

**ANALISA PENYEBAB TERJADINYA LONGSOR DI JALAN PROVINSI DOLOK  
SANGGUL – PAKKAT DI DESA ARBAAN KABUPATEN HUMBANG  
HASUNDUTAN DAN PEMODELAN MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS  
( Study Laboratorium )**

Oleh:

Kristian Adi P. Sinaga  
Universitas Darma Agung, Medan

E-mail:

[kristianadi@gmail.com](mailto:kristianadi@gmail.com)

**ABSTRACT**

*Landslide is one of the cases in the geotechnical field that often occurs due to increased soil stress or reduced shear strength of a soil mass. In other words, the shear strength of a soil mass is unable to withstand the shear stress experienced by the soil mass. Disturbances to slope stability can be caused by various human activities and natural conditions. Unstable slopes are very dangerous to the surrounding environment which can cause fatalities or material losses. In this study, the location of Arbaan Village, Humbang Hasundutan Regency was taken. The purpose of this study was to determine the value of the safety factor of the slope so that the slope can be classified as stable. The method used to analyze slope stability is the Fillenius method and its modeling is with the Plaxis 2D ver program. 8 with the Mohr-Coulomb and Soft Soil model approach. In this study, the value of the safety factor for the slope was 1.087. From the value of the safety factor, the stability of the slope is in a critical condition and it is necessary to improve the stability of the slope.*

**Key words:** *Slope stability analysis, Safety Factor, Mohr Coulomb Model, Soft Soil Model, Plaxis*

**ABSTRAK**

Kelongsoran merupakan salah satu kasus pada bidang Geoteknik yang sering terjadi akibat meningkatnya tegangan tanah atau berkurangnya kekuatan geser suatu massa tanah. Dengan kata lain, kekuatan geser dari suatu massa tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang dialami oleh massa tanah tersebut. Gangguan terhadap stabilitas lereng dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia maupun kondisi alam. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya pada lingkungan sekitar yang dapat menimbulkan korban jiwa ataupun kerugian materi. Pada penelitian ini diambil lokasi Desa Arbaan, Kabupaten Humbang Hasundutan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan dari lereng sehingga lereng tersebut dapat diklasifikasikan tingkat kemantapannya. Adapun metode yang dilakukan untuk menganalisa kemantapan lereng adalah metode fillenius dan pemodelannya dengan program *Plaxis 2D ver. 8* dengan pendekatan model *Mohr-Coulomb* dan *Soft Soil*. Pada penelitian ini diperoleh hasil nilai faktor keamanan untuk lereng sebesar sebesar 1,087. Dari nilai faktor keamanan kemantapan lereng berada pada kondisi kritis dan perlu perbaikan stabilitas lereng.

**Kata Kunci:** *Analisis Stabilitas Lereng, Faktor Keamanan, Mohr Coulomb Model, Soft Soil Model, Plaxis*

## 1. PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan peristiwa yang sangat rentan dihadapi oleh penduduk yang tinggal di Indonesia. Peristiwa bencana alam sangat mengancam kehidupan dan penghidupan manusia. Wilayah Indonesia menjadi wilayah yang rentan terhadap bencana karena hampir keseluruhan wilayah Indonesia terdapat palung laut yang memanjang dari sebelah Utara Aceh sampai ke Timur Pulau Jawa, di mana keberadaan palung tersebut mencirikan adanya pertemuan lempeng dan jika dikemudian hari terjadi pergerakan lempeng, maka akan dapat memicu terjadinya gempa, gerakan tanah, tsunami, dan bencana alam lainnya. Hal ini sesuai dengan pendapat Sukendar Asikin (1992:2) yang menyatakan bahwa Kepulauan Indonesia dianggap sebagai jalur yang lebar yang merupakan produk daripada pertemuan antara tiga lempeng besar (mega plates).

Sukendar Asikin (1992:4) menyatakan, ketiga lempeng tersebut bergeser dari sumbernya di pematang-pematang tengah samudera. Sebagai akibat daripada adanya gerak-gerak lempeng tersebut di atas, dampaknya akan menimbulkan suatu masalah bagi masyarakat yang berada di daerah-daerah dekat pertemuan lempeng, karena merupakan daerah yang bergempa dan vulkanisma yang kuat.

Menurut Paskah Suzzeta dan Ikhwanuddin Mawardi (2006:II-2) menyatakan: Wilayah Indonesia terletak di daerah iklim tropis dengan dua musim yaitu panas dan hujan dengan ciri-ciri adanya perubahan cuaca, suhu, dan arah angin yang cukup ekstrim. Kondisi iklim seperti ini digabungkan dengan kondisi topografi permukaan dan batuan yang relatif beragam, baik secara fisik maupun kimiawi, menghasilkan kondisi tanah yang subur. Sebaliknya, kondisi itu dapat menimbulkan beberapa akibat buruk bagi manusia seperti terjadinya bencana hidrometeorologi seperti banjir, tanah longsor, kebakaran hutan, dan kekeringan.

Tanah longsor adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan yang menyebabkan bergerakanya massa tanah dan batuan dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tersebut terjadi karena adanya faktor gaya yang terletak pada bidang tanah yang tidak rata atau disebut dengan lereng.

Menurut Geonadi et al. (2003) dalam Alhasanah (2006), faktor penyebab tanah longsor secara alamiah meliputi morfologi permukaan bumi, penggunaan lahan, litologi, struktur geologi, dan kegempaan. Selain faktor alamiah, juga disebabkan oleh faktor aktivitas manusia yang mempengaruhi suatu bentang alam, seperti kegiatan pertanian, pembebanan lereng, pemotongan lereng, dan penambangan.

Bencana tanah longsor adalah suatu peristiwa alam yang terjadi berupa pergerakan tanah atau bebatuan menuruni lereng dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah sehingga jika di daerah tersebut terdapat pemusatan pemukiman penduduk, maka berisiko menyebabkan adanya kerugian harta benda, jatuhnya korban jiwa, dan lain sebagainya. Istilah longsor mencakup berbagai jenis pergerakan tanah termasuk runtuh batu, aliran serpih, penurunan tanah (slump), dan lain sebagainya.

Verstappen (1983) menyebutkan bahwa geomorfologi dapat didefinisikan sebagai ilmu tentang bentuk lahan (*landform*) yang membentuk permukaan bumi, baik di atas maupun di bawah permukaan laut, genesis dan perkembangannya yang akan datang, sejalan dengan konteks lingkungannya. Berdasarkan definisi bentuk lahan tersebut dapat diketahui bahwa bentuk lahan adalah konfigurasi permukaan bumi yang mempunyai relief khas, karena pengaruh kuat dari struktur kulit bumi dan bekerjanya proses alam pada batuan penyusunannya di dalam ruang dan waktu tertentu.

Cooke dan Doornkamp (1994), menjelaskan kontribusi geomorfologi

terhadap penilaian kejadian gerakan massa, bahwa ada beberapa faktor yang perlu diketahui untuk menilai kejadian gerakan massa atau longsor tanah, yaitu: lereng, drainase, batuan dasar, tanah, bekas-bekas longsor sebelumnya, iklim dan pengaruh aktivitas manusia. Dari beberapa konsep tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa ada hubungan erat antara kondisi geomorfologi suatu wilayah dengan karakteristik kejadian longsor tanah, karena faktor-faktor penyusun bentuk lahan juga akan berpengaruh terhadap karakteristik tanah longsor yang dicerminkan dengan berbagai tipe longsor.

Ruas jalan Dolok Sanggul- Pakkat merupakan daerah yang mempunyai tingkat kerawanan yang cukup tinggi terhadap kejadian bencana tanah longsor. Wilayah ini dipastikan setiap tahunnya selalu terjadi bencana tanah longsor baik berskala besar maupun kecil, walaupun selama ini korban jiwa akibat bencana alam tersebut tidak ada. Pada 27 Juni 2018 ([Http://google.com/](http://google.com/)) terjadi longsor yang cukup parah dimana ruas badan jalan kiri dan kanan longsor yang hampir melumpuhkan kegiatan setempat. Jalan yang bisa digunakan sampai sekarang hanya untuk dilalui oleh sebuah roda empat (mobil), berbeda dari awalnya yang bisa dilalui 2 (dua) kendaraan roda empat (mobil).

Dengan adanya kondisi morfologi tanah di ruas jalan Dolok Sanggul- Pakkat yang rawan longsor, maka penulis merasa perlu menganalisis faktor- faktor penyebab terjadinya longsor dan faktor keamanan kondisi lereng.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Pendahuluan**

Pada bab ini akan dibahas mengenai data umum yang dipakai dalam penyelidikan dilapangan dan metode pelaksanaannya. Dan yang akan dijelaskan disini adalah mengenai penyelidikan lapangan yang akan digunakan dalam perhitungan beban tanah yang bekerja pada lereng.

### **2.2. Definisi Tanah**

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat dan butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk menjadi berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Braja M Das, 1995).

Tanah, pada kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia. Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya.

Sebagai contoh, lempung berlanau adalah tanah yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung dan sebagainya. Tanah terdiri dari tiga komponen, yaitu udara, air dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah.

Ruang diantara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi air dan udara, tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.

### **2.3. Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompokkelompok

berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Braja M Das, 1995).

Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau dan lempung), sifat plastisitas butir halus. Klasifikasi bertujuan untuk membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama.

Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastis. Ada dua buah sistem klasifikasi tanah yang biasa digunakan, yaitu Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi USCS.

#### a. Sistem Klasifikasi AASHTO

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, yang diajukan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem klasifikasi ini bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (sub-base) dan tanah dasar (subgrade).

#### 2.4. Analisa Saringan (sieve seaker)

Metode pengujian ini mencakup jumlah dan jenis-jenis tanah baik agregat halus maupun agregat kasar. Mode ini digunakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) dengan menggunakan saringan, tujuan untuk memperoleh distribusi atau jumlah persen-tase butiran. Analisa saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos

dalam satu set saringan kemudian angka-angka persentasi digambar pada grafik pembagian butir. Analisis pembagian butirnya umumnya dibagi menjadi dua bagian (soedarmo, 1997):

1. Analisis Ayakan (Sieve Analysis)  
Tanah yang analisis dikeringkan dengan panas matahari atau dengan oven. Kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan yang tersusun dari bawah dengan lubang terkecil/terhalus sampai keatas dengan lubang terbesar/terkasar. Dari sisa-sisa tanah yang tertinggal di atas ayakan dan lolos, maka dapat digambarkan dalam bentuk kurva tersebut dapat ditentukan jenis tanahnya dan gradasinya.
2. Analisis Hidrometri (*Hydrometer Analysis*)  
Analisis ini dipakai untuk tanah berbutir halus (*finer part*), seperti lempung (*clay*) dan lumpur (*silt*) analisis hidrometri berdasarkan prinsip-prinsip sebagai berikut:
  - a. Butiran-butiran tercampur dalam air (*suspensi*) akan menurun dengan kecepatan tertentu yang tergantung ukuran butiran-butirannya. Butiran-butiran yang berukuran sama akan menurun dengan kecepatan sama.
  - b. Berat spesifik/ berat jenis suspensi tergantung konsistensi butiran-butiran yang terkandung didalamnya. Jadi dengan cara mengukur berat jenis suspensi kita dapat menghitung banyak tanah yang ada didalam campuran tersebut.

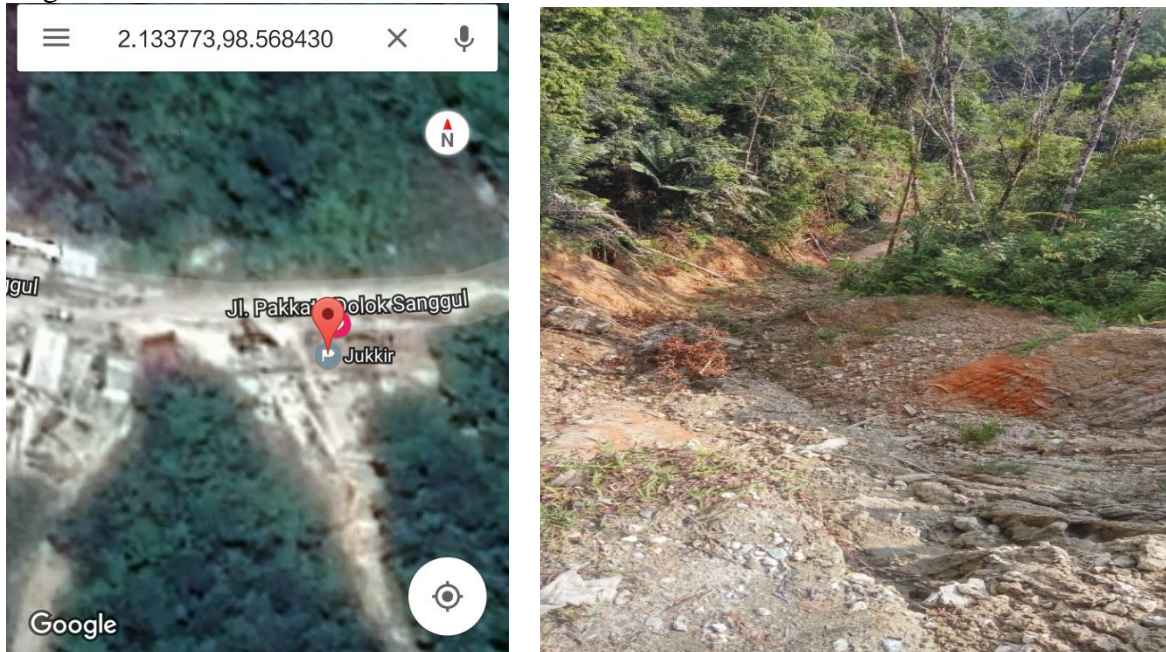
#### 2.5. Batas Konsistensi (Atterberg)

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsisten. Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian di jalan Provinsi Km153+500 dari Kota Sibolga tepatnya Desa Arbaan, Kec. Pakkat, Kab. Humbang Hasundutan, Prov. Sumatra Utara, Indonesia yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Pada pelaksanaan survey langsung ke lokasi untuk mendapatkan sampel tanah tak terganggu dan tanah yang sudah terganggu di lokasi tanah longsor.



Gambar 3.1 Peta Topografi Kabupaten Humbang Hasundutan, Prov. Sumut  
Sumber: Google Maps <http://maps.google.com/>

#### 3.2. Pengambilan Sampel Tanah

Sebelum melakukan pengujian dilaboratorium hal yang pertama dilakukan adalah pengambilan sampel tanah dari lokasi longsor yang akan diuji besar maksimal kuat geser langsung pada lereng tersebut. Untuk memperoleh besar maksimal dari kuat geser langsung pada longsor maka perlu dilakukan pengujian *Direct shear test*.

Pengambilan sampel tanah yang diambil tanah tidak terganggu (*undisturbed soil*) yaitu tanah yang masih alami yang tidak terganggu oleh lingkungan luar, sampel tanah diambil di beberapa titik pada lokasi pengambilan sampel menggunakan tabung contoh (*sample tubes*) yang sudah diolesi pelumas atau oli, sampel tanah yang diambil merupakan tanah yang mewakili tanah di lokasi pengambilan sampel. Cara pengambilan sampel tanah ini dapat

dilakukan dengan tabung bor dan batangbor dimasukkan kedalam lubang secara perlahan-lahan dan diusahakan tegak lurus. Pada batang bor diberi tanda kedalaman tabung yang akan dicapai sehingga kedalaman selama penekanan tidak melebihi tinggi tabung yang dapat menyebabkan pemadatan dalam tabung. Tabung ditekan dengan cara memukul kepala batang bor hingga mencapai batas kedalaman yang sudah dibuat. Kemudian tabung diangkat dan dilepaskan dari stang bor, kemudian permukaan tanah pada kedua ujung tabung diratakan dan diberi lapisan penutup dengan lilin yang sudah diencerkan dengan tujuan menjaga tanah dalam tabung agar tidak mengalami penguapan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pengujian Laboratorium Mekanika Tanah

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada laboratorium dibuatkan dalam bentuk tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Laboratorium

Nomor Sampel		I	II	Rata-rata
Kedalaman		5 m	10 m	
Kadar Air	W (%)	27.79	28.90	28.35
Berat Basah	$\hat{c}_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.504	1.552	1.53
Berat Kering	$\hat{c}_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.177	1.204	1.19
Berat Isi Jenuh	$\hat{c}_{sat}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.711	1.725	1.72
Berat Jenis	Gs	2.526	2.512	2.52
Angka Pori	e	1.1462	1.0863	1.12
Porositas	n	0.5341	0.5207	0.53
Derajat Kejenuhan	Sr (%)	61.24	66.83	64.04
<b>Batas-batas Atterberg</b>				
Liquid Limit	LL (%)	39.72	37.37	38.54
Plastic Limit	PL (%)	24.43	23.48	23.96
Plastic Index	PI (%)	15.29	13.89	14.59
<b>Analisa Saringan</b>				
No. 4	Passing Percent	100.00	98.61	99.31
No. 10	Passing Percent	99.39	97.19	98.29
No. 20	Passing Percent	95.87	91.34	93.61
No. 40	Passing Percent	82.98	79.72	81.35
No. 60	Passing Percent	76.60	69.81	73.20
No. 100	Passing Percent	64.94	53.92	59.43
No. 200	Passing Percent	45.43	40.13	42.78
<b>Uji Geser Langsung</b>				
Internal Friction	$\Phi$ (Degree)	28 ° 23 " 10.01 "	30 ° 16 " 36.25 "	29° 19' 53.13"
Cohesion	c (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.093	0.089	0.091

### 4.2 Pemodelan dengan Program Plaxis

Data geometri lereng yang diperoleh dari pengamatan visual di lapangan digunakan untuk permodelan lereng menggunakan program *Plaxis 2D Ver 8*.

#### Identifikasi Parameter

Parameter yang digunakan diperoleh dari hasil uji sifat keteknikan tanah. Adapun nilai-nilai yang akan digunakan sebagai parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3 Tabel 4.3 Parameter Pemodelan *soft soil dan Mohr-coulomb*

Parameter	Nama	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
			Soft soil	Mohr-coulomb
Jenis Tanah			Lempung	Lempung
Sifat			<i>Drain</i>	<i>Undrai</i>

Tanah			<i>ed</i>	<i>ned</i>
Berat Isi Basah	$\gamma_{sat}$	KN/m <sup>3</sup>	17,20	17,20
Berat Isi Kering	$\gamma_{unsa}$	KN/m <sup>3</sup>	15,30	15,30
Permeability - x	$K_x$		0.000001	0.000001
Permeability - y	$K_y$		0.000001	0.000001
Koefisien Pemampatan	$C_c$		0,885	0,885
Koefisien Pengembangan	$C_s$		0,185	0,185
Angka Pori	e		1,120	1,120
Lamda Bintang	$\lambda^*$		0,182	0,182
Kappa Bintang	$k^*$		0,076	0,076

Kohesi	C	KN/m	8,927	8,927
Sudut Geser Dalam	$\phi$	$^{\circ}$	29	29
Sudut Dilatasi	$\psi$	$^{\circ}$	0	0
Rasio kompresi	v		0,30	0,30
Elastisitas	E	KN/m	39240	39240

## 5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dilaboratorium dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan pengujian indeks propertis tanah didapat hasil sebagai berikut:
  - a. Hasil uji *Atterberg* pada tanah asli diperoleh nilai *Liquid Limit* sebesar 38,54% dan *Plastic Limit* sebesar 23,96% dan indeks plastisitas sebesar 14,59% dan analisa saringan yang lolos sebesar 42,78%, maka berdasarkan klasifikasi AASTHO sampel tanah termasuk dalam A-6 dan berdasarkan klasifikasi USCS tanah sampel termasuk golongan CL (Lempung Anorganik)
  - b. Kadar air didapat sebesar 28,35 %
  - c. Berat jenis didapat sebesar 2,520
  - d. Berat isi didapat sebesar 1,530 gr/cm, maka tanah dikategorikan tanah sangat basah.
2. Dengan pengujian kuat geser tanah dari uji *Direct Shear Test* yang dilakukan pada tanah asli maka diperoleh  $\phi$  diperoleh  $29^{\circ}$  dan c diperoleh  $0,091 \text{ kg/cm}^2$ , maka kekuatan geser tanah asli dari lapangan untuk pembebanan 5 kg sebesar  $0,185 \text{ kg/cm}^2$ , untuk pembebanan 10 kg sebesar  $0,246 \text{ kg/cm}^2$ , dan untuk pembebanan 15 kg sebesar  $0,349 \text{ kg/cm}^2$ .

3. Untuk mendapat faktor aman dari lereng dengan metode Fillenius, maka diperlukan data hasil pengujian dari laboratorium yaitu data dari uji berat
4. isi dan direct shear test. Sehingga dari hasil perhitungan metode Fillenius diperoleh faktor aman ( $F_k$ ) lereng sebesar 1,087. Dari hasil perhitungan stabilitas lereng dengan menggunakan metode Fillenius, maka faktor penyebab seringnya terjadi longsor pada daerah Desa Arbaan, Pakkat Humbang Hasundutan akibat kecilnya faktor aman yang dihasilkan oleh parameter-parameter dari tanah, dikontrol dengan menggunakan tabel faktor aman lereng, maka lereng tersebut berada dalam Longsor sering terjadi (Lereng dalam kondisi Kritis).

## Saran

1. Pada saat melakukan pengujian Direct Shear Test di laboratorium perlu ketelitian dalam menentukan hasil yang baik dan perlu penelitian lebih lanjut.
2. Hasil pengujian Direct Shear Test untuk menguji kuat geser tanah alangkah baiknya jika menggunakan alat uji Triaxial dan Unconfined Compression Test untuk mendapatkan hasil yang sempurna
3. Pada saat perhitungan menggunakan Metode Fillenius alangkah baiknya jumlah sayatan lebih banyak untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.
4. Perlu adanya pendalaman dalam menggunakan Program *Plaxis* untuk mendapatkan nilai yang paling mendekati dengan kondisi sebenarnya di lapangan.
5. Disarankan agar tidak dilakukan penebangan pohon di sekitar lereng penelitian untuk tetap menjaga kekuatan tanah agar faktor keamanan lereng tidak berubah.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Das. Braja M, Mekanika Tanah (*Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*), Jilid I, 1993, Erlangga, Jakarta.
- Das. Braja M, Mekanika Tanah (*Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*), Jilid II, 1993, Erlangga, Jakarta .
- L.D. Wesley, Mekanika Tanah terjemahan: A.M. Luthfi, Ir. Pekerjaan Umum, Jakarta. (1989).
- Janner, Ir Napitupulu, *Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Darma Agung*, 1992, Medan.
- Josep E Bowles, Joseph E, *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*, 1989, Erlangga, Jakarta.
- 1Hardiyatmo, Hary cristyady, Mekanika Tanah 2,1994, PT.Gramedia Pustaka utama, Jakarta.