

## ANALISIS STABILITAS LERENG MODIFIKASI- STABILISASI TANAH DENGAN PENAMBAHAN KAPUR

(Studi Kasus Area Kantor Pemda Seluma)

Mawardi <sup>1)</sup>, Ari Kurniadi <sup>1)</sup>, Makmun R. Razali <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu Kandang

Limun, Bengkulu, 38371, Telp. (0736)344087, laman : [www.unib.ac.id](http://www.unib.ac.id)

Corresponding Author : [mawardi@unib.ac.id](mailto:mawardi@unib.ac.id)

### ABSTRAK

Areal Kabupaten Seluma sering terjadi peristiwa longsor dan salah satunya berada di kawasan Kantor Pemda Seluma. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode *finite element*, sehingga diketahui faktor keamanan (FK) dan jenis tanah. Penelitian dimulai dengan melakukan uji sifat fisis dan mekanik tanah, kemudian dilakukan analisis stabilitas lereng dengan metode *finite element* untuk mengetahui FK. Hasil pengujian sifat fisis tanah menunjukkan bahwa tanah pada lereng dikawasan Kantor Pemda Seluma adalah tanah lempung. Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode *finite element* dengan mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil yang paling aman pada tanah stabilisasi Kapur lereng 1 Kontur A,  $FK = 1,817$  dengan kemiringan sudut lereng  $34^\circ$ . Lereng yang diteliti di kawasan Kantor Pemda Seluma semuanya rawan longsor atau tidak aman karena  $FK < 1,5$ . Berdasarkan hasil penelitian dari lereng yang paling aman disimpulkan bahwa nilai Faktor Keamanan (FK) tanah stabilisasi Kapur adalah 1,817 lebih besar dari nilai Faktor Keamanan (FK) Tanah pemadatan adalah 1,619 dan nilai Faktor Keamanan (FK) tanah pemadatan adalah 1,619 lebih besar dari nilai Faktor Keamanan (FK) tanah asli adalah 1,483

**Kata Kunci :** Metode *Finite Element*, Faktor Aman, lereng modifikasi, Stabilitas Lereng

### ABSTRACT

*Seluma regency area often occurs landslide disaster and one of them is located in Local Government Authority Seluma area. This study aims to analyze the stability of the slope by using finite element method, so it is known that the safety factor (SF) and the soil type. The study was started by testing physical and mechanical properties of the soil, then slope stability analysis was done by finite element method program to find out FK. The result of soil physical properties test shows that the land on the slope of Local Government Authority Seluma area is clay soil. Calculation of slope stability analysis using finite element method by considering the effect of pore water to get the safest result on slope cement stabilization soil 1 Contour A,  $SF = 1,817$  with a slope angle of  $34^\circ$ . The slopes studied in the Local Government Authority in Seluma Regency are all prone to landslides or unsafe because  $SF$  is  $< 1,5$ . Based on the results of the research from the safest slope, it was concluded that the value of the Safety Factor (SF) of soil stabilization of limestone was 1,817 bigger than the value of the safety Factor (SF) of soil compaction was 1,619 and the value of the safety Factor (SF) of soil compaction was 1,399 bigger than the value of the safety Factor (SF) of the original soil was 1,483.*

**Key Words :** *Finite Element Method, Safety Factor, Modifications slope, Slope Stability*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang rentan mengalami bencana hidrometeorologi, yaitu bencana yang disebabkan karena perubahan iklim dan cuaca. Topografi bumi yang tidak datar juga menjadi salah satu penyebab terjadinya berbagai fenomena alam. Permukaan tanah mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu lereng (*slope*). Lereng merupakan suatu kondisi topografi yang banyak dijumpai pada berbagai pekerjaan konstruksi sipil. Lereng dapat terjadi secara alami maupun sengaja dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu. Stabilitas tanah pada lereng dapat terganggu akibat pengaruh alam, iklim dan aktivitas manusia. Bencana alam yang sering terjadi pada lereng alami maupun buatan adalah longsor.

Kelongsoran lereng kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Itu terjadi akibat peningkatan tekanan air pori pada lereng. Hal ini berakibat pada terjadinya penurunan kuat geser tanah ( $c'$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi'$ ) yang selanjutnya menyebabkan kelongSORAN. Kerusakan yang ditimbulkan akibat longsor ini bukan hanya kerusakan secara langsung seperti rusaknya fasilitas umum, hilangnya lahan-lahan pertanian, korban jiwa, akan tetapi kerusakan secara tidak langsung melumpuhkan kegiatan ekonomi dan pembangunan daerah yang terkena bencana (Wesley, 2017).

Pemilihan lokasi kawasan Kantor Pemda Seluma, Talang Saling Kabupaten Seluma sebagai studi kasus pada penelitian ini dilatar belakangi oleh banyaknya lereng curam yang menjadikan kawasan tersebut rawan terhadap longsor. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu di lakukan beberapa upaya untuk meminimalisir dampak bencana longsor. Peristiwa tanah longsor ini wajib dikaji oleh kalangan akademis maupun badan pemerintah yang berwenang dengan tujuan untuk memberikan solusi bagi daerah yang rawan longsor agar dapat terhindar dari bencana longsor dengan melakukan stabilitas lereng dan perbaikan tanah pada lereng.

Peneliti ini mencoba menganalisis stabilitas lereng untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan peningkatan parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam dan pematatan tanah. Ada beberapa cara stabilisasi tanah yang dapat dilakukan, di antaranya adalah dengan menambahkan kapur. Kapur adalah bahan yang sering digunakan untuk bahan bangunan. Kapur mengandung zat yang mampu menetralkan sifat kembang susut serta meningkatkan kekuatan dan daya tahan tanah terutama pada tanah lempung atau lanau (Silaban dan Roesyanto, 2013).

Untuk mengetahui faktor keamanan lereng di lokasi penelitian dilakukan analisis stabilitas lereng yang dapat

memodelkan sesuai kondisi asli lapangan agar terjadi kondisi pendekatan dalam hasil analisis dan memudahkan dalam memodelkan penanganannya. Penelitian kali ini peneliti menggunakan metode *finite element* untuk menganalisis stabilitas lereng agar lebih cepat dan tepat.

## Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat kita lihat dari latar belakang diatas adalah :

1. Berapa nilai faktor keamanan pada lereng buatan di kawasan Kantor Pemda Seluma?
2. Berapa nilai kohesi ( $c'$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi'$ ) pada tanah di area Kantor Pemda Seluma?
3. Apakah stabilisasi dengan pencampuran kapur pada tanah mampu meningkatkan nilai kohesi ( $c'$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi'$ ) pada lereng buatan di kawasan Kantor Pemda Seluma?

## Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Menganalisis jenis tanah pada lereng dikawasan Kantor Pemda Seluma.
2. Mendapatkan nilai kohesi ( $c'$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi'$ ) berdasarkan uji kuat geser langsung (*direct shear*).
3. Menganalisis pengaruh penambahan kapur pada lereng Kantor pemda Seluma terhadap peningkatan nilai kohesi ( $c'$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi'$ )
4. Menganalisis kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan menggunakan metode *finite element*

## TINJAUAN PUSTAKA

### Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2002). Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran), mineral-mineral padat yang tidak terkapurtasi (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 ruangruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

### Kapur

Kapur merupakan salah satu material yang cukup efektif untuk proses stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan kapur sangat lazim digunakan dalam proyek-proyek konstruksi dengan berbagai jenis macam tanah, mulai dari tanah lempung biasa sampai tanah ekspansif. Kapur adalah kalsium oksida (CaO) yang dibuat dari batuan karbonat

yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi. Kapur tersebut umumnya berasal dari batu kapur (*limestone*) penambahan kapur pada tanah dapat merubah tekstur tanah (Hardiyatmo, 2010).

Kapur tohor (CaO) merupakan bahan yang sangat efektif untuk stabilisasi, bahan ini cocok digunakan untuk tanah yang sangat basah, karena menjadi bahan pengering yang baik. Kapur tohor ini diperoleh dari pembakaran batukapur (*limestone*) pada suhu kurang 1000°C. Batu kapur mengandung kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Jika dibakar dengan suhu tersebut, maka karbon dioksidanya keluar dan tinggal kapurnya saja (CaO).

### Stabilisasi Tanah

Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat tanah, atau dapat pula, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu (Hardiyatmo, 2010).

Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan- tambah buatan pabrik, sehingga sifat- sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Pencampuran tanah untuk merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti: kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari paling yang mudah, seperti pemadatan samapai teknik yang lebih mahal, seperti: mencampur tanah dengan Kapur, kapur, abu terbang, injeksi Kapur (*grouting*) dan pemanasan dan lain-lain (Rachim, 2012).

### Metode Finite Element

Metoda *Finite Element* (FEM) adalah salah satu cara/ metode analisis stabilitas lereng untuk memperoleh nilai faktor keamanan (SF). Pada metode ini, analisa *slope stability* dengan mempertimbangkan hubungan tegangan-regangan dalam tanah dan deformasi tanah. Adapun Konsep perhitungan dengan metode ini adalah menggunakan analisis numerik untuk memperoleh hubungan tegangan-regangan maupun deformasi yang lebih akurat. Konsep dasar perumusan ini adalah mereduksi nilai tegangan geser (c) dan sudut geser dalam tanah untuk memperoleh nilai Angka keamanan *safety factor* (SF). Kedua parameter tersebut akan berkurang hingga massa tanah dalam tubuh talud/ timbunan mengalami kelongsoran. (Lesmana, 2014)

#### a. Tegangan

Pada analisis *Finite element method*, Persamaan tegangan yang ada merupakan sebuah tensor yang dapat dinyatakan oleh sebuah matriks tegangan dalam koordinat kartesius :

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

#### b. Regangan

Pada analisis *Finite element method* Regangan merupakan sebuah tensor yang dapat dinyatakan oleh matriks regangan dalam koordinat kartesius :

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

### Stabilisasi Lereng

Analisa Kestabilan Lereng Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran (Bowles,1991). Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng secara umum dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan yaitu naiknya berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau penggalian dan bekerjanya beban guncangan.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan, meliputi penyerapan air, kenaikan tekanan air pori, beban guncangan atau beban berulang, pengaruh pembekuan dan pencairan, hilangnya Kapurtasi material, proses pelapukan dan regangan berlebihan pada lempung sensitif.

Stabilitas lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan menahan tanah yang mengalami keruntuhan. Dalam prakteknya, analisa stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*Limit Plastic Equilibrium*). Adapun analisa stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor potensial (Subri, 2013).

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

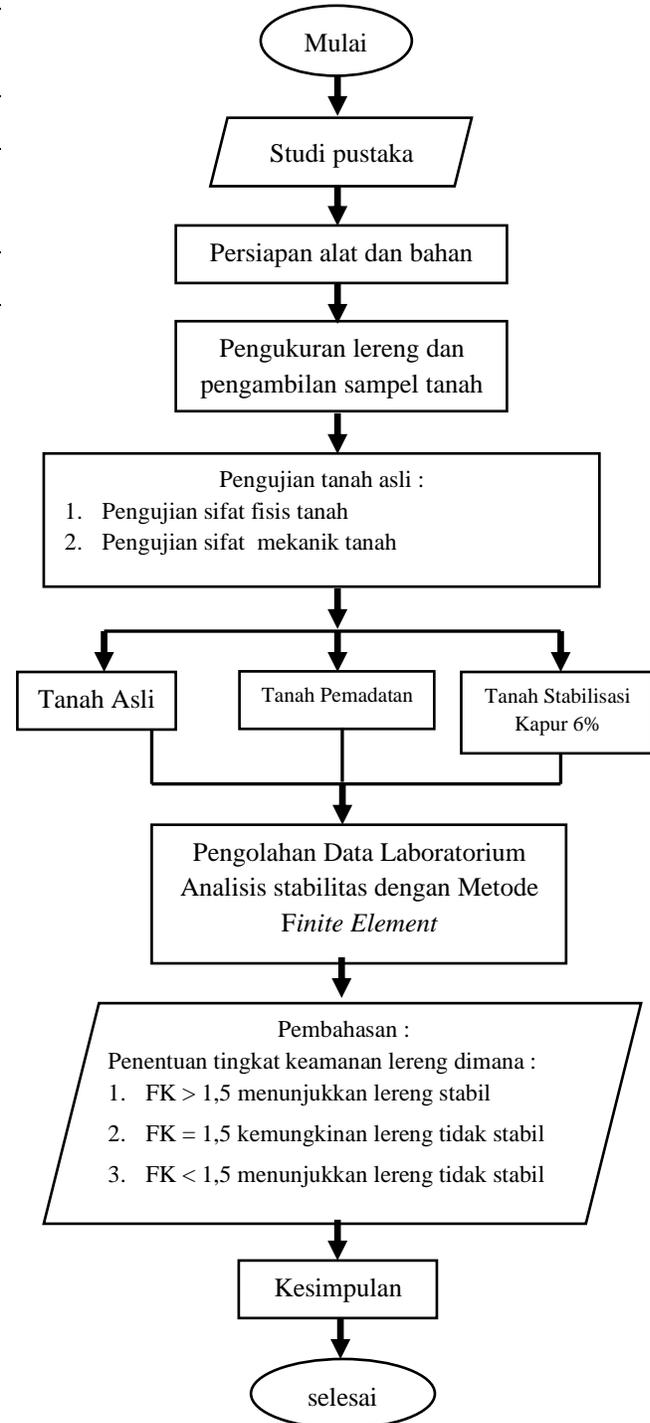
Sumber : Hardyatmo, 2002

### Jenis-Jenis Pengujian Tanah

Menurut Haszlon 2007, Pengujian dan penyelidikan tanah berfungsi untuk memperoleh data-data dan informasi parameter sifat fisik maupun sifat mekanik dari sampel tanah yang di uji, selanjutnya data-data dan informasi parameter-parameter dan data kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai bahan analisis dan pertimbangan dalam perencanaan dan desain tipe penanganan longsor agar tepat. Pada penelitian ini, berikut merupakan pengujian-pengujian yang dibutuhkan untuk menganalisis stabilitas lereng.

1. Analisa saringan (SNI 3432-2008)
2. Berat Jenis (SNI 1964-2008)
3. Berat Isi (SNI 02-3637-1994)
4. Batas-batas konsistensi tanah  
Batas cair (SNI 1967-2008)  
Batas plastis (SNI 1966-2008)
5. Kuat Geser Langsung (SNI 2813-2008)
6. Pemadatan Ringan (SNI 1742-2008)

### Flow Chart Penelitian



### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilaksanakan dengan mengambil sampel tanah langsung dari lokasi, kemudian dilakukan pengukuran dan pengambilan titik koordinat menggunakan alat *GPS*, Lereng 1 pada koordinat S 04.042263° E 102.334050°, lereng 2 pada koordinat S 04.043281° E 102.333201° dan lereng 3 pada koordinat S 04.044603° E 102.332076°.

Penelitian yang dilakukan meliputi uji fisis tanah dengan dilanjutkan uji mekanik tanah. Data yang diperoleh dari penelitian kemudian dijadikan bahan perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode *finite element* untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) dari 3 lereng yang diteliti.

**Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah**

Sampel tanah yang di ambil dilakukan uji fisis tanah untuk mengetahui karakteristik tanah dari 3 lereng dengan tingkat kecuraman yang berbeda. Pengujian sifat fisis tanah yang dilakukan yaitu uji analisis saringan, uji berat jenis tanah, uji-uji batas konsistensi dan uji berat isi tanah.

**Hasil pengujian berat jenis**

Hasil perhitungan berat jenis tanah asli, tanah pemadatan, dan tanah stabilisasi kapur dari 3 sampel kemudian dirata-ratakan untuk mengetahui berat jenis dari lereng 1. Pengujian dan perhitungan berat jenis pada 3 lereng dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran I. Perhitungan dilakukan pada 3 lereng dan didapatkan nilai berat jenis tanah asli lereng 1 sebesar 2,6281, lereng 2 sebesar 2,6297 dan lereng 3 sebesar 2,6381. Perhitungan berat jenis tanah pemadatan lereng 1 sebesar 2,6133, lereng 2 sebesar 2,6194 dan lereng 3 sebesar 2,6295. Perhitungan berat jenis tanah stabilisasi kapur lereng 1 sebesar 2,6251, lereng 2 sebesar 2,6355 dan lereng 3 sebesar 2,6314. Dilhat dari nilai berat jenis tanah asli, tanah pemadatan, dan tanah stabilisasi kapur dari 3 lereng tersebut diketahui jenis tanah termasuk kedalam jenis tanah lempung organik karena berat jenis dari ketiga lereng berada pada nilai 2,58 – 2,68.

**Hasil pengujian berat isi**

Penelitian berat isi dilakukan menggunakan tanah asli, tanah pemadatan, dan tanah stabilisasi kapur, Perhitungan dilakukan pada 3 lereng dan didapatkan nilai :

Tabel 2. Rekapitulasi hasil uji berat isi Lereng 1

Sampel	$\gamma_b$ ( gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ ( gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ ( gr/cm <sup>3</sup> )
Tanah Asli	1,390	1,159	1,718
Tanah Pemadatan	1,979	1,310	1,809
Tanah Stabilisasi Kapur	1,841	1,304	1,807

Nilai dari berat isi basah dan berat isi kering ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan Metode Fellenius. Sedangkan satuan yang digunakan adalah kN/m<sup>3</sup>, maka nilai dari hasil pengujian berat isi diatas di konversikan ke dalam kN/m<sup>3</sup> dengan cara mengalikan dengan 9,81 sehingga nilainya menjadi :

Tabel 3. Hasil konversi nilai pengujian berat isi

Sampel	$\gamma_b$ ( kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ ( kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ ( kN/m <sup>3</sup> )
Tanah Asli	$1,39 \times 9,81 = 13,63$	$1,16 \times 9,81 = 11,37$	$1,72 \times 9,81 = 16,87$
Tanah Pemadatan	$1,98 \times 9,81 = 19,42$	$1,31 \times 9,81 = 12,85$	$1,81 \times 9,81 = 17,76$
Tanah Stabilisasi Kapur	$1,84 \times 9,81 = 18,06$	$1,30 \times 9,81 = 12,79$	$1,81 \times 9,81 = 17,72$

**Hasil pengujian analisa saringan**

Hasil pengujian dan perhitungan analisa saringan pada 3 lereng dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan pada 3 lereng mendapatkan hasil presentase tanah yang lolos saringan 100 hampir setengah dari jumlah sampel yang dilakukan pengujian. Lereng 1 sebesar 50,65%, lereng 2 sebesar 46,76%, dan lereng 3 sebesar 44,75%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa diameter butir tanah pada 3 lereng sangat kecil dan termasuk tanah lempung.

**Hasil pengujian batas-batas konsistensi**

Penelitian batas-batas konsistensi dilakukan pada sampel tanah asli dan penelitian batas-batas konsistensi pada tanah yang distabilisasi dengan kapur. Berdasarkan hasil penelitian batas-batas konsistensi yaitu pengujian batas plastis (*plastic limit*) dan batas cair (*liquid limit*) yang dilakukan pada 3 lereng didapatkan, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi batas-batas konsistensi tanah asli

Sampel	Indeks Plastisitas	Rata-rata	Batas Cair	Rata-rata
Lereng 1				
A	18,78	18,89	54,07	53,41
B	18,17		53,98	
C	19,72		52,17	
Lereng 2				
A	18,26	19,54	53,71	53,52
B	19,51		53,40	
C	20,86		53,44	
Lereng 3				
A	21,31	18,57	53,60	52,72
B	17,29		52,07	
C	17,10		52,51	

Sumber : Olahan Sendiri, 2018

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 berada pada zona OH yang berarti menurut siatem klasifikasi tanah metode USCS jenis tanah pada semua lereng yang dilakukan pengujian adalah Lempung Organik.

Tabel 4. Rekapitulasi batas-batas konsistensi tanah

Stabilisasi Kapur				
Sampel	Indeks Plastisitas	Rata-rata	Batas Cair	Rata-rata
Lereng 1				
A	11,00	10,37	44,31	42,19
B	11,91		41,82	
C	8,20		40,45	
Lereng 2				
A	7,58	9,18	35,46	37,62
B	10,72		38,57	
C	9,23		38,82	
Lereng 3				
A	8,91	9,98	39,47	39,16
B	10,49		39,67	
C	10,55		38,33	

Sumber : Olahan Sendiri, 2018

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 berada pada zona ML yang berarti jenis tanah pada semua lereng yang dilakukan pengujian adalah tanah berlempung.

#### Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah

Sampel tanah yang diambil dilakukan uji mekanik tanah untuk mengetahui karakteristik tanah dari 3 lereng dengan tingkat kecuraman yang berbeda. Pengujian sifat mekanik tanah yang dilakukan yaitu uji *direct shear* dan uji pemadatan ringan.

#### Hasil Pengujian *Direct Shear*

Pengujian sifat mekanik tanah dilakukan sebanyak 3 kali pada tiap 1 lereng. Pengujian dilakukan dengan memberikan 3 beban yang berbeda, beban pertama sebesar 3167 gr, beban kedua sebesar 6334 gr, dan beban ketiga sebesar 9501 gr. Hasil dari perhitungan nilai  $c'$  dan  $\phi'$  diambil hasil rata-rata dari 3 sampel dalam 1 lereng yang dilakukan pengujian. rekapitulasi nilai  $c'$  dan  $\phi'$  dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.

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

Sampel	Kohesi	$c'$ rata-rata	Sudut geser	$\phi'$ rata-rata
	( $c'$ )			
	kN/m <sup>2</sup>	(kN/m <sup>2</sup> )	(°)	(°)
LERENG 1 (A)	8,078	6,524	26,621	27,473
LERENG 1 (B)	6,102		27,712	
LERENG 1 (C)	5,394		28,088	
LERENG 2 (A)	6,140	6,411	27,687	27,458
LERENG 2 (B)	6,223		27,576	
LERENG 2 (C)	6,870		27,112	
LERENG 3 (A)	5,170	6,636	28,565	27,388
LERENG 3 (B)	7,410		26,776	
LERENG 3 (C)	7,330		26,823	

Berdasarkan hasil rata-rata nilai uji mekanik tanah pada lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 bisa disimpulkan

bahwa jenis tanah ketiga lereng tersebut merupakan tanah lempung kelanauan. Hasil tersebut dikarenakan nilai  $\phi'$  ke tiga lereng lebih berada diantara 25°-30° yang masuk kedalam kategori lempung kelanauan.

Hasil dari pengujian sifat fisis tanah melalui uji berat jenis tanah, uji berat isi tanah, uji analisis saringan dan uji batas-batas konsistensi tanah ditambah dengan uji mekanik tanah melalui pengujian *direct shear* menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 memiliki jenis tanah clay (lempung). Tanah lempung memiliki potensi untuk terjadi longsor jika memiliki tingkat kecuraman lereng yang tinggi dan kondisi tanah dalam keadaan jenuh. Longsor yang terjadi pada tanah lempung adalah longsor busur, dimana bidang longsor terbentuk seperti busur.

Tabel 6 Rekapitulasi nilai  $c'$  dan  $\phi'$  tanah pemadatan

Sampel	Kohesi	$c'$ rata-rata	Sudut geser	$\phi'$ rata-rata
	( $c'$ )			
	kN/m <sup>2</sup>	(kN/m <sup>2</sup> )	(°)	(°)
LERENG 1 (A)	9,230	9,335	24,483	24,512
LERENG 1 (B)	8,901		24,912	
LERENG 1 (C)	9,876		24,142	
LERENG 2 (A)	9,440	9,873	24,341	24,117
LERENG 2 (B)	10,272		23,889	
LERENG 2 (C)	9,908		24,121	
LERENG 3 (A)	9,501	9,904	24,210	24,045
LERENG 3 (B)	10,240		23,912	
LERENG 3 (C)	9,971		24,014	

Berdasarkan hasil rata-rata nilai uji mekanik tanah pada lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 bisa disimpulkan bahwa jenis tanah ketiga lereng tersebut merupakan tanah lempung kelanauan. Hasil tersebut berdasarkan Tabel 6 yang menunjukkan jika nilai  $\phi'$  ke tiga lereng berada diantara 20°-25° yang masuk kedalam kategori lempung.

Hasil dari pengujian sifat fisis tanah melalui uji berat jenis tanah, uji berat isi tanah, uji analisis saringan dan uji batas-batas konsistensi tanah ditambah dengan uji mekanik tanah melalui pengujian *direct shear* menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 memiliki jenis tanah clay (lempung). Tanah lempung memiliki potensi untuk terjadi longsor jika memiliki tingkat kecuraman lereng yang tinggi dan kondisi tanah dalam keadaan jenuh. Longsor yang terjadi pada tanah lempung adalah longsor busur, dimana bidang longsor terbentuk seperti busur.

Tabel 7 Rekapitulasi niali c' dan  $\phi'$  tanah stabilisasi kapur

Sampel	Kohesi (c')	c' rata-rata	Sudut geser	$\phi'$ rata-rata
	kN/m <sup>2</sup>		( $\phi'$ )	
LERENG 1 (A)	13,970		22,112	
LERENG 1 (B)	13,468	13,259	22,371	22,458
LERENG 1 (C)	12,340		22,891	
LERENG 2 (A)	12,401		22,779	
LERENG 2 (B)	11,760	12,067	23,320	23,062
LERENG 2 (C)	12,040		23,087	
LERENG 3 (A)	11,989		23,102	
LERENG 3 (B)	11,848	11,953	23,187	23,127
LERENG 3 (C)	12,021		23,094	

Berdasarkan hasil rata-rata nilai uji mekanik tanah pada lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 bisa disimpulkan bahwa jenis tanah ketiga lereng tersebut merupakan tanah lempung kelanauan. Hasil tersebut berdasarkan Tabel 7 yang menunjukkan jika nilai  $\phi'$  ke tiga lereng berada diantara 20°-25° yang masuk kedalam kategori lempung.

**Hasil Pengujian Pemadatan Ringan**

Penelitian pemadatan ringan dilakukan menggunakan tanah asli dipadatkan dan tanah stabilisasi kapur. Tanah asli dipadatkan menggunakan tanah sebanyak 2500 gr per sampel dan dibuat sebanyak 5 sampel untuk penambahan air 150 ml, 200 ml, 250 ml, 300 ml, dan 350 ml. Tanah stabilisasi kapur menggunakan tanah sebanyak 2500 gr dan kapur sebanyak 150 gr (kadar kapur 6%) per sampel. Tanah stabilisasi kapur juga di buat sebanyak 5 sampel untuk penambahan air 150 ml, 200 ml, 250 ml, 300 ml, dan 350 ml. Hasil pemadatan ringan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Rekapitulasi niali  $W_{optimum}$  dan  $\gamma_{doptimum}$

Lereng	Tanah asli dipadatkan		Tanah Stabilisasi Kapur	
	$\gamma_{doptimum}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$W_{optimum}$ (%)	$\gamma_{doptimum}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$W_{optimum}$ (%)
Lereng 1A	1,28	33,6	1,36	30,1
Lereng 1B	1,36	32,7	1,34	29,3
Lereng 1C	1,33	32,9	1,35	29,5
Lereng 2A	1,31	33,2	1,33	30,1
Lereng 2B	1,30	34,3	1,30	29,8
Lereng 2C	1,35	34,2	1,33	30,6
Lereng 3A	1,31	34,2	1,30	30,8
Lereng 3B	1,33	32,1	1,31	30,1
Lereng 3C	1,30	31,2	1,30	31,0

Pengujian pemadatan ringan yang dilakukan pada tanah asli dipadatkan dan tanah stabilisasi kapur menggunakan tambahan air sebanyak 150 ml, 200 ml, 250 ml, 300 ml, dan 350 ml menghasilkan  $\gamma_{doptimum}$  dan

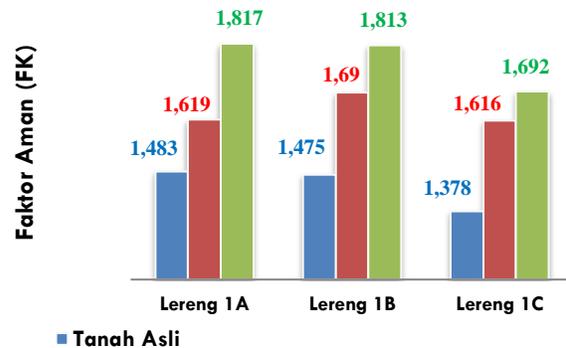
$W_{optimum}$ .  $W_{optimum}$  digunakan untuk melakukan pemadatan lagi untuk mengambil sampel *direct shear* dan berat isi pada tanah asli dipadatkan dan tanah stabilisasi kapur.

**Perhitungan Faktor Aman**

Tabel 9. Rekapitulasi nilai FK

Lereng	c' (Kpa)			$\phi'$ (°)			FK		
	TA	TP	TSK	TA	TP	TSK	TA	TP	TSK
1 (A)	8,08	9,23	13,97	26,62	24,48	22,11	1,48	1,62	1,82
1 (B)	6,10	8,90	13,46	27,71	24,91	22,37	1,47	1,69	1,81
1 (C)	5,39	9,87	12,34	28,08	24,14	22,89	1,37	1,62	1,69
2 (A)	6,14	9,44	12,40	27,68	24,34	22,78	1,44	1,53	1,57
2 (B)	6,22	10,27	11,76	27,57	23,88	23,32	1,42	1,49	1,57
2 (C)	6,87	9,90	12,04	27,11	24,12	23,08	1,35	1,51	1,54
3 (A)	5,17	9,50	11,99	28,56	24,21	23,10	1,39	1,55	1,70
3 (B)	7,41	10,2	11,85	26,77	23,91	23,18	1,40	1,56	1,58
3 (C)	7,33	9,97	12,02	26,82	24,01	23,09	1,50	1,54	1,61

**Perbandingan Nilai FK Lereng pada Tanah Asli, Tanah Asli dipadatkan, dan Tanah Stabilisasi Kapur dengan Pengaruh Air Pori.**



Gambar 4 Grafik Perbandingan FK pada Lereng 1 Tanah Asli, Tanah Asli dipadatkan, dan Tanah Stabilisasi Kapur

Berdasarkan grafik perbandingan nilai FK pada lereng 1 Tanah Asli, Tanah Asli dipadatkan, dan Tanah Stabilisasi Kapur didapatkan bahwa perlakuan stabilisasi kapur pada tanah dapat menaikkan nilai faktor keamanan pada tanah. Faktor keamanan tertinggi terjadi pada Tanah Stabilisasi Kapur dibuktikan pada lereng 1 Gambar 4.24 . nilai FK pada lereng 1A Tanah Stabilisasi Kapur sebesar 1,817 lebih besar 10,89% dari tanah asli dipadatkan lereng 1 A dengan nilai FK=1,619. Nilai FK pada Tanah Stabilisasi Kapur juga lebih besar 18,38% di bandingkan tanah asli yang memiliki nilai FK sebesar 1,483. Hal tersebut juga berlaku untuk lereng 1B dan lereng 1C. Nilai

FK Tanah Stabilisasi Kapur Lereng 1 B=1,813 lebih besar 6,78% dari tanah asli di padatkan (FK=1,69) dan lebih besar 18,6% dari tanah asli (FK=1,475). Nilai FK Tanah Stabilisasi Kapur Lereng 1 C=1,692 lebih besar 4,49% dari tanah asli di padatkan (FK=1,616) dan lebih besar 18,5% dari tanah asli (FK=1,378)

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan meliputi uji sifat fisis tanah dan uji sifat mekanik tanah serta perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode *finite element* dapat diambil beberapa kesimpulan.

1. Jenis tanah yang berada pada kawasan Pemda Seluma adalah tanah lempung. Jenis tanah lempung dibuktikan dengan pengujian sifat fisis tanah melalui berat jenis tanah yang menunjukkan bahwa tanah pada lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 memiliki nilai berat jenis antara 2,58-2,68 yang menunjukkan jenis tanah adalah lempung. Pengujian nilai batas cair dan batas plastisitas juga menunjukkan bahwa jenis tanah pada 3 lereng termasuk kedalam kelompok OH yang jenis tanah Lempung Organik.
2. Pengujian sifat mekanik tanah melalui Direct Shear Test pada tanah asli mendapatkan hasil, pada lereng 1 didapat nilai  $\phi' = 27,514^\circ$  dan  $c' = 6,524$  Kpa, pada lereng 2 didapat nilai  $\phi' = 27,48^\circ$  dan  $c' = 6,411$  Kpa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai  $\phi' = 27,388^\circ$  dan  $c' = 6,636$  Kpa. Pengujian sifat mekanik tanah melalui Direct Shear Test pada tanah asli dipadatkan mendapatkan hasil, pada lereng 1 didapat nilai  $\phi' = 24,512^\circ$  dan  $c' = 9,335$  Kpa, pada lereng 2 didapat nilai  $\phi' = 24,117^\circ$  dan  $c' = 9,873$  Kpa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai  $\phi' = 24,045^\circ$  dan  $c' = 9,904$  Kpa. Pengujian sifat mekanik tanah melalui Direct Shear Test pada tanah stabilisasi kapur mendapatkan hasil, pada lereng 1 didapat nilai  $\phi' = 22,458^\circ$  dan  $c' = 13,259$  Kpa, pada lereng 2 didapat nilai  $\phi' = 23,062^\circ$  dan  $c' = 12,067$  Kpa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai  $\phi' = 23,127^\circ$  dan  $c' = 11,953$  Kpa.
3. Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode *finite element* dengan mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil pada lereng 1 Kontur A tanah asli, FK = 1,483 < 1,5 (lereng tidak aman), Kontur B, FK = 1,475 < 1,5 (lereng tidak aman) dan Kontur C, FK = 1,378 < 1,5 (lereng tidak aman). Lereng 2 Kontur A, FK = 1,44 < 1,5 (lereng tidak aman), Kontur B, FK = 1,423 < 1,5 (lereng tidak aman) dan Kontur C, FK = 1,353 < 1,5 (lereng tidak aman). Lereng 3 Kontur A, FK = 1,393 < 1,5 (lereng tidak

aman), Kontur B, FK = 1,397 < 1,5 (lereng tidak aman) dan Kontur C, FK = 1,499 < 1,5 (lereng tidak aman). Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode *finite element* mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil pada lereng 1 tanah asli dipadatkan Kontur A, FK = 1,619 > 1,5 (lereng aman), Kontur B, FK = 1,690 > 1,5 (lereng aman) dan Kontur C, FK = 1,616 > 1,5 (lereng aman). Lereng 2 Kontur A, FK = 1,527 > 1,5 (lereng aman), Kontur B, FK = 1,490 < 1,5 (lereng tidak aman) dan Kontur C, FK = 1,512 > 1,5 (lereng aman). Lereng 3 Kontur A, FK = 1,555 > 1,5 (lereng aman), Kontur B, FK = 1,568 > 1,5 (lereng aman) dan Kontur C, FK = 1,542 > 1,5 (lereng aman). Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode *finite element* mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil pada lereng 1 tanah stabilisasi kapur Kontur A, FK = 1,817 > 1,5 (lereng aman), Kontur B, FK = 1,813 > 1,5 (lereng aman) dan Kontur C, FK = 1,692 > 1,5 (lereng aman). Lereng 2 Kontur A, FK = 1,596 > 1,5 (lereng aman), Kontur B, FK = 1,596 > 1,5 (lereng aman) dan Kontur C, FK = 1,539 > 1,5 (lereng aman). Lereng 3 Kontur A, FK = 1,703 > 1,5 (lereng aman), Kontur B, FK = 1,584 > 1,5 (lereng aman) dan Kontur C, FK = 1,614 > 1,5 (lereng aman). Jadi, FK tanah stabilisasi kapur > FK tanah asli dipadatkan > FK tanah asli.

### Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian lereng akan menjadi rawan bahaya longsor jika terjadi penambahan air pori seperti pada saat musim hujan, untuk itu sebaiknya dilakukan pemeliharaan lereng untuk mengantisipasi bencana longsor tersebut. Penanganan lereng yang dimaksud dapat meliputi :

1. Memperkecil kemiringan (sudut) lereng sehingga membuat lereng lebih landai
2. Melakukan pemadatan pada lereng tersebut agar lebih aman.
3. Melakukan stabilisasi kapur pada lereng tersebut, jika lereng yang dipadatkan belum juga aman.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E., Hainim Johan K., 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. sMochtar NE, Mochtar IS, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga. Terjemahan dari : *Principles of Geotechnical Engineering*.

- Das, B.M., 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Mochtar NE, Mochtar IS, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga. Terjemahan dari : *Principles of Geotechnical Engineering*.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah 1*. UGM press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah 2*. UGM press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. UGM press, Yogyakarta.
- Haszlton P. and Murphy B., 2007, *Interpreting Soil Test Result*, Csiro PUBLISHING UTS, Melbourne.
- Lesmana, R.I., 2016. *Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V.8.2*. Jurnal Rekayasa Volume 20 No. 2 Agustus 2016.
- Rachim, Armansyah. 2012. *Pengaruh stabilisasi kapur pada permukaan timbunan terhadap konstruksi lereng dengan metode trial & error menggunakan GEO SLOPE/W [skripsi]*. Makasar (ID) : Universitas Hasanudin.
- Silaban, F.A. dan Roesyanto, 2013. *Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung*. Jurnal Tekno Vol.15 No. 67, April 2017.
- SNI 02-2367-1994. Cara Uji Berat Isi, BSN, Jakarta.
- SNI 1964-2008. Cara Uji Berat Jenis, BSN, Jakarta.
- SNI 1966-2008. Cara Uji Batas-Batas Konsistensi, BSN, Jakarta.
- SNI 2813-2008. Cara Uji Kuat Geser Langsung, BSN, Jakarta.
- SNI 3432-2008. Cara Uji Analisa Saringan, BSN, Jakarta.
- SNI 1742-2008. Cara Uji Pematatan Ringan, BSN, Jakarta.
- Subri, S., 2013. *Studi perkuatan lereng dengan software Geoslope pada tanah lempung [skripsi]*. Makasar (ID) : Universitas Hasanudin.
- Wesley, L. D., 2017. *Mekanika Tanah*. Andi offset. Yogyakarta.