudut kemiringan 45 ° dengan *Software Rockscience Slide v. 5.0***

**Tabel 7. Nilai Faktor Keamanan Setiap Lapisan dengan Variasi geometri Lereng**

No	Lapisan	6m				9m				12m				15m			
		45°	53°	62°	76°	45°	53°	62°	76°	45°	53°	62°	76°	45°	53°	62°	76°
1	Overburden	2,79	2,57	2,29	1,81	1,84	1,62	1,41	1,09	1,37	1,16	0,97	0,72	1,06	0,88	0,74	0,52
2	Interburden A1-A2	2,81	2,57	2,28	1,76	1,83	1,59	1,38	1,04	1,36	1,14	0,94	0,68	1,04	0,86	0,71	0,48
3	Interburden A2-B1	1,28	1,15	1,00	0,72	0,81	0,68	0,57	0,39	0,59	0,48	0,38	0,23	0,40	0,35	0,21	0,13
4	Interburden B1-C	8,86	8,30	7,66	6,61	6,08	5,42	4,98	4,11	4,68	4,03	3,60	2,94	3,74	3,19	2,78	2,26
5	Under C	2,70	2,49	2,22	1,74	1,77	1,56	1,36	1,04	1,32	1,12	0,93	0,69	1,02	0,84	0,71	0,49

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa variasi geometri lereng yang aman dengan faktor keamanan lebih dari 1,25 yaitu pada lapisan overburden ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62°, 76°, ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62°, ketinggian 12m dengan sudut kemiringan 45°. Lapisan Interburden A1-A2 ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62°, 76°, ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62°, ketinggian 12m dengan sudut kemiringan 45°. Lapisan interburden A2-B1 ketinggian 6m sudut kemiringan 45°. Lapisan interburden B1-C seluruh variasi geometri dinyatakan aman dan pada lapisan under C ketinggian 6m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62°, 76°, ketinggian 9m dengan sudut kemiringan 45°, 53°, 62°, ketinggian 12m dengan sudut kemiringan 45°

#### 4. 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 61,2kpa, sudut geser dalam yaitu 18°, lapisan interburden A1-A2 dengan batuan *Sandy Silty Claystone* nilai kohesi 56kpa dan sudut geser dalam 21°, lapisan interburden A2-B1 dengan batuan *Silty Claystone* nilai kohesi yaitu 29,9 kPa dan sudut geser dalam 17°, lapisan interburden B1-C dengan batuan *Sandy Clay Siltstone* nilai kohesi 196,3 kPa dan sudut geser dalam 21° dan lapisan under C dengan batuan *sandy Clay Siltstone* nilai kohesi 65,2kPa dan sudut geser dalam 19° .
2. Nilai kuat geser batuan tergantung dari nilai tegangan normal yang diberi, 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. Semakin besar nilai sudut geser dalam batuan maka semakin besar nilai faktor keamanan, dan 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°

Ketinggian 12m dengan sudut kemiringan 45°

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asof, M., & Gofar, N (2010). Block Model Approach For Analysis of Rock Bench Stability in Open Pit Mines. *Malaysian Jurnal of Civil Engineering*, 22(1), 119-132
- [2] Amrizal. (2010). *Evaluasi Kuat Geser Batu Pasir Terhadap Perubahan Kandungan Air*. Skripsi, Fakultas FTTM: Institut Teknologi Bandung
- [3] Saptono, S., Kramadibrata, S., Sulistianto, B., Wattimena, R. K., (2013). Pengaruh Ukuran Contoh Terhadap Kekuatan Batuan, *JTM Vol. XVI No. 1/2009*
- [4] Stokes, A. (2008). *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. Netherlands: AADordrecht
- [5] Van ek. (2011). Geotechnical Experineces With Most Clay, Rapid Estimation of Residual Shear Strength by Shear Test, *Proceedings of the 15<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, A.Anagnostopoulus et al IOS Press, 481-486
- [6] Ulusay, R., & Hudson, J.,A., (2007). International Society for Rock Mechanics Suggested Methods Rock Characterisation, Testing and Monitoring, Turkey: Pergamon Press
- [7] Pangemanan, V., G., Turangan, A., E., Sompie, O., B (2014). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Fellenius, *Jurnal Sipil Statik* vol (2), 37-46
- [8] Azizi, M.A, Kramadibrata, S., Wattimena, R., K., Djati, I., Adriansyah, Y, (2012). Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X), *Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika ke 1 Tahun 2012*, Bandung: FTTM
- [9] Harahap, A. (2010). *Analisa Kemantapan Lereng Tambang Darat Endapan Timah Alluvial*. Skripsi, Fakultas FTTM: Institut Teknologi Bandung
- [10] Hoek, E.B. (1981). *Rock Slope*. London: Engineering Institution of Mining and Metallurgy