

# Analisa Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius Kecamatan Amarasi Barat Kabupaten Kupang

## *Slope Stability Analysis Using the Fellenius Method West Amarasi District, Kupang Regency*

Woro Sundari<sup>1</sup>, Ika Krisnasiwi<sup>2</sup>, Frengky Seki Banunaek<sup>3</sup>

*Teknik Pertambangan Universitas Nusa Cendana<sup>1</sup>  
worosundari@gmail.com*

*Teknik Pertambangan Universitas Nusa Cendana<sup>2</sup>  
Teknik Pertambangan Universitas Nusa Cendana<sup>3</sup>*

### Abstrak

Daerah penelitian terletak di Desa Teunbaun, Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Daerah ini memiliki lereng tanah curam yang memungkinkan terjadinya longsor sehingga perlu dilakukan analisis kestabilan lereng di daerah tersebut. Pada penelitian pengambilan sampel tanah lempung dilakukan dengan menggunakan metode tidak terganggu atau tanah utuh (*undisturbed*) dengan menggunakan *hand bor*, kemudian preparasi sampel dan pengujian di Laboratorium. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah yaitu berat jenis 2,592 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air 36,93%, berat isi tanah 1,27 gr/cm<sup>3</sup> dan kohesi 0,078 kPa. Berdasarkan hasil uji kuat geser tanah diketahui bahwa pada tegangan normal 0,018 kPa dengan beban normal 0,5 kg diketahui tegangan maksimum 1,769 kPa, untuk beban normal 1 kg dengan tegangan normal 0,035 kPa diketahui menghasilkan tegangan maksimum 3,538 kPa, serta beban normal 2 kg tegangan normal 0,071 menghasilkan tegangan maksimum sebesar 7,077 kPa. Dari hasil pengujian tersebut, kemudian dengan pendekatan fellenius diperoleh nilai faktor keamanan lereng = 0,625 merupakan nilai pada kondisi lereng asli atau *unsupport*, setelah *support* dengan beronjong nilai FK mengalami peningkatan menjadi 1,544.

**Kata Kunci:** Kohesi, *undisturbed*, *support*.

### Abstract

The research area is located in Teunbaun Village, West Amarasi District, Kupang Regency, East Nusa Tenggara Province. This area has steep slopes that allow landslides to occur, so it is necessary to analyze the stability of the slopes in this area. In the research, sampling was carried out using the *undisturbed* method or *undisturbed* soil using a *hand drill*, then sample preparation and testing in the laboratory. Testing of the physical and mechanical properties of the soil is a specific gravity of 2,59 gr/cm<sup>3</sup>, air content 36,93%, soil density 1.27 gr/cm<sup>3</sup> and cohesion 0,078 kPa. Based on the results of the soil shear strength test, it is known that at a normal stress of 0,018 kPa with a normal load of 0,5 kg the maximum stress is known to be 1,769 kPa, for a normal load of 1 kg with a normal stress of 0,035 kPa it is known to produce a maximum stress of 3,538 kPa, and for a normal load of 2 kg the normal stress is 0,071. maximum stress of 7,077 kPa. From the test results, it was obtained that the slope safety factor value = 0,625, which is the value in the original slope condition or without *unsupport*. After supporting it with *beronjong*, the FK value increased to 1,544.

**Keywords:** Cohesion, *undisturbed*, *support*.

## PENDAHULUAN

Desa Teunbaun terletak di Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang, daerah ini merupakan salah satu desa yang memiliki lereng yang cukup terjal yang sewaktu-waktu dapat terjadi longsor. Pada bulan April 2021 Desa Teunbaun mengalami kelongsoran yang diakibatkan oleh meningkatnya tekanan air pori pada lereng dan menurunnya kuat geser tanah, yang terjadi di dekat pemukiman warga. Sehingga perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mencegah terjadinya longsor kembali. 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. 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). Dalam mencegah terjadinya longsor pada suatu lereng perlu dilakukan beberapa pengujian dilaboratorium untuk mengetahui nilai kohesi, sudut geser dan berat jenis masa tanah dilokasi penelitian, faktor keamanan dari suatu lereng. Ada beberapa metode yang digunakan dalam menganalisis suatu lereng berada, dalam penelitian menggunakan metode Fellenius. Metode ini menganalisis semua gaya yang bekerja pada bidang longsor sehingga dapat digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng di Desa Teunbaun.

## METODOLOGI

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan metode kuantitatif, bertujuan untuk memperoleh data yang terukur yang kemudian akan dianalisis dengan bantuan kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*), dimulai dari pengambilan sampel tanah lempung (*undisturbed*) sebanyak 9 sampel tanah lempung, kemudian dianalisis sifat fisik dan mekanik di Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

### Metode Pengumpulan Data

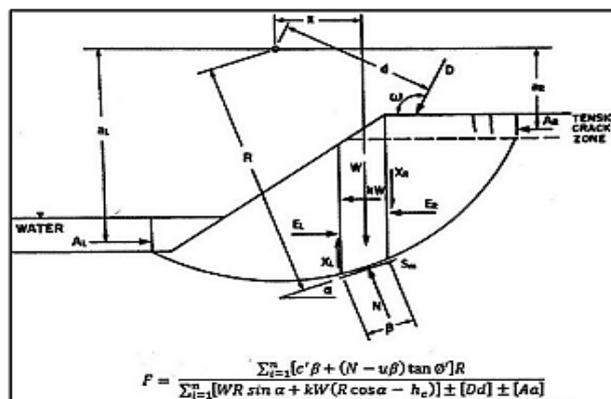
Metode pengumpulan data yang digunakan diawali dengan pengambilan sampel tanah lempung (*undisturbed*) di lokasi penelitian, kemudian sampel tanah dianalisis sifat fisik dan mekanik di Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

### Metode Analisis Data

Pengujian Laboratorium yang dilakukan adalah uji sifat fisik yaitu berat jenis dan kadar air, sedangkan pengujian sifat mekanis yaitu sudut geser dalam dan kohesi. dari data hasil uji laboratorium kemudian diolah dengan menggunakan pendekatan *limit equilibrium method* (LEM). Metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) merupakan metode yang menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan hubungan tegangan-regangan pada lereng dimana dalam analisisnya menggunakan perbandingan gaya pendorong dan gaya penahan lereng. Pada analisis kesetimbangan batas, asumsi geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui dan tentukan terlebih dahulu lalu menghitung data-data setiap irisan (Arif Irwandy, 2016).

Prinsip dasar dari metode ini adalah membagi lereng menjadi beberapa blok atau irisan dan kemudian menganalisis keseimbangan gaya dan momen pada masing-masing blok tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa lereng berada pada atau mendekati kondisi kegagalan, sehingga gaya-gaya dalam lereng tersebut berada dalam keadaan kesetimbangan. Analisis dilakukan dengan menghitung gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan, termasuk gaya berat, gaya gesek, dan gaya air pori, serta gaya eksternal lainnya yang mungkin ada.

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan Lereng, penulis menggunakan *software* Geostudio. Geostudio adalah sebuah perangkat lunak di bidang desain geoteknik yang berasal dari Kanada. Fasilitas Geostudio yang dapat digunakan untuk menganalisa kestabilan lereng dapat dilihat pada menu Slope/W. Aplikasi geostudio Slope/W memiliki banyak keuntungan, antara lain: menghemat waktu dan tenaga, sehingga perhitungannya lebih cepat dan mudah dibandingkan perhitungan manual (Azkia, 2017). Berikut gambar skema analisis kesetimbangan batas.



Sumber : Morgenstern dan Price, 1965 dan Takwin dkk 2017)

**Gambar 1.** Skema analisis kesetimbangan batas

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air yang mempunyai volume sama pada suhu tertentu. Berat jenis tanah sangat penting diketahui yang selanjutnya digunakan dalam

perhitungan mekanika tanah. Berat jenis juga merupakan berat benda persatuan volume tanpa dimensi atau masa jenis dalam keadaan padat. Selain mencari kadar air dalam tanah, parameter lainnya adalah berat jenis tanah yang mana dapat dihitung dalam pengujian berat jenis tanah yang menggunakan standar ASTM. Maka untuk menentukan nilai berat jenis dengan menggunakan picnometer, perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- G<sub>s</sub> = Berat Jenis
- W<sub>1</sub> = Berat Piknometer
- W<sub>2</sub> = Berat Piknometer + Sampel
- W<sub>3</sub> = Berat Piknometer + Sampel + Air
- W<sub>4</sub> = Berat Piknometer + Air

Kandungan air (*moisture content*) sangat besar pengaruhnya pada kestabilan lereng. Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi besar juga. Kondisi ini menyebabkan kuat geser batuan menjadi kecil sehingga kestabilannya berkurang. Kadar atau kandungan air dalam batuan yang dapat dinyatakan sebagai berat air per satuan berat batuan (%berat) atau berat air dalam satuan volume batuan (% volume). Dapat dikatakan juga bahwa kadar air dan getaran akan dapat berpengaruh pada Tingkat stabilitas lereng. Kadar air dinyatakan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diuji. Maka untuk menentukan kadar air penulis menggunakan pendekatan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- ω = Kadar Air, %
- W<sub>1</sub> = Berat Cawan + Tanah Basah, gr
- W<sub>2</sub> = Berat Cawan + Tanah Kering, gr
- W<sub>3</sub> = Berat Cawan, gr

Bobot isi (densitas) adalah properti fisik yang berubah secara signifikan antara berbagai jenis batuan karena perbedaan mineralogi dan porositas. Densitas ( $\rho$ ) didefinisikan sebagai hasil bagi dari massa (m) dan volume (v) dari sebuah material, Makin padat suatu tanah, makin tinggi densitas yang berarti makin sulit untuk meneruskan air atau menembus akar tanaman. Nilai berat isi sangat terpengaruh dari pengolahan tanah. Jika pengolahan tanah dilakukan secara benar maka nilai berat isi akan naik, dan begitu pula sebaliknya (*Rosyidah & Wirosedarmo, 2013*). Sampel merupakan tanah yang tidak terganggu sehingga tidak terjadi pengolahan tanah yang diakibatkan oleh manusia.

Nilai bobot isi dibagi menjadi 3 (tiga) macam berdasarkan kondisi 15 sampel yaitu bobot isi asli ( $\rho_n$ ), bobot isi kering ( $\rho_d$ ), bobot isi jenuh ( $\rho_s$ ), yang dapat dinyatakan dengan rumus (*Rosari et al, 2017*):

- a.  $\rho_n$  = Densitas Normal
 
$$\rho_n = \frac{(W_n)}{(W_s - W_w)} \text{ gr / cm}^3$$
- b.  $\rho_d$  = Densitas Kering
 
$$\rho_d = \frac{(W_o)}{(W_s - W_w)} \text{ gr / cm}^3$$
- c.  $\rho_s$  = Densitas Jenuh
 
$$\rho_s = \frac{(W_w)}{(W_s - W_w)} \text{ gr / cm}^3$$

Sifat Mekanik Tanah

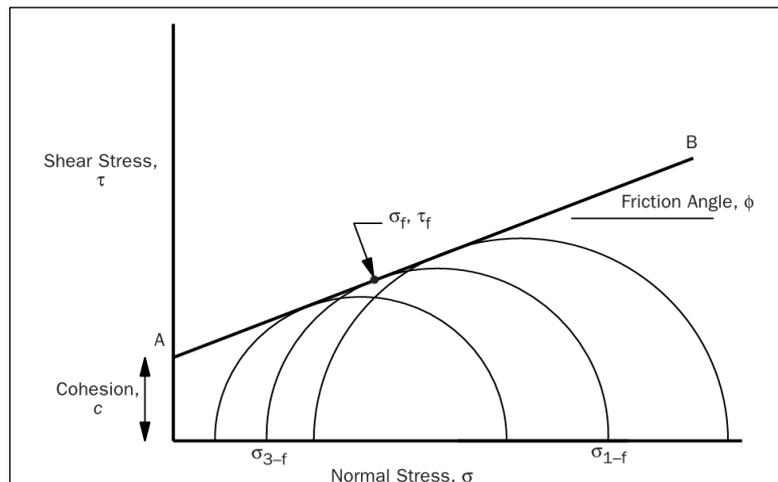
Penentuan sifat mekanik tanah dapat dilakukan dengan pengujian sampel tanah di laboratorium, yaitu dengan melakukan uji kuat geser (*direct shear test*) dengan *output* pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ )

Merupakan sudut yang terbentuk diantara tegangan normal dan tegangan geser. Dimana benda yang berada di permukaan miring akan mengatasi hambatan gesekan dan mulai meluncur. Sudut gesek dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut gesek dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

2. Kohesi (c)

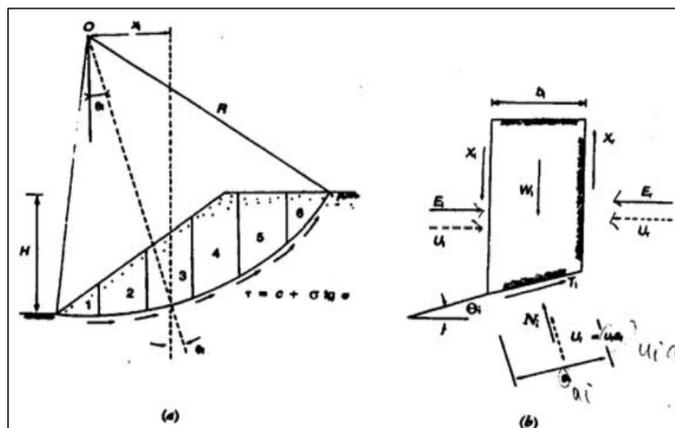
Sifat butiran mineral yang sama memungkinkan butiran tersebut untuk saling menempel meskipun ada gaya yang cenderung memisahkannya. Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Salah satu aspek yang memengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan besar maka kohesi yang akan didapatkan semakin besar (Haris, dkk,2018). Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar maka kohesi yg akan didapatkan semakin besar. Kohesi adalah bagian dari kekuatan geser, S, atau tegangan geser,  $\tau$ , yang ditunjukkan oleh istilah c dalam persamaan Mohr-Coulomb.



Sumber : Charles A. Kliche (2009)

**Gambar 2.** Grafik Mohr Coulomb

Metode Fellenius (*Ordinary Method Of Slice*) diperkenalkan oleh Wolmar Fellenius (1927,1936) yang mengemukakan metodenya dengan menggunakan asumsi bahwa setiap resultan gaya antar irisan adalah nol, maka dalam penyelesaiannya diperlukan penyelesaian ulang terhadap gaya yang bekerja pada irisan yang tegak lurus pada bidang gelincir. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal bekerja di tengah-tengah *slice*, dan dapat diasumsikan juga bahwa resultan gaya antar irisan pada setiap irisan adalah sama dengan nol atau dengan kata lain bahwa resultan gaya antar irisan diabaikan. Dalam metode ini juga mengasumsikan keruntuhan terjadi melalui rotasi suatu irisan tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik nol sebagai titik pusat rotasi. Pada konsep ini, gaya yang bekerja pada bagian kanan-kiri irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsornya. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan menggunakan metode Fellenius dapat dilihat pada gambar berikut:



Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

**Gambar 3.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

Dengan:

- $X_1, X_r$  = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan
- $E_1, E_r$  = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan
- $T_i$  = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- $N_i$  = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- $U_1, U_r$  = tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan
- $U_i$  = tekanan air pori di dasar irisan

Berdasarkan penjelasan diatas, maka pemilihan dengan pendekatan fellenius dapat di terapkan dalam menganalisis stabilitas lereng di lokasi penelitian, maka nilai faktor keamanan dapat mengikuti persamaan berikut :

$$F = \frac{C' L_a + \tan \phi \sum (w \cos \alpha - UL)}{\sum w \sin \alpha} \dots\dots\dots(3)$$

Bila analisis menggunakan tegangan total dan nilai UL adalah nol, maka untuk menemukan nilai faktor keamanan mengikuti persamaan berikut :

$$F = \frac{c_u L_a}{\sum w \sin \alpha} \dots\dots\dots(4)$$

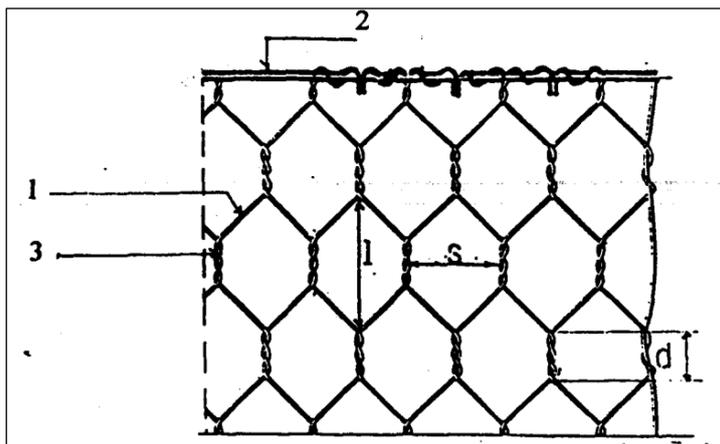
Keterangan :

- F = Faktor Keamanan
- $w \sin \alpha$  = Komponen Searah bidang gelincir
- UL = gaya air pori/batas

Untuk menentukan nilai dari sudut geser dalam, ( $\phi$ ) dan kohesi (C) peneliti menggunakan pendekatan statistika regresi linear, dimana persamaan garis lurus yang dihasilkan nantinya dapat digunakan untuk mengungkap nilai dari parameter tersebut.

**Penggunaan Bronjong**

Bronjong adalah anyaman kawat yang berbentuk kotak terbuat dari kawat baja berlapis seng yang didalamnya diisi batuan dan kerikil untuk mencegah kelongsoran pada tanah yang dipasang pada tebing-tebing, tepi-tepi sungai, dan lereng, yang proses penganyamannya menggunakan mesin. Sifat tampak dari kawat bronjong antara lain harus kokoh, bentuk anyaman heksagonal dengan lilitan ganda, lilitan harus erat, tidak terjadi kerenggangan hubungan Antara kawat sisi, Kawat anyaman minimum dililit tiga kali sehingga kawat mampu menahan beban dari segala arah. (SNI 03-0090-1999).



Sumber : SNI 03-0090-1999

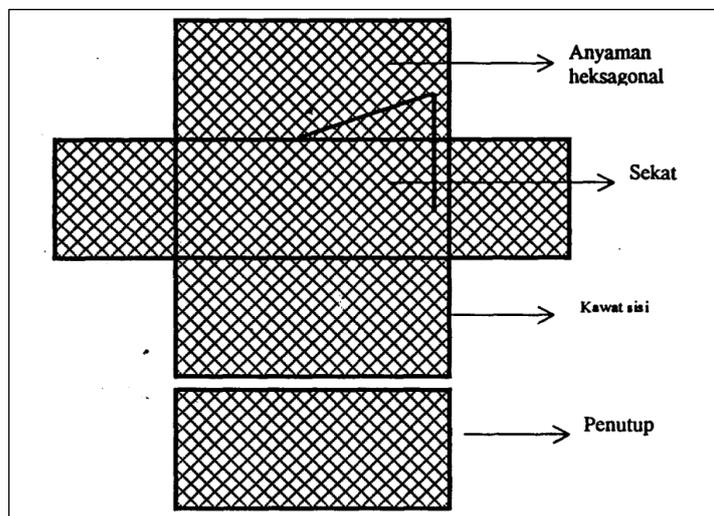
**Gambar 4.** Kawat Bronjong

Catatan:

1. Kawat Anyaman
2. Kawat sisi
3. Lilitan ganda
- S. Lebar anyaman
- d. Panjang lilitan
- L. Panjang anyaman

Bentuk dan ukuran bronjong kawat dibagi menjadi 2 bentuk, yaitu Bentuk I dan Bentuk II. Bronjong kawat bentuk I dan bentuk II apabila disetel akan berbentuk kotak persegi panjang dengan lempengan-lempengan anyaman kawat penyekat pada tiap-tiap jarak 1 m.

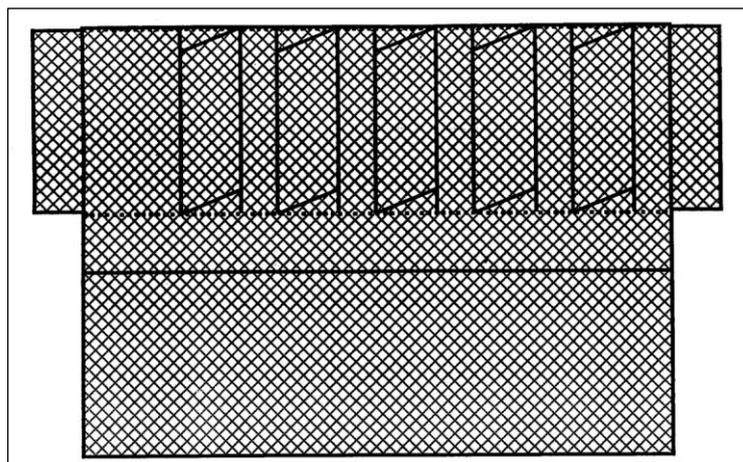
Bentuk I, ukuran anyamannya 80 mm x 100 mm atau 100 mm x 120 mm dengan kawat anyaman 2,70 mm atau 3,00 mm, kawat sisi 3,40 mm atau 4,00 mm, kawat pengikat 2 mm. Toleransi ukuran kotak (panjang, lebar, tinggi) sebesar 5%.



Sumber : SNI 03-0090-1999

**Gambar 5.** Bronjong bentuk I sebelum disetel menjadi kotak

Bronjong Kawat bentuk II, ukuran anyamannya 60 mm x 80 mm, diameter kawat anyamannya 2 mm, kawat sisi 2,70 mm, kawat pengikat 2 mm. Untuk ukuran anyaman 80 mm x 100 mm, diameter kawat anyaman 2,7 mm. kawat sisi 3,40 mm dan kawat ikat 2 mm. Toleransi ukuran kotak (panjang, lebar, tinggi) sebesar 5%.



Sumber : SNI 03-0090-1999

**Gambar 6.** Bronjong bentuk II sebelum disetel menjadi kotak

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil analisis sifat fisik sampel tanah di laboratorium dapat di jelaskan pada tabel 1. sebagai berikut:

**Tabel 1.** Hasil Uji sifat Fisik Tanah

No	Jenis Uji	Nilai Rata-rata	Satuan
1	<b>Kadar Air</b>	36,93	%
2	<b>Berat Isi Tanah</b>	1,27	gr/cm <sup>3</sup>
3	<b>Berat Jenis</b>	2,59	gr/cm <sup>3</sup>

Sumber : olahan penulis, 2024

Tabel 1. merupakan hasil uji sifat fisik tanah, dari tabel tersebut dapat diketahui kadar air pada tanah sebesar 36,93%, berat isi tanah 1,27 gr/cm<sup>3</sup> dan berat jenis tanah adalah 2,59 gr/cm<sup>3</sup>. sedangkan untuk hasil uji sifat mekanik dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Uji Kuat Geser Tanah

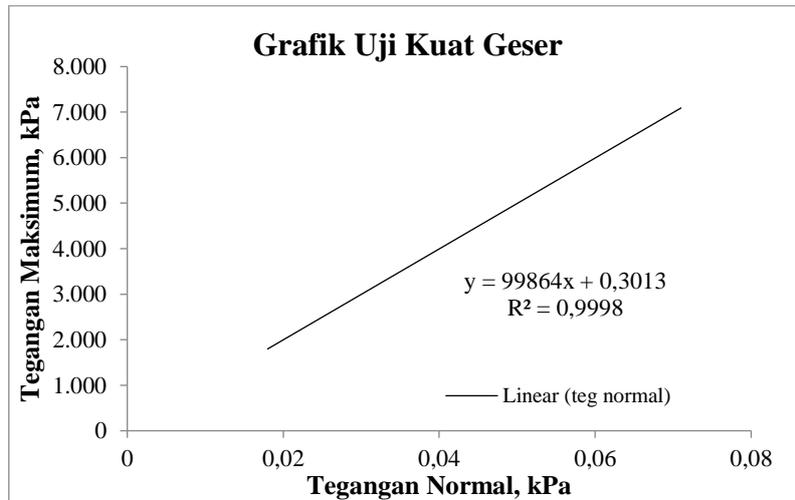
No.	Teg Normal, kPa	Beban Normal kg	Teg Maximum, kPa
1	0,018	0,5	1,769
2	0,035	1	3,538
3	0,071	2	7,077

Sumber : olahan penulis, 2024

Dari tabel 2. dapat dijelaskan bahwa pada tegangan normal 0,018 kPa dengan beban normal 0,5 kg diketahui tegangan maximum 1,769 kPa, untuk beban normal 1 kg dengan tegangan normal 0,035 kPa diketahui menghasilkan tegangan maksimum 3,538 kPa, serta beban normal 2 kg tegangan normal 0,071 menghasilkan tegangan maksimum sebesar 7,077 kPa.

Dari hasil uji kuat geser tersebut, dapat diketahui bahwa semakin besar beban normal yang bekerja pada masa tanah, maka tegangan normal dan tegangan maksimum akan semakin besar.

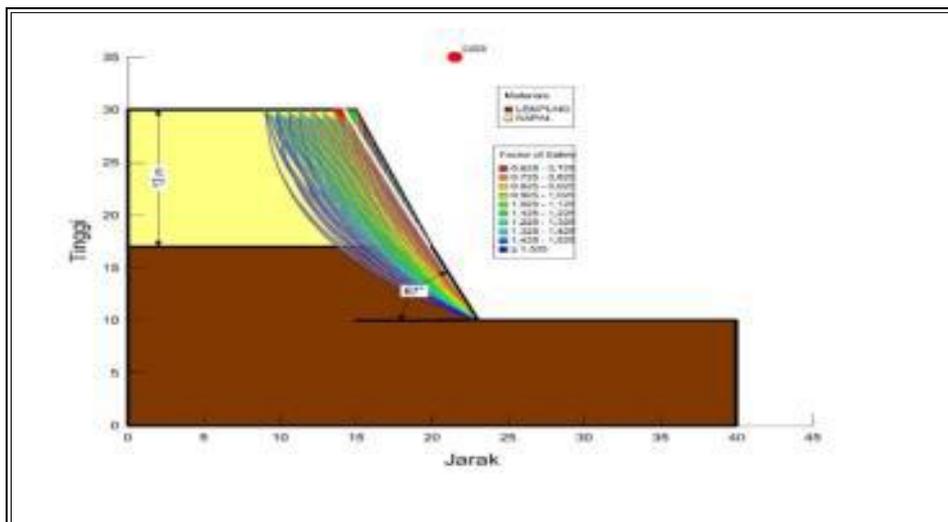
Untuk mengetahui nilai kohesi pada masa tanah maka dibuat persamaan regresi berdasarkan hasil uji kuat geser tanah pada tabel 2. dimana dapat diketahui nilai kohesi adalah 0,30 dan terdapat hubungan yang signifikan antara tegangan normal dengan tegangan maksimum dengan koefisien determinasi  $R^2=0,9998$ , yang di jelaskan pada gambar 6. grafik uji kuat geser berikut:



sumber : olahan penulis, 2024

**Gambar 6.** Grafik Uji Kuat Geser

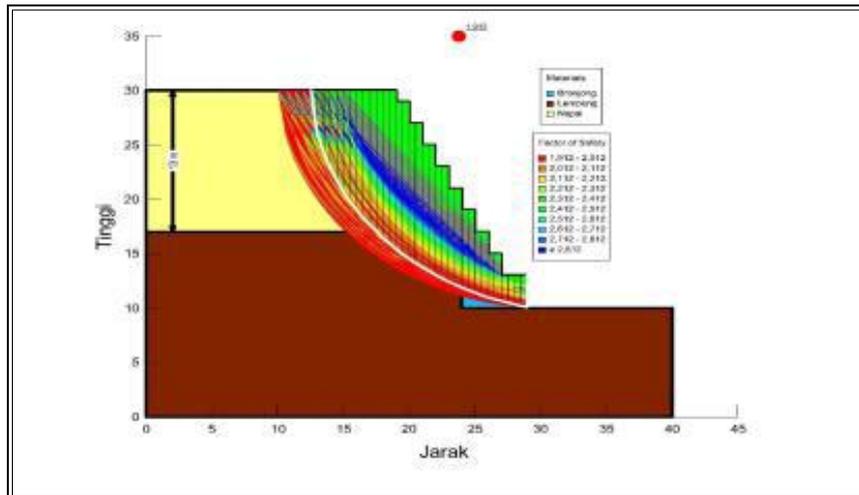
Pada grafik uji kuat geser (Gambar 6.) dapat diketahui koefisien deterministik antara tegangan maksimum dan tegangan normal, yaitu sebesar 0,9998. Berdasarkan tabulasi hasil pengujian laboratorium, dan analisis statistika maka dibuatlah permodelan lereng dengan pendekatan LEM sebagai tool untuk menggambarkan kondisi lereng dan FK lereng tersebut, yang dapat dilihat pada gambar 7. adalah kondisi lereng asli atau tanpa *support* menghasilkan nilai FK 0,62.



Sumber : olahan penulis, 2024

**Gambar 7.** Kondisi Lereng *unsupported*

Gambar 8 menunjukkan kondisi lereng yang sudah di *support* menggunakan kawat bronjong yang disusun berjenjang pada *toe* lereng. Dari gambar 8. dapat dilihat bahwa setelah diberikan *support* maka kondisi lereng tersebut memiliki peningkatan FK menjadi 1,54 yang berarti lereng tersebut berada dalam kondisi lebih stabil.



Sumber : olahan penulis, 2024

**Gambar 8.** Kondisi Lereng yang sudah di *support*

### KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap lereng di Desa Teunbaun Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang dapat dikatakan tidak stabil, hal tersebut dikarenakan kondisi masa tanah dan pengaruh air pori pada tanah, sehingga perlu adanya support atau perkuatan pada jenjang dengan bantuan bronjong. diharapkan pada penelitian selanjutnya perlu diperhitungkan tekanan air pori pada kondisi jenuh dan perkuatan dengan beton tembak (*shotcrete*).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Akhir penelitian ini penulis mengucapkan limpah terimakasih kepada Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang memfasilitasi peralatan laboratorium bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aprianti, E., Heni, P., Isfanari. (2021). Perbandingan Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Metode Fellenius dan Bishop (Studi Kasus: Pemenang STA 2+600-STA 2+800). Skripsi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Hal. 1-63
- Arief, Saifuddin., 2007. Konsep Dasar Analisis Kestabilan Lereng. Sulawesi Selatan.
- Afriani, L. (2020). Kerawanan Longsor pada Lereng Tanah Lunak dan Penanganannya. Penerbit Lakeisha, Klaten
- Arief, S., dan Arif, I. 2001. Penyelesaian Sistem Persamaan Non-Linier Dalam Metode Kesetimbangan Batas Umum dengan Metode Optimasi, dalam Problema Geoteknik: Perkembangan dan Penanggulangannya. Bandung: hal V.31-V.38. HATTI
- Armando Panjaitan, 2020. Analisis Perhitungan Stabilitas Lereng Metode Fellenius Menggunakan Program PHP. Universitas Sam Ratulangi Manado, 417-422
- ASTM International. (1969). Standard Test Method for Relative Density of Cohesionless Soils (ASTM D 2049). ASTM International, United State.
- ASTM International. (2010). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass (ASTM D 654-92). ASTM International, United state
- Badan Standardisasi Nasional. (1999). *Bronjong Kawat*. SNI 03-0090-1999. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Budi Santosa, Heri S, Suryadi HS, 1998. Mekanika Tanah Lanjuan. Gunadarma Jakarta.
- Bowles, Joseph E., Hainim Johan K., 1991. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chandra Mangeta, Gustianto, 2020, Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Fellenius dan Metode Rankine Dengan Penanggulangannya, Universitas Kristen Indonesia Toraja.

- Endaryanta, Muhammad Rosihun, 2011, Analisis Stabilitas Talud Bronjong UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Firdaus, Y., Sarie, F., & Hendri, O. (2022). Analisis stabilitas lereng menggunakan metode fellenius studi kasus: proyek pekerjaan drainase gedung ppiig di universitas palangka raya. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 5(2), 3
- Imran, F., L. Afriani, and A. Zakaria. "Analisa Kestabilan Lereng dan Metode Penanganannya Pada Tanah Lempung Berpasir." *JRSDD* 8.1 (2020): 183
- Kusuma, Selvia Maharani. "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada Pit X, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan." *Journal of Geology Sriwijaya* 3.1 (2024): 26
- Kliche Charles A. (2009). *Rock Slope Stability. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.* (SME).
- Microsoft Corp. 1991. Geo-Slope version 7 User's Guide. Geo-Slope International Ltd, Canada
- Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A.(2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius. 10
- Pangemanan, Violetta Gabriella Margaretha, Arens E. Turangan, and Oktovian BA Sompie. "Analisis kestabilan lereng dengan metode Fellenius (Studi kasus: Kawasan Citraland)." *Jurnal Sipil Statik* 2.1 (2014).
- Unaizahroya, I. M., & A'yuni, I. N. Q. (2023). Perencanaan dinding penahan tanah jenis kantilever dengan metode bishop dengan menggunakan perkuatan soil nailing di daerah sibelis pekalongan menggunakan perhitungan software geostudio (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Violetta Gabriella Margaretha Pangemanan, A.E Turangan, O.B.A Sompie, "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fillenius", Januari 2014.
- Yaspis Firdaus, 2022. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellenius Studi Kasus: Proyek Pekerjaan Drainase Gedung PPIIG. Universitas Palangka Raya. Palangka Raya, 1-9