

## ANALISIS STABILITAS LERENG TERASERING BUATAN DENGAN METODE FENITE ELEMEN

Mawardi<sup>1</sup>, Afrizal Danang Setiawan<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Sipil (S1), Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

E-mail: mawardi@unib.ac.id

### Informasi Naskah:

Diterima:

24 – 03 – 2022

Direvisi:

22 – 05 – 2022

Disetujui Terbit:

29 – 06 – 2022

Diterbitkan:

Cetak

11 – 07 – 2022

Online

11 – 07 - 2022

**Abstract:** The area of Seluma Regional Government Office, is at Talang Saling, Seluma District. There are an offices area, a roads area, and an slopes area. This study aims to analyze modified slope stability in several variations using the Finite element method, so that it is known that the safety factor (FK) and soil type on the slopes Seluma District. The study began to take soil sample, and then carrying out a physical and mechanical property test, then performed slope stability analysis is to find out the slope safety Factor (FK). The Calculation and analyze of slope stability with the effect of pore water obtained results : on the original slope number 1,  $FK = 0.65 < 1.50$ , is not safe slope,  $FK = 1.00 < 1.50$ , 2 stair terraces, is not safe slope and 3 stair terraces,  $FK = 1.11 < 1.50$ , is not safe slope. The original slope number 2,  $FK = 0.55 < 1.5$ , is not safe slope,  $FK = 0.83 > 1.50$ , 2 stair terraces, is safe slope, and 3 stair terraces,  $FK = 1.03 < 1.5$  is not safe slope. The original slope number 3,  $FK = 0.43 < 1.5$  is not safe slope,  $FK = 0.66 < 1.50$ , 2 stair terraces, is safe slope, and 3 stair terraces,  $FK = 0.97 < 1.50$  is not safe slope. So, the safe slope is the slope with slope safety number (FK) more than 1.50 and all slope with 2 stair terraces and all slope with 3 stair terraces is not safe slope.

**Keyword:** Finite element method, Terraces, slope safety number

**Abstrak:** Kawasan Kantor Pemda Kabupaten Seluma, di desa Talang Saling, merupakan kawasan area perkantoran, area jalan, dan area tanah berlereng, dan area timbunan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui angka keamanan lereng pada kawasan ini. Metode yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng ini adalah Metode Finite Elemen (FE). Analisis ini untuk mendapatkan nilai faktor aman (FK) lereng. Penelitian diawali dengan melakukan pengambilan sampel tanah di lapangan, kemudian melakukan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik tanah, selanjutnya melakukan perhitungan dan analisis angka keamanan lereng untuk mengetahui nilai FK. Hasil Perhitungan dan analisis stabilitas lereng pada kondisi adanya pengaruh air pori mendapatkan hasil : pada lereng no. 1 kemiringan asli,  $FK = 0,65 < 1,50$  kemiringan tidak aman, lereng terasering 2 trap, diperoleh  $FK = 1,00 < 1,50$  kemiringan tidak aman, Lereng terasering 3 trap, diperoleh  $FK = 1,11 < 1,50$  kemiringan tidak aman. Pada lereng no. 2 kemiringan asli, nilai  $FK = 0,55 < 1,50$  kemiringan tidak aman, lereng terasering 2 trap, diperoleh  $FK = 0,83 < 1,50$  kemiringan tidak aman, lereng terasering 3 trap, diperoleh  $FK = 1,03 < 1,50$  kemiringan tidak aman. Pada lereng no. 3 kemiringan asli, diperoleh  $FK = 0,43 < 1,50$  lereng tidak aman, lereng terasering 2 trap,  $FK = 0,66 < 1,5$  lereng tidak aman, lereng terasering 3 trap  $FK = 0,97 < 1,50$  lereng tidak aman. Lereng kemiringan yang aman adalah lereng dengan  $FK \geq 1,50$  dan semua lereng 2 trap dan semua lereng 3 trap termasuk lereng tidak aman karena FK kurang dari 1,5.

**Kata Kunci:** Metode Finite elemen, Trap, angka keamanan lereng

## 1. PENDAHULUAN

Pada Area perkantoran Pemda Kabupaten Seluma yang terletak di desa Talang Saling memiliki topografi bergelombang atau tidak rata. Letak area perkantoran ini pada ketinggian  $\geq 1.00$  m dari muka air laut. Penelitian ini merupakan studi kasus lereng dilokasi perkantoran Kabupaten Seluma, hal ini dilatar belakangi bahwa kawasan Pemda Seluma ini merupakan kawasan perkantoran, jalan, lereng, timbunan tanah, dimana suatu saat bisa terjadi bahaya longsor. Hal ini akan membahayakan bagi orang yang bekerja dan berada di sana. Topografi kawasan Kantor Pemda kab. Seluma ini bervariasi, dimulai dari tepi pantai berupa dataran rendah, arah ke darat merupakan dataran tinggi yang membentuk kemiringan atau lereng (Hardyanto, 2014).

Definisi Lereng. Lereng adalah suatu permukaan dari tanah yang berbentuk miring atau permukaan tanah yang ada kemiringannya (*slope*) dan membentuk sudut terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi tutupan tumbuhan. Terbentuknya lereng dapat terjadi secara alamiah (proses secara alamiah) dan lereng yang disengaja dibentuk atau dibuat oleh manusia, yang mempunyai tujuan teknis tertentu. Lereng merupakan kondisi topografi yang banyak dijumpai di berbagai pekerjaan konstruksi sipil. Lereng ada yang stabil (aman) dan lereng ada yang goyah/ tidak stabil / gampang longsor, yang tidak stabil sangatlah berbahaya bagi lingkungan sekitarnya. Untuk mengetahui lereng itu aman atau tidak aman perlu adanya analisis stabilitas lereng untuk mengetahui angka keamanan lerengnya FK, dengan demikian analisis stabilitas lereng sangat penting.

Nilai stabilitas suatu lereng diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan (FK). Analisis stabilitas lereng diperlukan untuk mengetahui besarnya faktor keamanan suatu lereng (FK), (Bowles, 1991).

Teknik atau cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya

bahaya kelongsoran suatu lereng adalah dengan cara membuat terasering (*trap*), *retaining wall*, turap dan *sheet pile*. Cara membuat terasering merupakan salah satu cara termurah untuk meminimalisir terjadinya longsor pada lereng. Dengan cara terasering atau pembuatan *trap*, maka ini akan memperpanjang lintasan lereng dan memperkecil kemiringan lereng (menurunkan sudut kemiringan lereng), dengan cara memangkas atau penggalian lereng, hal ini akan mengurangi volume tanah pada lereng. Dengan pembuatan terasering/*trap* ini akan mengurangi massa atau berat lereng dengan demikian akan memperkecil potensi tergelincirnya bidang longsor lereng, angka keamanan lereng akan naik (Sukarta atmadja, 2004 dalam Purnamasari, 2014). Teknologi terasering / *trap* ini bisa mengurangi massa tanah yang berpotensi terjadinya tergelincirnya tanah. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan lereng buatan dengan membuat terasering 2 *trap* dan terasering 3 *trap*. Kemudian dilakukan perhitungan dan analisis stabilitas lereng untuk memeriksa angka keamanan lereng dari lereng buatan, lereng terasering 2 *trap* dan terasering 3 *trap* tersebut.

Dalam perencanaan geoteknik rekayasa sipil. Pekerjaan Optimasi lereng memiliki peranan yang sangat penting. Metoda Analisis stabilitas lereng yang berada pada lereng di areal kawasan Kantor Pemda Seluma ini dihitung menggunakan cara analisis Metode finite Elemen, dengan mengubah bentuk lereng asli menjadi lereng buatan terasering 2 *trap* dan 3 *trap*. Analisis dan Perhitungan dengan menggunakan Metode Finite Elemen ini mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. Analisis Metode Finite Elemen ini bertujuan untuk mencari nilai faktor keamanan yang paling efisien.

Rumusan masalah yang dapat diperoleh dari latar belakang ini adalah : Berapa nilai faktor keamanan (FK) lereng yang efisien di kawasan Kantor Pemda Seluma pada kondisi lereng asli, lereng

yang aman  $FK \geq 1,5$ , lereng terasering 2 trap dan lereng terasering 3 trap dengan analisis menggunakan Metode Finite Elemen.

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah : Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng yang paling efisien di kawasan Kantor Pemda Seluma pada kondisi lereng asli, tanah jenuh, lereng terasering 2 trap dan lereng terasering 3 trap, dengan analisis stabilitas lerengnya menggunakan Metode Finite Elemen.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Tanah

Tanah merupakan tempat diletakkannya struktur pondasi yang merupakan penyokong / pendukung suatu bangunan, atau sebagai bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri contohnya seperti tanah sebagai konstruksi bendung, bendungan, jalan dll. Tanah di pandang dari ilmu Teknik Sipil, tanah merupakan himpunan / kumpulan dari mineral-mineral, kumpulan bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2012).

### Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah / pengelompokan jenis tanah banyak metodanya, pada penelitian ini 2 cara klasifikasi tanah yang dipakai yaitu Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi USCS. Kedua sistem Klasifikasi tanah ini selalu dipakai oleh para ahli geoteknik, teknik sipil. Kedua sistem Klasifikasi tanah tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem-sistem klasifikasi tersebut sangat lengkap. Klasifikasi sistem AASHTO dan klasifikasi sistem USCS saling melengkapi satu dengan yang lainnya.

1. Sistem Klasifikasi AASTHO, 1978.

Sestem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO) dikembangkan pada tahun 1929 dan telah mengalami beberapa kali revisi dan telah dipergunakan hingga sekarang ini, sestem klasifikasi AASHTO ini

diajukan oleh *Commite 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 AASHTO bertujuan untuk menentukan kualitas tanah dasar pada spesialisasi pekerjaan jalan yaitu lapisan tanah (*sub-base*) dan lapisan tanah dasar (*subgrade*) pada pekerjaan konstruksi jalan.

2. *Unified Soil Classification System* (USCS) Sistem *Unified Soil Classification System* (USCS)

ini pada mulanya dikenalkan oleh Casagrande 1942, untuk dipergunakan pada proyek-proyek pekerjaan pembuatan lapangan terbang (*air Port*) yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama *Perang Dunia II*. Hal ini dalam rangka kerja sama dengan biro *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, dan sistem USCS ini disempurnakan oleh Das, 1994. Kemudian sitem USCS disempurnakan lagi oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM), dan ASTM ini memakai USCS sebagai Metode standar untuk mengklasifikasikan tanah di USA. Sistem klasifikasi metoda USCS dalam bentuk yang sekarang ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan rekayasa geoteknik.

### Lereng

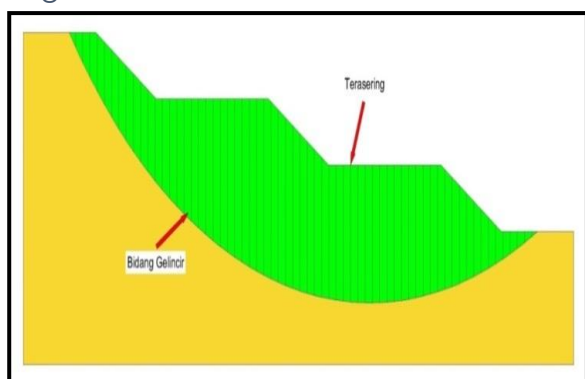
Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi. Macam lereng ada 2 yaitu lereng alami dan lereng buatan manusia. Lereng dibedakan lagi menjadi lereng dengan panjang tak hingga dan lereng dengan panjang hingga / terbatas. Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep umum keseimbangan batas, untuk menghitung faktor aman (FK) yang melawan gaya runtuh pada kestabilan lereng tersebut. Faktor keamanan adalah perbandingan antara kekuatan geser maksimum  $\tau_{max}$  dan kekuatan geser yang diperlukan untuk kemantapan, yaitu kekuatan pada keadaan keseimbangan batas (Bhisop, 1955).

## Longsor

Longsor yang merupakan pergerakan tanah adalah salah satu bentuk dari gerakan massa tanah, mass batuan, dan mass runtuh batuan / tanah yang terjadi seketika. Massa tanah / batuan ini bergerak menuju lereng bawah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur dari atas suatu lapisan kedap yang jenuh air (bidang luncur). Kelongsoran pada lereng alami atau lereng buatan dapat terjadi secara perlahan atau tiba-tiba, pergerakan tanah ini biasanya diakibatkan oleh adanya pemicu kelongsoran. Salah satu pemicu kelongsoran lereng adalah penurunan kuat geser tanah ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi'$ ) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran pada bidang longsor.

## Stabilisasi Lereng

Kondisi tanah di permukaan bumi memiliki ketinggian yang berbeda-beda antara suatu titik dengan titik lainnya. Material penyusun tanah memiliki ikatan yang tidak begitu kuat, sehingga dengan adanya gaya gravitasi dapat membuat tanah retak sehingga terjadi tanah longsor.



Gambar 1. Bidang Longsor Lereng Terasering

Perkuatan perlu dirancang dengan jenis yang ringan agar tidak menambah beban pada tanah asli yang lunak yang dapat menimbulkan penurunan yang besar (Parry dan Wroth, 1981 dalam Adidkk, 2014). Pencegahan dapat dilakukan dengan terasering. Teras adalah

bangunan konservasi tanah dan air secara mekanis yang dibuat untuk memperpendek panjang lereng dan atau memperkecil kemiringan lereng dengan jalan penggalian dan pengurungan tanah melintang lereng serta mengurangi massa yang potensial tergelincir, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Nilai dari faktor keamanan (FK) berdasarkan intensitas kelongsoran

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Intensitas Kelongsoran
$FK < 1,5$	Lereng dalam keadaan tidak stabil
$FK = 1,5$	Lereng kemungkinan dalam keadaan tidak stabil
$FK > 1,5$	Lereng dalam keadaan stabil

Sumber : Hardiyatmo, 2012

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian tentang hasil kekasaran permukaan benda kerja dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Untuk pembuatan spesimen benda kerja dilakukan di Bengkel Mesin SMK N 1 Magelang.

### 3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi material atau benda kerja Aluminium 6061 silinder pejal dengan diameter 1 inch dan panjang 120 mm.



### Gambar 1. *Alumunium 6061*

Bahan untuk pembuatan cairan pendingin yaitu minyak kelapa dan minyak canola dengan konsentrasi variasi campuran:

- Minyak kelapa 15%+air 85%. (C1)
- Minyak kelapa 15%+oli meditrans 5%+air 80%. (C2)
- Minyak kelapa 15%+dromus 5%+air 80%. (C3)
- Minyak canola 15%+air 85%. (C4)
- Minyak canola 15%+oli meditrans 5%+air 80%. (C5)
- Minyak canola 15%+dromus 5%+air 80%. (C6)
- Cairan pembersih (coolant dromus 15%+air 85%). (CP)



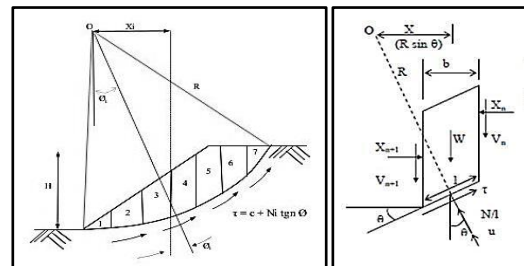
**Gambar 2.** Minyak kelapa



**Gambar 3.** Minyak canola

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Mesin Bubut Konvensional (*Turning*), Pahat HSS (*High Speed Steel*) dengan dimensi 9,525 x 9,525

x 101,6 mm, dengan sudut potong utama sebesar 60°, Alat ukur kekasaran permukaan (*Surface Roughness Tester Mitutojo SJ-210 Standar Metode Bhisop* yang disederhanakan (Bhisop, 1995) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Cara menggunakan metode ini adalah dengan membuat diagram irisan, yaitu dengan memecah massa tanah yang longsor diiris menjadi beberapa pecahan-pecahan vertikal. Kemudian, dihitung keseimbangan dari tiap-tiap irisan yang dibuat.



Sumber : Das (1994)

Gambar 2. Gaya yang bekerja pada irisan

Bentuk persamaan faktor keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Bhisop yang disederhanakan (Bhisop, 1955), adalah :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - r_u) t g \phi] \left( \frac{1}{\cos \theta_i (1 + t g \theta_i t g \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

dengan:

$F$  = faktor aman

$$c' = \text{kohesi tanah efektif (kN/m}^2\text{)}$$

$\phi'$  = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

$$b_i = \text{lebar irisan ke-}i \text{ (m)}$$
$$W_i =$$

$\theta_i$  = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 2 (derajat)

$$u_i = \text{tekanan air pori pada irisan ke-} i$$

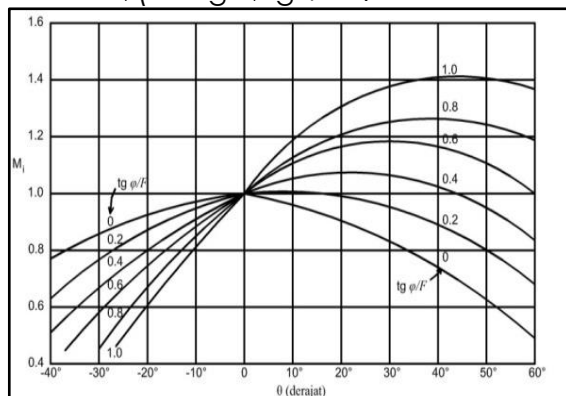
$$(\text{kN/m}^2)$$

berat irisc

Dari perhitungan nilai faktor aman (FK) dipastikan lebih teliti dengan menggunakan metode Finite Elemen dibanding dengan metode lain, walaupun metode ini membutuhkan cara

coba-coba (*trial and error*) tetapi dipermudah dengan menghitung manual dengan menggunakan Gambar 3 untuk menentukan fungsi nilai  $M_i$  berikut :

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / F)$$



Sumber : Hardiyatmo, 2012

Gambar 3. Diagram menentukan nilai  $M_i$

### Finite Element Method (FEM)

*Finite Element Method* (FEM) adalah salah satu metode untuk memperoleh nilai SF untuk analisa *slope stability* dengan mempertimbangkan hubungan tegangan-regangan dalam tanah dan deformasi tanah. Konsep perhitungan dengan metode ini adalah menggunakan analisa numeric untuk memperoleh hubungan tegangan-regangan maupun deformasi. Konsep dasar perumusan ini adalah mereduksi nilai tegangan geser ( $c$ ) dan sudut geser dalam tanah untuk memperoleh nilai *safety factor*. Kedua parameter tersebut akan berkurang hingga massa tanah dalam tubuh talud/timbunan mengalami kelongsoran. (KSari, 2015).

#### A. Tegangan

Persamaan tegangan merupakan sebuah tenor yang dapat dinyatakan oleh sebuah matriks dalam koordinat Cartesius :

$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

#### B. Regangan

Regangan merupakan sebuah tensor yang dapat dinyatakan oleh matriks dalam koordinat Cartesius :

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

### Program Komputer Berbasis LEM dan FEM

Pada program berbasis LEM terdapat produk perangkat lunak (*soft ware*) untuk menghitung faktor keamanan lereng, baik lereng yang tersusun oleh tanah maupun lereng yang tersusun dari batuan. Analisis stabilitas lereng menghasilkan nilai faktor keamanan lereng. Analisis stabilitas lereng ini dapat dilakukan dalam bermacam-macam kondisi lapangan yang berbeda, contoh seperti berbagai macam kemiringan tanah, pada tanah terdapat tekanan air pori atau tanah tidak ada tekanan air pori, dan juga tanah mempunyai sifat fisis dan mekanik yang berbeda-beda, tanah yang berlapis-lapis.

Program berbasis *Finite Element Model*, (FEM) adalah suatu program elemen hingga 2D dan 3D (dimensi) yang digunakan untuk menampilkan analisis deformasi dan analisis stabilitas untuk berbagai tipe aplikasi geoteknik. Situasi kasus kondisi yang sebenarnya dapat dimodelkan baik dengan model *plane strain* maupun model *axisymmetric*.

### Jenis-Jenis Pengujian Tanah

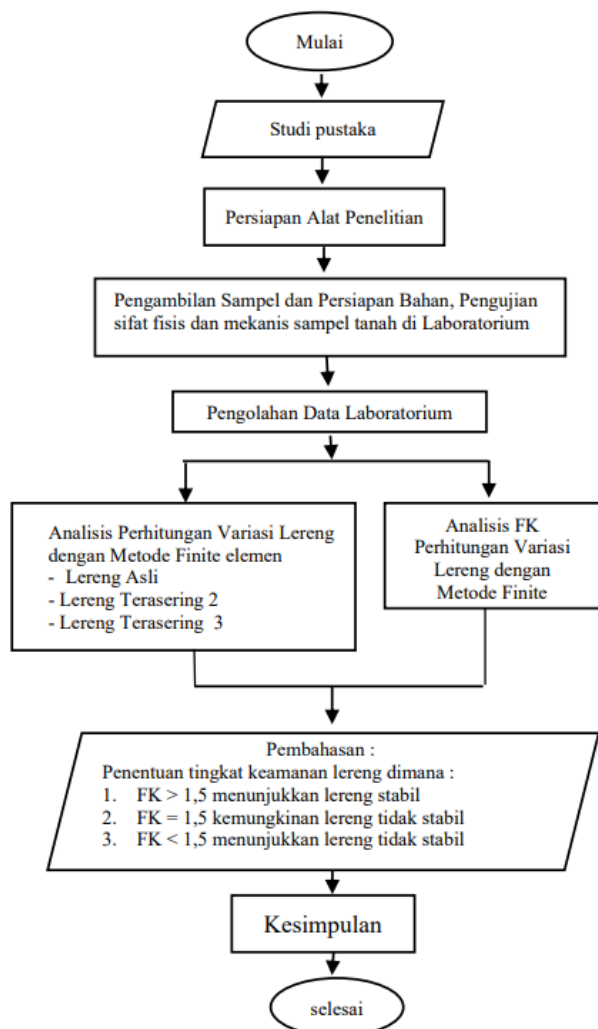
Pengujian atau penyelidikan tanah bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi parameter sifat fisik dan sifat mekanik tanah. Selanjutnya parameter-parameter dan sifat mekanik tanah tanah tersebut digunakan sebagai bahan input data pada program analisis stabilitas lereng dan sebagai pertimbangan dalam perencanaan dan desain tipe bangunan untuk penanggulangan longsor dan untuk penanganan longsor. Berikut adalah jenis-jenis pengujian yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas lereng.

1. Batas-batas konsistensi tanah,  
Batas cair (SNI 1967-2008)  
Batas plastis (SNI 1966-2008)
2. Kuat Geser Langsung (SNI 2813-2008)
3. Berat Jenis (SNI 1964-2008)



4. Berat Isi (SNI 02-3637-1994)
5. Pemadatan Ringan (SNI 1742-2008)
6. Analisa saringan (SNI 3432-2008)

### Flow Chart Penelitian



## 5. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan dilaksanakan dengan mengambil sampel tanah di lapangan, pada lereng yang sudah di pilih langsung dari lokasi, kemudian dilakukan kegiatan pengukuran dan pengambilan titik- titik koordinat menggunakan alat GPS, Lereng no. 1 pada koordinat S 04°04'23,39" E 102°33'40,04", lereng no. 2 pada koordinat S.04°04'41,66" E 102°33'10,65" dan lereng no. 3 pada koordinat S 04°05'01,46" E 102°33'22,05".

Pada penelitian ini setelah pengambilan sampel kemudian melakukan pengujian uji fisis tanah, dan

kemudian dilanjutkan pengujian uji mekanik tanah / kekuatan tanah. Data-data yang diperoleh dari penelitian ini kemudian dijadikan data sebagai bahan perhitungan dan data untuk input pada analisis stabilitas lereng ini dengan menggunakan metode FEM untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) dari ke 3 lereng yang diteliti.

### Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah

Menurut Terzaghi, 1987, dari Sampel tanah yang diambil di lapangan, sampel tersebut kemudian dilakukan pengujian di Lab. Pengujian yang diperlukan yaitu uji sifat fisis tanah untuk mengetahui karakteristik tanah dari 3 lereng dengan tingkat kemiringan yang berbeda. Pengujian sifat fisis tanah yang dilakukan adalah uji analisis saringan, uji berat jenis tanah, uji-batas konsistensi dan uji berat isi tanah.

Hasil pengujian berat jenis (Specific Gravity, Gs)

Penelitian/pengujian berat jenis dilakukan menggunakan tanah yang diambil dari 3 titik lereng yang berbeda di lapangan. Pada penelitian berat jenis menggunakan tanah asli. Hasil perhitungan berat jenis dari semua sample (3 sampel), 3 lokasi yang berbeda. Kemudian hasil pengujian berat jenis dirata-ratakan untuk mengetahui berat jenis tanah yang mewakili tanah lereng tersebut. Perhitungan berat jenis dirata-rata yang dilakukan pada no. 1 lereng didapatkan nilai berat jenis pada lereng 1A sebesar 2,52, lereng 1B sebesar 2,81 dan lereng 1C sebesar 2,60. Nilai berat jenis dirata-ratakan di sajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil pengujian berat jenis tanah

Lereng	Berat Jenis
1A	2,52
1B	2,81
1C	2,60
2A	2,67
2B	2,88
2C	2,39
3A	2,79
3B	2,50
3C	2,64

Hasil pengujian berat isi

Pada Pengujian berat isi tanah / berat volume tanah dilakukan pada tanah di ke 3 lereng tersebut. Untuk mendapatkan berat isi tanah tersebut maka dilakukan rata-rata pada hasil pengujiannya. Hasil pengujian dari ke 3 lereng tersebut kemudian dilakukan perhitungan statistiknya yaitu rata-rata, sehingga didapatkan nilai berat isi tanah sampel tersebut. Hasil pengujian berat isi tanah ditunjukkan pada Tabel 3:

Tabel 3. Rekapitulasi hasil uji berat isi tanah

Lereng	Berat Isi			
	$\gamma_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_b$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )
1A	1,43	14,028	1,16	16,677
1B	1,39	13,635	1,13	16,952
1C	1,38	13,537	1,19	15,657
2A	1,37	13,439	0,92	15,450
2B	1,40	13,734	1,12	16,981
2C	1,43	14,028	1,07	15,912
3A	1,68	16,480	1,19	17,295
3B	1,69	16,578	1,22	16,981
3C	1,65	16,186	1,16	16,883

Dari hasil pengujian berat isi yang ada pada ke 3 lereng, didapatkan nilai berat isi basah ( $\gamma_b$ ) tanah pada lereng 1A sebesar 14,028 kN/m<sup>3</sup>, berat isi basah ( $\gamma_b$ ) lereng 1B sebesar 13,635 kN/m<sup>3</sup> dan berat isi basah ( $\gamma_b$ ) lereng 1C sebesar 143,537 kN/m<sup>3</sup>. Berat isi tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) pada lereng 1A sebesar 16,677 kN/m<sup>3</sup>, sedangkan Berat isi tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) lereng 1B sebesar 16,952 kN/m<sup>3</sup> dan Berat isi tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) lereng 1C sebesar 15,657 kN/m<sup>3</sup>. Nilai dari berat volume

tanah atau berat isi basah dan berat isi kering ini nantinya akan dipergunakan untuk input data dalam analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode Finite Elemen.

Hasil pengujian analisis saringan (sieve Analysis)

Hasil pengujian dan perhitungan dari pengujian analisa saringan pada ke 3 lereng dengan metoda sistem USCS (metoda Casagrande, 1948). Hasil pengujian dari analisis saringan pada ke 3 lereng tersebut adalah prosentase tanah yang lolos pada saringan No.200 kurang dari 50%, dengan demikian tanah ini diklasifikasikan sebagai tanah berbutir kasar. Dari pengujian butiran yang lolos saringan No.200 lebih besar dari 12%, Batas-batas konsistensi tanah, Batas cair (SNI 1967-2008), Batas plastis (SNI 1966-2008). Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa lereng no. 1, lereng no. 2 dan lereng no. 3 termasuk tanah lempung berpasir *sandy clay* (SC), menurut sistem klasifikasi USCS.

Hasil pengujian batas-batas konsistensi

Dari Pengujian batas-batas konsistensi (metoda/cara Atterberg, 1911) pada tanah asli dan penelitian batas-batas konsistensi tanah pada tanah asli. Berdasarkan hasil penelitian batas-batas konsistensi yaitu pengujian batas plastis (*plastic limit*) dan batas cair (*liquid limit*) yang dilakukan pada ke 3 lereng, hasil pengujiannya di sajikan pada Tabel 4

Tabel 4. Rekapitulasi batas-batas konsistensi tanah asli

Sampel	Indeks Plastisitas (PI)	Rata-rata PI	Batas Cair (LL)	Rata-rata LL
Lereng 1				
A	18,57	19,84	59,65	56,18
B	21,82		57,83	
C	19,14		51,05	
Lereng 2				
A	20,37	20,32	51,76	52,48
B	22,20		52,25	
C	18,40		53,44	
Lereng 3				
A	19,96	19,22	56,08	52,42
B	17,89		51,60	
C	19,83		49,58	

### Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah

Pada pengujian sifat mekanik tanah, sampel tanah asli dari lapangan, dikeluarkan dari tabung sampeler, kemudian dilakukan pengujian uji



mekanik tanah, yaitu uji *Direct shear test*, (uji kuat geser langsung). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik kekuatan geser tanah lereng dari ke 3 lereng tersebut. Hasil pengujian diperoleh dengan melakukan rata-rata dari hasil pengujiannya.

### Hasil Pengujian *Direct Shear*

Pengujian sifat mekanik adalah pengujian ***Direct Shear*** (Hardiyatmo, 2002). Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah asli, dilakukan sebanyak 3 kali pada tiap-tip lereng. Kemudian data hasil pengujian hasilnya dirata-rata. Pengujian *Direct Shear test* ini dilakukan dengan memberikan 3 beban yang berbeda beratnya, beban pertama sebesar 3167 gr, beban kedua sebesar 6334 gr, dan beban ketiga sebesar 9501 gr. Hasil pengujian kemudian dilakukan perhitungan sehingga mendapatkan nilai  $c'$  dan  $\phi'$ . Nilai  $c'$  dan  $\phi'$  diambil dari hasil rata-rata pengujian ke 3 sampel dalam 1 lereng, kemudian hasil pengujian ini dibuat rekapitulasi nilai  $c'$  dan  $\phi'$ . Nilai  $c'$  dan  $\phi'$  disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Rekapitulasi nilai  $c'$  dan  $\phi'$  tanah asli

Sampel	Kohesi ( $c'$ ) Kpa	Rata-rata $c'$ (Kpa)	Sudut geser ( $\phi'$ ) (°)	Rata-rata $\phi'$ (°)
LERENG 1 (A)	9.048	9.910	22.540	23.020
LERENG 1 (B)	9.694		23.021	
LERENG 1 (C)	10.987		23.499	
LERENG 2 (A)	9.694	8.832	22.540	23.494
LERENG 2 (B)	9.048		23.499	
LERENG 2 (C)	7.755		24.444	
LERENG 3 (A)	10.340	9.479	22.055	23.176
LERENG 3 (B)	8.402		23.973	
LERENG 3 (C)	9.694		23.499	

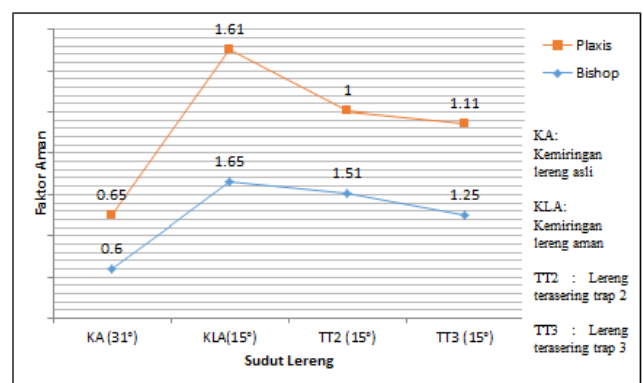
### Perhitungan Faktor Aman

Dari hasil perhitungan dan analisis stabilitas lereng pasa lereng asli dan lereng terasering, diperoleh angka keamanan (FK) untuk masing masing lereng. Adapun nilai angka keamanan lereng asli dan lereng terasering, disajikan pada Tabel 6.

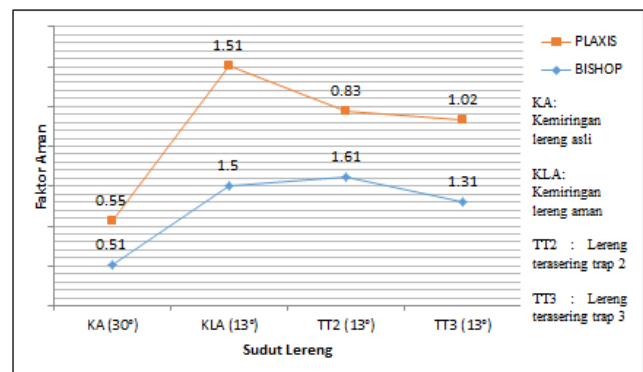
Tabel 6. Rekapitulasi Faktor aman (FK)

Lereng	Type	FK			
		Sudut Lereng (°)	LEM	Sudut Lereng	FEM
1	KA	31	0,60	31	0,65
	KLA	15	1,65	15	1,61
	TT2	15	1,51	15	1,00
	TT3	15	1,25	15	1,11
2	KA	30	0,51	30	0,55
	KLA	13	1,50	13	1,51
	TT2	13	1,61	13	0,83
	TT3	13	1,31	13	1,02
3	KA	36	0,41	36	0,43
	KLA	14	1,60	14	1,51
	TT2	14	1,98	14	0,66
	TT3	14	1,50	14	0,97

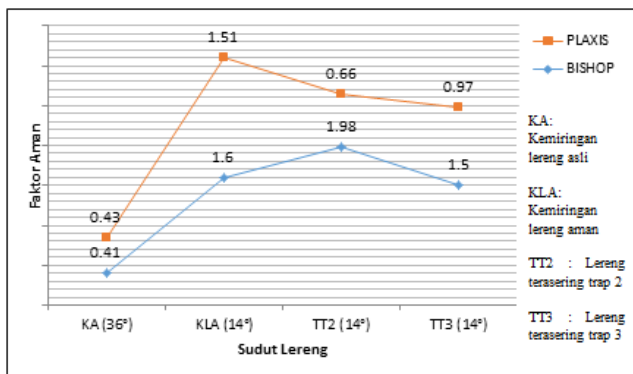
Hubungan antara Sudut Kemiringan Lereng Terhadap Nilai FK Lereng pada Lereng Kemiringan Asli, Lereng Kemiringan Lereng Aman, Lereng Terasering 2 trap, Lereng Terasering 3 Trap dengan Metode Finite Elemen,



Gambar 4 Grafik hubungan FK dengan Sudut Kemiringan Lereng Variasi pada Lereng no. 1



Gambar 5 Grafik hubungan FK dengan Sudut Kemiringan Lereng Variasi pada Lereng no. 2



Gambar 6 Grafik hubungan FK dengan Sudut Kemiringan Lereng Variasi pada Lereng no. 3

Dari Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6. Terlihat terjadi kenaikan nilai Faktor aman lereng, Pada lereng no. 1 kemiringan asli, FK = 0,65, setelah dibuat lereng terasering 2 trap, diperoleh FK = 1,00, setelah dibuat Lereng terasering 3 trap, diperoleh FK = 1,11. Pada lereng no. 2 kemiringan asli, diperoleh nilai FK = 0,55, setelah dibuat lereng terasering 2 trap, diperoleh FK = 0,83, setelah dibuat lereng terasering 3 trap, diperoleh FK = 1,03. Pada lereng no. 3 kemiringan asli, diperoleh FK = 0,43 < 1,50 lereng tidak aman, setelah dibuat lereng terasering 2 trap, FK = 0,66, setelah dibuat lereng terasering 3 trap diperoleh FK = 0,97. Dengan demikian maka dengan dibuatnya lereng terasering 2 trap dan 3 trap meningkatkan nilai keamanan lereng.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yang meliputi pengujian uji sifat fisis tanah dan pengujian uji sifat mekanik tanah, serta perhitungan analisis stabilitas lereng dapat diambil beberapa kesimpulan.

1. Jenis tanah yang berada pada lokasi penelitian, kawasan Pemda Seluma adalah lempung berpasir *Sandy clay* (SC). Jenis tanah lempung berpasir dibuktikan pada sistem klasifikasi sitem USCS. Hasil pengujian analisis saringan pada ke 3 lereng mendapatkan hasil persentase tanah yang lolos saringan No.200 kurang dari 50%, sehingga diklasifikasikan sebagai tanah "berbutir kasar". Dari pengujian batas-batas

Atterberg diperoleh prosentase yang lolos saringan No.200 lebih besar dari 12%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa lereng no. 1, lereng no. 2 dan lereng no. 3 termasuk tanah lempung berpasir *sandy clay* (SC).

2. Dari Pengujian sifat mekanik tanah dengan pengujian *Direct Shear Test* mendapatkan hasil, pada lereng no. 1 didapat nilai  $\phi' = 23,02^\circ$  dan  $c' = 9,91$  Kpa, pada lereng no. 2 didapat nilai  $\phi' = 23,49^\circ$  dan  $c' = 8,832$  Kpa, sedangkan pada lereng no. 3 didapat nilai  $\phi' = 23,176^\circ$  dan  $c' = 9,494$  Kpa.
3. Braja M. Das, 1994, suatu lereng yang FK  $\geq 1,5$  termasuk lereng aman, sehingga hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program berbasis FEM dengan mempertimbangkan pengaruh tekanan air pori mendapatkan hasil : pada lereng no. 1 kemiringan asli, FK = 0,65 < 1,50 kemiringan tidak aman, lereng terasering 2 trap, diperoleh FK = 1,00 < 1,50 kemiringan tidak aman, Lereng terasering 3 trap, diperoleh FK = 1,11 < 1,50 kemiringan tidak aman. Pada lereng no. 2 kemiringan asli, nilai FK = 0,55 < 1,50 kemiringan tidak aman, lereng terasering 2 trap, diperoleh FK = 0,83 < 1,50 kemiringan tidak aman, lereng terasering 3 trap, diperoleh FK = 1,03 < 1,50 kemiringan tidak aman. Pada lereng no. 3 kemiringan asli, diperoleh FK = 0,43 < 1,50 lereng tidak aman, lereng terasering 2 trap, FK = 0,66 < 1,5 lereng tidak aman, lereng terasering 3 trap FK = 0,97 < 1,50 lereng tidak aman.
4. Hubungan antara besar sudut kemiringan lereng dengan pengaruh tekanan air pori terhadap nilai FK jika menggunakan parameter yang sama, adalah semakin besar sudut lereng maka nilai FK akan turun nilainya dan menjadi kritis serta model variasi lereng dan metode mempengaruhi nilai FK.
5. Dari pemodelan lereng modifikasi terasering 2 trap dan terasering 3 trap pada lereng no. 1, lereng no. 2, dan lereng no. 3, dari hasil analisis Metode Finite Elemen, masing-masing lereng didapat hasil nilai angka keamanan FK

yang naik. Bila FK belum memenuhi syarat aman, dimensi terasiring 2 trap dan 3 trap harus diperbesar, dengan memperbesar volume galiannya, sehingga diperoleh angka keamanan terasiring yang aman.

6. Untuk mendapatkan lereng dengan kemiringan aman, yaitu dengan cara pengurangan sudut kemiringan lereng. Proses pengerjaan di lapangan dengan pemangkasan tinggi lereng.

### Saran

Berdasarkan penelitian ini, lereng akan menjadi rawan bahaya longsor jika terjadi penambahan tekanan air pori seperti pada saat hujan, air masuk ke pori-pori tanah, sehingga berat isi tanah bertambah, atau tanah menjadi jenuh, untuk itu sebaiknya dilakukan pemeliharaan lereng untuk mengantisipasi bencana longsor dengan cara sebagai berikut :

- a. Memperkecil sudut kemiringan lereng sehingga lereng lebih landai.
- b. Melakukan penanggulangan longsor dengan cara vegetasi dan cara teknis, namun harus memperhatikan efisiensi dari segi waktu, biaya dan tenaga.
- c. Dengan menggunakan aplikasi geoteknik dalam menganalisis stabilitas lereng, ini akan mempercepat pengambilan keputusan dalam penanganan pencegahan bahaya longsor.

### DAFTAR PUSTAKA

Adi, A. D. Mase, L. Z. Pranata, T. Kuncara, S. L. Sulistyowati. D., 2014. *Stabilitas Lereng Menggunakan Cerucuk Kayu* [Seminar Nasional Geoteknik]. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1978, *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, 12<sup>th</sup> Ed. Washington D.C. Part 1, 998 pp.

Atterberg, A., 1911. *Über die Physikalische Bodenuntersuchung und über die*

*plastizität der Tone*, Int. Mitt. Boden, Vol 1.

Pratama, A.W., 2014. *Aplikasi Software Plaxis Untuk Analisis Penyebab Kelongsoran Di Perumahan Royal Sigura-Gura Malang* [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.

Bhisop, A.W., 1955. *The Use of Slip in The Stability of Analysis Slopes*, Geotechnique, Vol 5. London.

Bowles, Joseph E., diterjemahkan Hainim Johan K., 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Casagrande, A. 1948. *Classification and Identification of Soils*, Transaction ASCE, Vol. 113. Pp. 901.

Das, BM. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Mochtar NE, Mochtar IS, penerjemah. Jakarta: Erlangga. Terjemahan dari : *Principles of Geotechnical Engineering*.

Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah 1*. UGM press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2012. *Mekanika Tanah 2*. UGM press. Yogyakarta.

Hardyanto. Rospida, L., 2014. *Analisis Komoditas Unggulan Sektor Pertanian Di Kabupaten Seluma Provinsi Bengkulu*. Undergraduated thesis. Bengkulu: Universitas Bengkulu.

KSari, P.T. Lastiasih, Y., 2015. *Studi Analisa Stabilitas Timbunan Dengan Metode Limit Equilibrium Dan Finite Elemen Berdasarkan Kondisi Tanah Di Indonesia* [Jurnal Intake]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Purnamasari, D.A., 2014. *Desain Terasering Pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta* [Skripsi]. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

SNI 1964-2008. Cara Uji Berat Jenis, BSN, Jakarta.

SNI 1966-2008. Cara Uji Batas-Batas Konsistensi, BSN, Jakarta.

SNI 02-2367-1994. Cara Uji Berat Isi, BSN, Jakarta.

SNI 2813-2008. Cara Uji Kuat Geser Langsung, BSN, Jakarta.

SNI 3432-2008. Cara Uji Analisa Saringan,  
BSN, Jakarta.  
Terzaghi K, Peck RB. 1987. *Mekanika Tanah  
dalam Praktek Rekayasa edisi kedua  
Jilid 1*. Witjaksono B, Krisna RB,  
penerjemah. Jakarta: Erlangga.  
Terjemahan dari : *Soil Mechani*