

TINJAUAN BAHAYA LONGSOR LERENG DENGAN METODE FELLENIUS

Mawardi¹⁾, Rianda Anggara¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Jl WR Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, 38371

Corresponding author : mawardi@unib.ac.id,

ABSTRAK

Daerah Kabupaten Kepahiang sering terjadi bencana longsor dan salah satunya longsor di kawasan PLTA Musi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan Metode Fellenius, sehingga diketahui faktor aman (FK) dari lereng tersebut dan pengujian jenis tanah. Metode penelitian ini adalah pengujian penelitian lab. dan pengujian lapangan. Penelitian dimulai dengan melakukan uji sifat fisis dan mekanik tanah, kemudian dilakukan analisis stabilitas lereng dengan program Geostudio Slope/W untuk mengetahui FK. Hasil pengujian sifat fisis tanah menunjukkan bahwa tanah pada lereng dikawasan PLTA Musi Kepahiang adalah tanah lempung. Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio Slope/W dengan mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil yang paling aman pada tanah stabilisasi semen lereng 3 Kontur C, $FK = 1,470$ dengan kemiringan sudut lereng 26° . Lereng yang diteliti di kawasan PLTA Musi Kabupaten Kepahiang 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 semen adalah 1,470 lebih besar dari nilai Faktor Keamanan (FK) Tanah pemadatan adalah 1,399 dan nilai Faktor Keamanan (FK) tanah pemadatan adalah 1,399 lebih besar dari nilai Faktor Keamanan (FK) tanah asli adalah 1,351.

Kata Kunci : Metode Fellenius, Faktor Aman (FK), PLTA Musi, Stabilitas Lereng

ABSTRACT

Kepahiang regency area often occurs landslide disaster and one of them is located in Musi hydroelectric(PLTA) area. This study aims to analyze the stability of the slope by using the Fellenius 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 Geostudio Slope / W program to find out FK. The result of soil physical properties test shows that the land on the slope of Musi Kepahiang hydroelectric (PLTA) area is clay soil. Calculation of slope stability analysis using Geostudio Slope / W by considering the effect of pore water to get the safest result on slope cement stabilization soil 3 Contour C, $SF = 1,470$ with a slope angle of 26° . The slopes studied in the Musi Hydroelectric Power Plant in Kepahiang Regency are all prone to landslides or unsafe because $SF < 1,5$. 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 cement was 1,470 bigger than the value of the safety Factor (SF) of soil compaction was 1,399 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 1,351.

Key Words : Fellenius Method, Safety Factor (SF), Musi hydroelectric, Slope Stability

PENDAHULUAN

Topografi bumi yang tidak datar menyebabkan fenomena-fenomena alam yang perlu diperhatikan oleh manusia. Bentuk muka bumi mempunyai perbedaan elevasi dari satu tempat ke tempat lain sehingga membentuk lereng. Lereng adalah permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak terlindungi. Salah satu fenomena alam yang terjadi akibat relief bumi tersebut yaitu longsor.

Longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada lereng-lereng alami maupun buatan. Kelongsoran lereng biasanya terjadi pada saat musim hujan, dikarenakan terjadinya penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam.

Kabupaten Kepahiang adalah salah satu kabupaten yang terdapat di Provinsi Bengkulu. Kabupaten ini sering terjadi bencana longsor dan salah satunya berada di kawasan PLTA Musi. 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 merancang bangunan perkuatan lereng. Adi (2018), menyebutkan pada penelitiannya abahwa beberapa lereng di daerah tersebut tergolong tidak aman dalam kondisi jenuh air dengan angka keamanan $FK=0,57$ dimana lereng stabil bernilai $FK>1,5$.

Peneliti mencoba menganalisis stabilitas lereng dengan tanah asli dan tanah stabilisasi semen menggunakan metode yang berbeda yaitu Metode Fellenius. Metode Fellenius merupakan salah satu cara perhitungan analisis stabilitas lereng yang mudah dan cepat. Analisis menghasilkan angka keamanan yang didasarkan pada parameter-parameter yang telah ditentukan, untuk mendapatkan suatu nilai keamanan minimum dari suatu analisis stabilitas lereng memerlukan suatu proses coba-coba secara manual akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Penelitian kali ini peneliti menggunakan program komputer *Geostudio Slope/W 2012* 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 di kawasan PLTA Musi Kepahiang
2. Berapa nilai kohesi (c') dan sudut geser dalam (ϕ') pada tanah di kawasan PLTA Musi Kepahiang
3. Apa yang mempengaruhi kestabilan lereng sehingga menyebabkan bencana longsor di kawasan PLTA Musi Kepahiang

Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan nilai kohesi (c') dan sudut geser dalam (ϕ') berdasarkan uji kuat geser langsung (*direct shear*).
2. Mengetahui jenis tanah pada lereng di kawasan PLTA Musi Kepahiang.
3. Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan dengan metode Fellenius melalui program *Geostudio Slope/W 2012*.

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). Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel yang lebih kecil disebabkan pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, cuaca / suhu. Partikelnya berbentuk bulat, bergerigi. Pembentukan tanah secara kimia terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (mengandung asam / alkali) (Hardiyatmo, 2002).

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu partikel padat tanah (solid skeleton) yang membatasi pori-pori

yang mengandung air maupun udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat penyusunan kembali partikel-partikel padat pada posisinya yang baru, terutama dengan cara menggelinding dan menggelincir yang menyebabkan terjadinya perubahan gaya-gaya yang bekerja diantara partikel-partikel tanah. Pada tanah jenuh, pengurangan volume hanya terjadi bila sebagian airnya dapat melepaskan diri dan keluar dari pori-pori. Pada tanah kering atau tanah jenuh sebagian, pengurangan volume selalu mungkin terjadi akibat kompresi udara dalam pori-pori, dan terdapat suatu ruang kembali partikel tanah (Craig, 1989).

Stabilisasi Tanah

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 (Lesmana, 2016).

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 sampai teknik yang lebih mahal, seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*) dan pemanasan

Stabilitas Tanah dengan Semen diartikan sebagai pencampuran antara tanah yang telah dihancurkan, semen dan air, yang kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan suatu material baru disebut Tanah – Semen dimana kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan,

pondasi bangunan dan jalan, aliran sungai dan lain-lain (Lesmana, 2016).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Lesmana (2016), seiring penambahan semen pada tanah yang distabilisasi mampu meningkatkan nilai daya dukung tanah pada pemeraman 3 hari secara signifikan. Reaksi sementasi yang terjadi pada campuran tanah-semen membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga lebih kuat menahan beban yang diberikan.

Adapun pengaruh semen terhadap konsistensi tanah berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lesmana (2016), bahwa semakin tinggi kadar semen batas plastis meningkat dan batas cair menurun, sehingga Indeks Plastisitas (IP) tanah menurun. Fenomena tersebut menunjukkan terjadinya pertukaran ion-ion K^+ (potassium) dan Na^+ (sodium) yang terkandung dalam tanah lempung oleh ion-ion Ca^+ dan Mg^+ yang terkandung dalam semen. Pertukaran kation pada partikel-partikel lempung membuat ukuran partikel menjadi bertambah besar dan mengurangi indeks plastisitas tanah yang kemudian diikuti oleh penurunan potensi pengembangan tanah. Penambahan semen juga akan meningkatkan derajat keasaman (pH) tanah yang berakibat pada peningkatan kapasitas pertukaran ion-ion positif (kation).

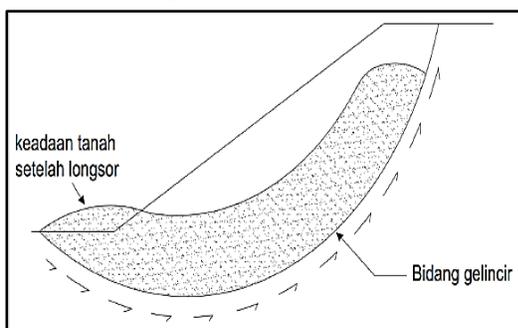
Stabilisasi semen dengan tanah menggunakan tanah lolos saringan no 4 maka kadar semen yang digunakan sebesar 6% (SNI 6427:2012).

Stabilisasi Lereng

Analisis stabilitas lereng adalah analisis pada permukaan tanah yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal sehingga berbentuk bidang miring dimana komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah kebawah. Komponen gravitasi yang sedemikian besar menyebabkan perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya menjadi terlampaui, sehingga akan terjadi kelongsoran. Umumnya analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah.

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. Dalam ilmu mekanika tanah yang disebut tanah ialah semua endapan alam yang berhubungan dengan teknik sipil (Soedarmono dan Purnomo 1993).

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal disebut sebagai lereng (slope). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Suatu gelinciran adalah keruntuhan dari massa tanah yang terletak di bawah sebuah lereng. Dalam peristiwa tersebut terjadi pergerakan massa tanah pada arah ke bawah dan pada arah ke luar (Terzaghi, 1987).



Sumber : Hardyatmo, 2002

Gambar 1. Bidang longsor

Kelongsoran lereng bisa terdiri dari berbagai proses dan faktor-faktor yang memicunya. Pemahaman terhadap jenis-jenis gerakan lereng adalah sangat penting karena menentukan metode analisa kestabilan yang paling tepat dan faktor-faktor apa yang perlu diketahui untuk melakukan perhitungan. Menurut Hardiyatmo (2002) Klasifikasi longsor berdasarkan pola pergerakan terbagi dalam tiga jenis, yaitu:

Gelincir (*slide*)

Gelincir terjadi akibat massa tanah bergerak pada suatu bidang yang disebut bidang gelincir. Jenis-jenis gelincir berupa translasi, rotasi atau kombinasi keduanya.

1. Gelincir rotasional
2. Gelinciran translational

Jatuhan (*Fall*)

Jatuhan (*fall*) merupakan runtuhnya bongkahan batuan yang terlepas dari lereng yang terjal. Bongkahan batuan tersebut dapat jatuh melayang di udara, memantul beberapa kali pada permukaan bumi, mengelinding atau kombinasi dari beberapa bentuk pergerakan tersebut. Massa batuan jatuh tersebut mempunyai energi kinetik dan Termasuk ke dalam kategori jatuhan adalah jatuh bebas (*free fall*) dan *rolling* serta jungkiran.

Jatuh bebas dan *rolling*

Gulingan (*topple*)

Aliran (*Flow*)

Aliran adalah suatu material lepas misalkan batuan lapuk atau tanah yang setelah mengalami proses penjumlahan akan mengalir seperti sifatnya fluida.

Kemampuan kekuatan geser tanah untuk menahan tekanan tanah yang mengalami keruntuhan sangat mempengaruhi stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng juga didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*).

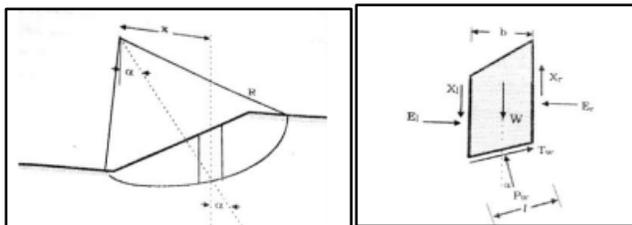
Tabel 1. Nilai dari faktor keamanan (FK) berdasarkan intensitas kelongsoran

| 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

Metode Fellenius (Ordinary Method of slice)

Metode Fellenius (Fellenius, 1936 dalam Hardiyatmo, 2002) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori.



Sumber : Das (1994)

Gambar 2. Gaya yang bekerja pada irisan

Bentuk persamaan faktor keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Fellenius (Hardiyatmo, 2002), adalah :

$$FK = \frac{\sum [c' \cdot l + \{P_W - u \cdot l\} \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$

dengan:

F = faktor aman

c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

l = lebar irisan ke- i (m)

W_i = berat irisan tanah ke- i (kN)

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i (kN/m^2)

Jenis-Jenis Pengujian Tanah

Pengujian atau penyelidikan tanah berfungsi untuk memperoleh data dan informasi parameter sifat fisik maupun sifat mekanika tanah, selanjutnya parameter-parameter tersebut digunakan sebagai bahan analisis dan pertimbangan dalam perencanaan dan desain tipe penanganan longsor. Berikut merupakan beberapa 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
5. Batas cair (SNI 1967-2008)
6. Batas plastis (SNI 1966-2008)
7. Kuat Geser Langsung (SNI 2813-2008)
8. Pemadatan Ringan (SNI 1742-2008)

Program Komputer Geostudio Slope W/2007

Analisis stabilitas lereng merupakan langkah untuk menentukan faktor keamanan minimum pada suatu lereng dengan cara coba-coba. Penyelesaian secara manual, tentu saja dapat dilakukan pada peninjauan lereng. Namun seiring dengan berkembangnya teknologi komputer, pemakaian *software* pada permasalahan geoteknik, akan sangat membantu akan kecepatan dan ketepatan perhitungan yang dapat diandalkan (Subri 2013).

Geostudio Office adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geolingkungan. Aplikasi ini melingkupi SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, dan CTRAN/W yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke produk yang lain (Rachim, 2012). Penggunaan aplikasi ini sangat membantu kalangan akademisi maupun profesional dalam menangani persoalan geoteknik dan geolingkungan, seperti tanah longsor, pembangunan bendungan, penambangan dan lain-lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan menguji sampel tanah dari 3 lereng yang di ambil dari kawasan PLTA Musi Kepahiang. Lereng 1 pada koordinat S 03.57932° E 102.4916° , lereng 2 pada koordinat S 03.56374° E 102.49768° dan lereng 3 pada koordinat S 03.56346° E 102.5018° . 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 Fellenius untuk mendapatkan nilai faktor aman (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 semen dari 3 sampel kemudian dirata-ratakan untuk mengetahui berat jenis dari lereng 1. Perhitungan dilakukan pada 3 lereng dan didapatkan nilai berat jenis tanah asli lereng 1 sebesar 2,6376, lereng 2 sebesar 2,6472 dan lereng3 sebesar 2,6402. Perhitungan berat jenis tanah pemadatan lereng 1 sebesar 2,6103, lereng 2 sebesar 2,6270 dan lereng3 sebesar 2,6106. Perhitungan berat jenis tanah stabilisasi semen lereng 1 sebesar 2,6210, lereng 2 sebesar 2,6325 dan lereng3 sebesar 2,6314. Dilhat dari nilai berat jenis tanah asli, tanah pemadatan, dan tanah stabilisasi semen 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

Hasil Perhitungan yang dilakukan pada 3 lereng dan dapat dilihat pada Tabel 2 :

Tabel 2. Rekapitulasi hasil uji berat isi Lereng 1

| Sampel | γ_b (gr/cm ³) | γ_d (gr/cm ³) | γ_{sat} (gr/cm ³) |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Tanah Asli | 1,459 | 1,220 | 1,757 |
| Tanah Pemadatan | 1,969 | 1,289 | 1,795 |
| Tanah Stabilisasi Semen | 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/m³ yang dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil konversi nilai pengujian berat isi

| Sampel | γ_b (kN/m ³) | γ_d (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Tanah Asli | $1,46 \times 9,81 = 14,32$ | $1,22 \times 9,81 = 11,97$ | $1,76 \times 9,81 = 17,24$ |
| Tanah Pemadatan | $1,97 \times 9,81 = 19,32$ | $1,29 \times 9,81 = 12,64$ | $1,80 \times 9,81 = 17,61$ |
| Tanah Stabilisasi Semen | $1,84 \times 9,81 = 18,06$ | $1,30 \times 9,81 = 12,79$ | $1,81 \times 9,81 = 17,72$ |

Hasil pengujian analisa saringan

Hasil pengujian analisis saringan pada 3 lereng mendapatkan hasil presentase tanah yang lolos saringan 100 hampir setengah dari jumlah sampel

yang dilakukan pengujian. Lereng 1 sebesar 44,95%, lereng 2 sebesar 55,78% dan lereng 3 sebesar 52,86%. Menurut klasifikasi USCS hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa diameter butir tanah pada 3 lereng sangat kecil dan termasuk tanah lempung.

Hasil pengujian batas-batas konsistensi

Nilai batas konsistensi 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 |
|-----------------|--------------------|-----------|------------|-----------|
| <i>Lereng 1</i> | | | | |
| A | 18,86 | 17,86 | 54,91 | 52,71 |
| B | 14,28 | | 50,99 | |
| C | 20,45 | | 52,23 | |
| <i>Lereng 2</i> | | | | |
| A | 19,13 | 19,27 | 53,31 | 50,32 |
| B | 16,25 | | 44,20 | |
| C | 22,43 | | 53,44 | |
| <i>Lereng 3</i> | | | | |
| A | 17,89 | 17,55 | 53,02 | 51,81 |
| B | 20,26 | | 54,14 | |
| C | 14,50 | | 48,28 | |

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

Tabel 4. Rekapitulasi batas-batas konsistensi tanah Stabilisasi Semen

| Sampel | Indeks Plastisitas | Rata-rata | Batas Cair | Rata-rata |
|-----------------|--------------------|-----------|------------|-----------|
| <i>Lereng 1</i> | | | | |
| A | 10,28 | 8,83 | 37,65 | 37,45 |
| B | 9,33 | | 39,23 | |
| C | 6,88 | | 35,48 | |
| <i>Lereng 2</i> | | | | |
| A | 8,25 | 9,26 | 36,28 | 38,32 |
| B | 10,47 | | 39,31 | |
| C | 9,06 | | 39,39 | |
| <i>Lereng 3</i> | | | | |
| A | 9,68 | 9,91 | 38,13 | 39,09 |
| B | 8,85 | | 37,83 | |
| C | 11,21 | | 41,32 | |

Tabel 4 menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 berada pada zona ML yang berarti menurut sistem klasifikasi tanah metode USCS 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 ϕ' diambil hasil rata-rata dari 3 sampel dalam 1 lereng yang dilakukan pengujian. Rekapitulasi nilai c' dan ϕ' dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.

Tabel 5 Rekapitulasi nilai c' dan ϕ' tanah asli

| Sampel | Kohesi (c') kN/m ² | c' rata-rata (kN/m ²) | Sudut geser (ϕ') (°) | ϕ' rata-rata (°) |
|--------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|
| LERENG 1 (A) | 22,296 | 24,343 | 25,144 | 25,298 |
| LERENG 1 (B) | 25,205 | | 25,144 | |
| LERENG 1 (C) | 25,528 | | 25,606 | |
| LERENG 2 (A) | 21,327 | 21,004 | 26,746 | 26,061 |
| LERENG 2 (B) | 21,650 | | 25,144 | |
| LERENG 2 (C) | 20,034 | | 26,293 | |
| LERENG 3 (A) | 27,143 | 27,574 | 27,196 | 26,136 |
| LERENG 3 (B) | 25,205 | | 25,376 | |
| LERENG 3 (C) | 27,790 | | 25,836 | |

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 5 yang menunjukkan jika nilai ϕ' ke tiga lereng 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 J.Inersia.13(2) 89-98

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 ϕ' tanah pemadatan

| Sampel | Kohesi (c') kN/m ² | c' rata-rata (kN/m ²) | Sudut geser (ϕ') (°) | ϕ' rata-rata (°) |
|--------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|
| LERENG 1 (A) | 27,143 | 25,420 | 23,973 | 24,599 |
| LERENG 1 (B) | 24,558 | | 24,912 | |
| LERENG 1 (C) | 24,558 | | 24,912 | |
| LERENG 2 (A) | 26,497 | 24,343 | 24,444 | 25,219 |
| LERENG 2 (B) | 23,266 | | 25,836 | |
| LERENG 2 (C) | 23,266 | | 25,376 | |
| LERENG 3 (A) | 32,313 | 29,513 | 23,021 | 24,434 |
| LERENG 3 (B) | 25,851 | | 25,836 | |
| LERENG 3 (C) | 30,375 | | 24,444 | |

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 ϕ' ke tiga lereng berada diantara 20°-25° yang masuk kedalam kategori lempung.

Hasil dari pengujian sifat fisis tanah 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..

Tabel 7 Rekapitulasi nilai c' dan ϕ' tanah

| Sampel | Kohesi (c') kN/m ² | c' rata-rata (kN/m ²) | Sudut geser (ϕ') (°) | ϕ' rata-rata (°) |
|--------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|
| LERENG 1 (A) | 32,313 | 30,318 | 24,444 | 24,888 |
| LERENG 1 (B) | 28,380 | | 24,805 | |
| LERENG 1 (C) | 30,261 | | 25,416 | |
| LERENG 2 (A) | 35,545 | 31,021 | 23,499 | 24,596 |
| LERENG 2 (B) | 25,205 | | 24,912 | |
| LERENG 2 (C) | 32,313 | | 25,376 | |
| LERENG 3 (A) | 29,082 | 31,175 | 26,746 | 25,367 |
| LERENG 3 (B) | 32,131 | | 24,444 | |
| LERENG 3 (C) | 32,313 | | 24,912 | |

Hasil rata-rata nilai uji mekanik tanah pada lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 menunjukkan bahwa jenis tanah ketiga lereng tersebut merupakan tanah lempung kelanauan. Hasil tersebut berdasarkan Tabel 7 yang menunjukkan jika nilai ϕ' 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 semen. 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 semen menggunakan tanah sebanyak 2500 gr dan semen sebanyak 150 gr (kadar semen 6%) per sampel. Tanah stabilisasi semen 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 nilai $\gamma_{optimum}$ dan $\gamma_{doptimum}$

| Lereng | Tanah asli dipadatkan | | Tanah Stabilisasi Semen | |
|-----------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| | $\gamma_{doptimum}(gr/c m^3)$ | $W_{optimum}(\%)$ | $\gamma_{doptimum}(gr/cm^3)$ | $W_{optimum}(\%)$ |
| Lereng 1A | 1,32 | 33,3 | 1,35 | 27,9 |
| Lereng 1B | 1,36 | 33,4 | 1,36 | 28,2 |
| Lereng 1C | 1,23 | 34,9 | 1,34 | 30,1 |
| Lereng 2A | 1,19 | 37,9 | 1,36 | 33,7 |
| Lereng 2B | 1,22 | 38,2 | 1,33 | 31,7 |
| Lereng 2C | 1,28 | 39,4 | 1,33 | 32,6 |
| Lereng 3A | 1,32 | 38,1 | 1,25 | 36,5 |
| Lereng 3B | 1,36 | 38,0 | 1,36 | 35,9 |
| Lereng 3C | 1,29 | 37,4 | 1,33 | 37,0 |

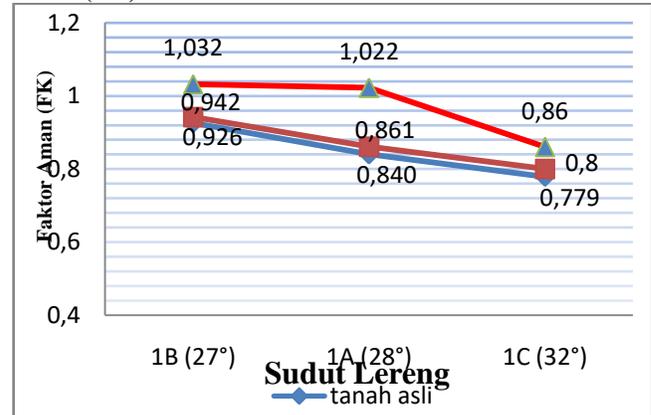
Pengujian pemadatan ringan yang dilakukan pada tanah asli dipadatkan dan tanah stabilisasi semen menggunakan tambahan air sebanyak 150 ml, 200 ml, 250 ml, 300 ml, dan 350 ml menghasilkan $\gamma_{doptimum}$ dan $W_{optimum}$. $W_{optimum}$ digunakan untuk melakukan pemadatan lagi untuk mengambil sampel *direct shear* dan berat isi pada tanah asli dipadatkan

Perhitungan Faktor Aman dengan Metode Fellenius

Tabel 9. Rekapitulasi nilai FK

| Lereng g | c' (Kpa) | | | ϕ' (°) | | | FK | | |
|----------|----------|-------|-------|-------------|-------|-------|------|------|------|
| | TA | TP | TSS | TA | TP | TSS | TA | TP | TSS |
| 1 (A) | 22,30 | 14,86 | 32,31 | 25,14 | 25,84 | 24,44 | 0,84 | 0,86 | 1,02 |
| 1 (B) | 25,21 | 17,45 | 28,38 | 25,14 | 25,38 | 24,81 | 0,93 | 0,94 | 1,03 |
| 1 (C) | 25,53 | 16,16 | 30,26 | 25,61 | 25,84 | 25,42 | 0,78 | 0,80 | 0,86 |
| 2 (A) | 21,33 | 16,80 | 35,55 | 26,75 | 27,20 | 23,50 | 0,85 | 0,97 | 1,13 |
| 2 (B) | 21,65 | 20,68 | 25,21 | 25,14 | 26,29 | 24,91 | 0,79 | 0,84 | 0,88 |
| 2 (C) | 20,03 | 14,22 | 32,31 | 26,29 | 27,20 | 25,38 | 1,02 | 1,11 | 1,39 |
| 3 (A) | 27,13 | 18,10 | 29,08 | 27,64 | 27,64 | 26,75 | 1,18 | 1,25 | 1,30 |
| 3 (B) | 25,21 | 21,97 | 32,13 | 25,38 | 26,75 | 24,44 | 0,99 | 1,02 | 1,15 |
| 3 (C) | 27,79 | 18,74 | 32,31 | 25,84 | 27,20 | 24,91 | 1,35 | 1,40 | 1,47 |

Hubungan sudut kemiringan lereng terhadap faktor aman (FK)

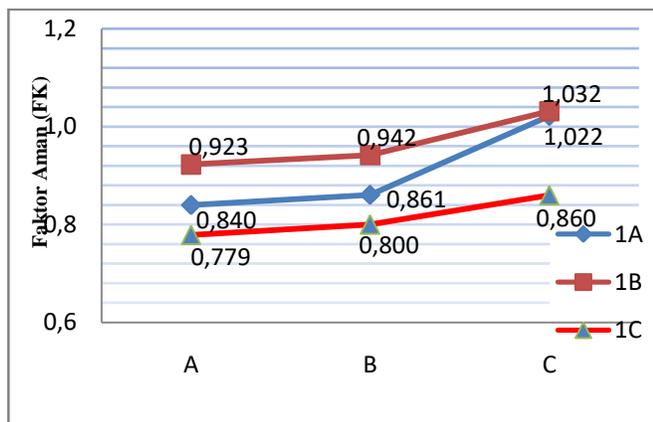


Gambar 4 Grafik hubungan FK dengan sudut kemiringan lereng dengan pengaruh air pori

Berdasarkan grafik hubungan FK terhadap sudut kemiringan lereng diketahui bahwa sudut kemiringan lereng mempengaruhi nilai dari FK. Nilai sudut lereng yang besar dapat menyebabkan faktor aman (FK) lereng semakin kecil atau kritis. Dibuktikan pada Lereng 1 Gambar 4 FK tanah asli dengan pengaruh air pori memiliki nilai sudut lereng 27° memiliki FK = 0,926 nilai sudut lereng 28° memiliki FK = 0,840 dan nilai sudut lereng 32° memiliki FK = 0,779. FK tanah asli dipadatkan dengan pengaruh air pori memiliki nilai sudut lereng 27° memiliki FK = 0,942 nilai sudut lereng 28° memiliki FK = 0,861 dan nilai

sudut lereng 32° memiliki $FK = 0,8$. FK tanah stabilisasi semen dengan pengaruh air pori memiliki nilai sudut lereng 27° memiliki $FK = 1,032$ nilai sudut lereng 28° memiliki $FK = 1,022$ dan nilai sudut lereng 32° memiliki $FK = 0,86$. Jadi, Semakin kecil nilai sudut pada lereng maka nilai FK pada lereng tersebut akan semakin besar.

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



Gambar 4 Grafik hubungan FK dengan sudut kemiringan lereng dengan pengaruh air pori

Berdasarkan grafik perbandingan FK tanah asli, tanah pemadatan, dan tanah stabilisasi semen pada gambar 5 dapat dilihat bahwa FK tanah asli lebih kecil dari FK pemadatan dan FK pemadatan lebih kecil dari FK tanah stabilisasi semen.

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 Fellenius dibantu dengan program aplikasi Geostudio Slope/W 2012 dapat diambil beberapa kesimpulan.

1. Jenis tanah yang berada pada kawasan PLTA Musi Kepahiang 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 $\phi' = 25,298^\circ$ dan $c' = 24,343$ Kpa, pada lereng 2 didapat nilai $\phi' = 26,061^\circ$ dan $c' = 21,004$ KPa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai $\phi' = 26,285^\circ$ dan $c' = 26,713$ KPa. Pengujian sifat mekanik tanah melalui *Direct Shear Test* pada tanah asli dipadatkan mendapatkan hasil, pada lereng 1 didapat nilai $\phi' = 24,756^\circ$ dan $c' = 23,912$ Kpa, pada lereng 2 didapat nilai $\phi' = 25,219^\circ$ dan $c' = 24,343$ KPa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai $\phi' = 24,434^\circ$ dan $c' = 29,513$ KPa. Pengujian sifat mekanik tanah melalui *Direct Shear Test* pada tanah stabilisasi semen mendapatkan hasil, pada lereng 1 didapat nilai $\phi' = 24,888^\circ$ dan $c' = 30,318$ Kpa, pada lereng 2 didapat nilai $\phi' = 24,596^\circ$ dan $c' = 31,021$ KPa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai $\phi' = 25,367^\circ$ dan $c' = 31,175$ KPa.
3. Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio Slope/W dengan mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil pada lereng 1 Kontur A tanah asli, $FK = 0,841 < 1,5$ (lereng tidak aman), Kontur B, $FK = 0,923 < 1,5$ (lereng tidak aman) dan Kontur C, $FK = 0,782 < 1,5$ (lereng tidak aman). Lereng 2 Kontur A, $FK = 0,851 < 1,5$ (lereng tidak aman), Kontur B, $FK = 0,788 < 1,5$ (lereng tidak aman) dan Kontur C, $FK = 1,020 < 1,5$ (lereng tidak aman). Lereng 3 Kontur A, $FK = 1,175 < 1,5$ (lereng tidak aman), Kontur B, $FK = 0,990 < 1,5$ (lereng tidak aman) dan Kontur C, $FK = 1,351 < 1,5$ (lereng tidak aman). Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio Slope/W mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil pada lereng 1 tanah asli dipadatkan Kontur A, $FK = 0,861 < 1,5$ (lereng tidak aman), Kontur B, $FK = 0,942 < 1,5$ (lereng tidak aman) dan Kontur C, $FK = 0,800 < 1,5$

(lereng tidak aman). Lereng 2 Kontur A, $FK = 0,973 < 1,5$ (lereng tidak aman), Kontur B, $FK = 0,840 < 1,5$ (lereng tidak aman) dan Kontur C, $FK = 1,105 < 1,5$ (lereng tidak aman). Lereng 3 Kontur A, $FK = 1,247 < 1,5$ (lereng tidak aman), Kontur B, $FK = 1,018 < 1,5$ (lereng tidak aman) dan Kontur C, $FK = 1,399 < 1,5$ (lereng tidak aman). Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio Slope/W mempertimbangkan pengaruh air pori mendapatkan hasil pada lereng 1, 2 dan 3, lereng tidak aman). Jadi, FK tanah stabilisasi semen $> FK$ tanah asli dipadatkan $> FK$ tanah asli.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, M.A., 2018. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Program Komputer Geostudio 2012* [skripsi]. Bengkulu (ID) : Universitas Bengkulu.
- Craig, R.F., 1989. *Mekanika Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- Das, BM. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. sMochtar NE, Mochtar IS, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga. Terjemahan dari : *Principles of Geotechnical Engineering*.
- Effendi, M., 2016. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Geostudio Slope/W 2012 Berdasarkan Metode Bishop Di Desa Cisarua, Kabupaten Bogor [SKRIPSI]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah 1*. UGM press. Yogyakarta.
- Lesmana, R.I., 2016. *Stabilitas Tanah Plastisitas Tinggi Dengan Semen*. Jurnal Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2 Oktober 2016.
- Rachim, A. 2012. *Pengaruh stabilisasi kapur pada permukaan timbunan terhadap konstruksi lereng dengan metode trial & error menggunakan GEO SLOPE/W* [SKRIPSI]. Makasar (ID) : Universitas Hasanudin.
- Subri S. 2013. Studi perkuatan lereng dengan *software* Geoslope pada tanah lempung [skripsi]. Makasar (ID) : Universitas Hasanudin.
- Soedarmono GD, Purnomo SJ. 1993. *Mekanika Tanah 1*. Malang (ID) : Kanisius.
- Terzaghi K, Peck RB. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa edisi kedua Jilid 1*. Witjaksono B, Krisna RB, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga.