

ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN METODE FELLENIUS (Studi Kasus: Kawasan Citraland)

Violetta Gabriella Margaretha Pangemanan
A.E Turangan, O.B.A Sompie

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado
email: vpangemanan@gmail.com

ABSTRAK

Longsor dapat terjadi pada hampir setiap kasus lereng alami atau lereng buatan secara pelan atau tiba-tiba dengan atau tanpa adanya tanda-tanda sebelumnya. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng adalah meningkatnya tegangan geser, menurunnya kuat geser pada bidang longsor atau keduanya secara simultan.

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial, yaitu dengan menghitung besarnya kekuatan geser untuk mempertahankan kestabilan lereng dan menghitung kekuatan geser yang menyebabkan kelongsoran kemudian keduanya dibandingkan. Dari perbandingan yang ada didapat nilai Faktor Keamanan yang merupakan nilai kestabilan lereng yang dinyatakan dalam angka.

Dari analisis yang dilakukan di Kawasan Citraland Manado didapat nilai Faktor Keamanan yaitu 0,193 yang menunjukkan bahwa keadaan lereng tersebut tidak stabil. Kemudian dilakukan perbaikan dengan menggunakan soil nail. Soil nail adalah salah satu cara perbaikan lereng dengan cara memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Sehingga dapat diperoleh nilai Faktor Keamanan 1,926 yang menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan stabil.

Kata kunci: kestabilan, lereng, keruntuhan, faktor keamanan, kuat geser

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Permukaan tanah tidak selalu membentuk bidang datar atau 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.

Longsoran merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada lereng- lereng alami maupun buatan. 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 (ϕ) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran.

Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Lereng yang

tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan. Ukuran kestabilan lereng diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan analisis kestabilan lereng pada tanah di perumahan Citraland Manado untuk

- Mendapatkan faktor keamanan dari lereng
- Mendapat lereng dalam keadaan aman ($FK > 1,5$)

Batasan Masalah

Untuk penelitian ini dibatasi masalah sebagai berikut :

- Tanah yang diteliti lokasi Citraland Manado
- Bidang kelongsoran diasumsikan berbentuk lingkaran
- Lereng hanya terdiri dari satu lapis
- Tidak dipengaruhi faktor gempa

Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tujuan yang ingin dicapai, antara lain:

- Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan dengan metode Fellenius
- Grafik hubungan FK & c , ϕ , γ ; FK & NS; FK & α
- Mencari solusi yang tepat untuk mengatasi bahaya kelongsoran

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini dapat diperoleh manfaat antara lain:

- Manfaat teoritis, diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya menganalisis kestabilan lereng berdasarkan data lapangan dengan menggunakan Metode Fellenius
- Manfaat praktis, sebagai tambahan informasi untuk praktisi maupun akademisi dalam mempelajari kestabilan lereng.

LANDASAN TEORI

Tinjauan Umum

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat terbentuk secara alami dan dapat juga dibuat oleh manusia.

Dalam bidang Teknik Sipil, ada tiga jenis lereng yaitu:

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk karena proses-proses alam, misalnya lereng suatu bukit.
2. Lereng yang dibuat dengan tanah asli, misalnya apabila tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk keperluan irigasi.
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, sebagai tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

Pada ketiga jenis lereng ini kemungkinan untuk terjadi longsor selalu ada, karena dalam setiap kasus tanah yang tidak rata akan menyebabkan komponen gravitasi dari berat memiliki kecenderungan untuk menggerakkan massa tanah dari elevasi lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah.

Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah.

Disamping gaya yang mendorong ke bawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja menahan/melawan sehingga kedudukan tanah tersebut tetap stabil. Gaya-gaya pendorong berupa gaya berat, gaya tiris/muatan dan gaya-gaya inilah yang menyebabkan kelongsoran. Gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan (dari kohesi), kekuatan geser tanah. Jika gaya-gaya pendorong lebih besar dari gaya-gaya penahan, maka tanah akan mulai runtuh dan akhirnya terjadi keruntuhan tanah sepanjang bidang yang menerus dan massa tanah di atas bidang yang menerus ini akan longsor. Peristiwa ini disebut sebagai keruntuhan lereng dan bidang yang menerus ini disebut bidang gelincir.

Pola Pergerakan Lereng

Bentuk bidang gelincir yang umum dan sering dijumpai adalah bentuk bidang gelincir yang mendekati bentuk busur lingkaran. Tanah yang longsor demikian disebut *rotational slide* yang bersifat berputar.

Ada juga tanah longsor yang terjadi pada bidang gelincir yang hampir lurus dan sejajar dengan muka tanah. Longsor yang demikian disebut *translational slide*, yaitu bersifat bergerak pada satu jurusan. Biasa terjadi bilamana terdapat lapisan agak keras yang sejajar dengan permukaan lereng.

Ada juga longsor yang terjadi akibat adanya aksi dari dekat. Biasa terjadi pada lereng alam atau buatan dimana lapisan tanah yang longsor pada bidang tanah yang jelek. Longsor ini disebut longsor blok atau baji.

Ada juga bentuk longsor mengalir karena adanya pergerakan lateral pada semua arah atau karena perbedaan kekentalan (viskositas) massa tanah.

Kuat Geser Tanah dan Keruntuhan Tanah

Keruntuhan lereng dapat saja terjadi pada hampir setiap kasus lereng alami atau lereng buatan secara pelan atau tiba-tiba dengan atau tanpa adanya tanda-tanda sebelumnya. Penyebab utama terjadinya keruntuhan

lereng adalah meningkatnya tegangan geser, menurunnya kuat geser pada bidang longsor atau keduanya secara simultan.

Suatu beban yang dikerjakan pada suatu massa tanah akan selalu menghasilkan tegangan-tegangan dengan intensitas yang berbeda-beda di dalam zona berbentuk bola lampu (*bulb*) di bawah beban tersebut. Hal yang pertama yang harus dilakukan adalah meninjau kekuatan tanah. Ini dikarenakan beban yang bekerja pada massa tanah memerlukan dua pertimbangan (Das, 1994):

1. Besarnya penurunan total
2. Kemungkinan keruntuhan tanah. Ini dapat berupa suatu gerakan rotasi tanah di bawah areal yang mengalami pembebanan atau kadang-kadang berupa suatu “keruntuhan pons” (*punching failure*). Yang belakangan ini biasanya merupakan gerakan yang terbatas; walaupun demikian, besarnya mungkin cukup untuk menyebabkan gangguan struktural yang cukup berarti pada struktur atas.

Pengujian Tanah untuk Menentukan Parameter Kuat Geser

Pengujian tanah yang biasa dipakai untuk mendapatkan parameter-parameter kekuatan antara lain adalah :

1. Uji tekan tak terkekang (*unconfined compression*) atau uji q_u . Kekuatan tekan yang didapat dari pengujian ini selalu diidentifikasi sebagai q_u . Pengujian ini juga disebut uji tak terkonsolidasi-tak terdrainase (*unconsolidated-undrained*) atau uji UU. Kuat geser tak terdrainase biasanya diidentifikasi sebagai s_u .
2. Uji geser langsung (*direct shear*) dan uji geser sederhana langsung (*direct simple shear, DSS*)
3. Uji tekan terkekang (*confined compression*) atau uji triaksial.

Konsep Kestabilan Lereng

Gerakan tanah merupakan suatu gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau bantuan penyusun lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau bantuan penyusun lereng tersebut. Definisi diatas menunjukkan bahwa massa yang bergerak dapat berupa massa tanah, massa batuan atau pencampuran antara massa tanah dan batuan penyusun lereng. Apabila massa yang bergerak ini didominasi oleh massa tanah

dan gerakannya melalui suatu bidang pada lereng, baik berupa bidang miring ataupun lengkung, maka proses pergerakan tersebut disebut sebagai longsor tanah. Analisis stabilitas tanah pada permukaan tanah ini disebut dengan analisis stabilitas lereng.

Analisis stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Karena itu kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser terdiri atas:

1. Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah dan ikatan butirnya.
2. Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser. (DAS, 1994)

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan musim/iklim/cuaca.

Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng menyebabkan material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir. Kecenderungan menggelincir ini ditahan oleh kekuatan geser material sendiri. Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti :

1. Jenis dan keadaan lapisan tanah / batuan pembentuk lereng
2. Bentuk geometris penampang lereng (misalnya tinggi dan kemiringan lereng)
3. Penambahan kadar air pada tanah (misalnya terdapat rembesan air atau infiltrasi hujan)
4. Berat dan distribusi beban
5. Getaran atau gempa

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja. (Bowles, 1991)

Cara Cara Menstabilkan Lereng

Penanggulangan longsor yang dilakukan bersifat pencegahan sebelum longsor terjadi pada daerah potensial dan stabilisasi, setelah longsor terjadi jika belum runtuh total. Penanggulangan yang tepat pada kedua kondisi diatas dengan memperhatikan penyebab utama longsor, kondisi pelapisan tanah dan juga aspek geologinya.

Sedang langkah yang umum dalam menangani longsor antara lain: pemetaan geologi topografi daerah yang longsor, pemboran untuk mengetahui bentuk pelapisan tanah/batuan dan bidang gelincirnya, pemasangan piezometer untuk mengetahui muka air atau tekanan air porinya, dan pemasangan *slope indicator* untuk mencari bidang geser yang terjadi.

Selain itu dilakukan pula pengambilan tanah tidak terganggu, terutama pada bidang geser untuk dipelajari besar kekuatan tahanan gesernya.

Ada beberapa cara untuk menstabilkan lereng yang berpotensi terjadi kelongsoran. Pada prinsipnya ada dua cara yang dapat digunakan untuk menstabilkan suatu lereng, yaitu:

1. Memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor.
Gaya atau momen penyebab longsor dapat diperkecil dengan cara merubah bentuk lereng, yaitu dengan cara:
 - a. Merubah lereng lebih datar atau memperkecil sudut kemiringan
 - b. Memperkecil ketinggian lereng
 - c. Merubah lereng menjadi lereng bertingkat (*multi slope*)
2. Memperbesar gaya lawan atau momen penahan longsor.
Gaya lawan atau momen penahan longsor dapat diperbesar dengan beberapa cara yaitu:
 - a. Menggunakan *counter weight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng. Cara ini mudah dilaksanakan asalkan terdapat tempat dikaki lereng untuk tanah timbunan tersebut.
 - b. Dengan mengurangi air pori di dalam lereng
 - c. Dengan cara mekanis yaitu dengan memasang tiang pancang atau tembok penahan tanah.

Prinsip Dasar Metode Irisan

Secara umum keruntuhan diasumsikan terjadi akibat adanya pergerakan blok tanah pada suatu permukaan gelincir yang berbentuk lingkaran atau tidak berbentuk lingkaran.

Pada suatu lereng yang dianalisis yang membaginya dalam n buah segmen / irisan, maka akan terdapat (5n-2) variabel yang tidak diketahui, sementara hanya terdapat 3n buah persamaan statika yaitu:

- Persamaan keseimbangan gaya normal
- Persamaan keseimbangan gaya tangensial
- Persamaan keseimbangan momen

Untuk dapat menyelesaikan masalah tersebut secara statis tertentu maka diperlukan sejumlah asumsi. Secara umum terdapat tiga asumsi yang dapat dibuat, yaitu:

1. Asumsi mengenai distribusi tegangan normal sepanjang bidang gelincir
2. Asumsi mengenai inklinasi gaya-gaya antar irisan
3. Asumsi mengenai posisi *thrust line* dari gaya-gaya antar irisan

Tabel 1. Persamaan-persamaan dan Variabel yang Tidak Diketahui dalam Metode Irisan.

| Persamaan - persamaan yang ada : | |
|----------------------------------|------|
| Keseimbangan normal | : n |
| Keseimbangan tangensial | : n |
| Keseimbangan momen | : n |
| Total | : 3n |

| Variabel yang belum diketahui : | |
|---|--------|
| Faktor keamanan F yang digunakan untuk menghubungkan gaya S dengan normal P | : 1 |
| Posisi gaya P | : n |
| Gaya normal total P pada dasar irisan | : n |
| Resultan gaya-gaya antar irisan Z | : n-1 |
| Inklinasi gaya-gaya antar irisan θ | : n-1 |
| Tinggi hf gaya-gaya antar irisan | : n-1 |
| Total | : 5n-2 |

Maka diperlukan sebanyak (2n - 2) asumsi untuk dapat diselesaikan secara statis tertentu.

Asumsi umum yang dapat dipakai adalah:

- Posisi P pada pusat irisan: n
- Inklinasi gaya-gaya antar slice (θ): n-1
- Total : 2n-1

Dengan total asumsi 2n-1 maka dapat diselesaikan secara statis tertentu karena (2n-1) > (2n-2). (Anderson dan Richard, 1987)

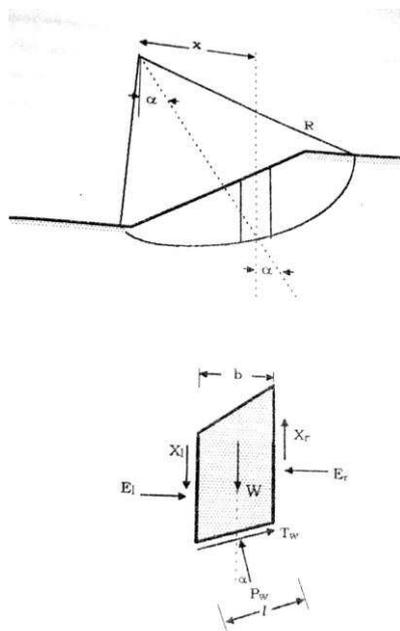
Prinsip Dasar Metode Fellenius

Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1927,1936) berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan FK dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja ditengah-tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah:

- Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan : n
- Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n - 1
- Total : 2n - 1

Dengan anggapan-anggapan ini maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan.



Gambar 1. Lereng dengan busur lingkaran bidang longsor

Pada Gambar 1. diperlihatkan suatu lereng dengan sistem irisan untuk berat sendiri massa tanah (W) serta analisis

komponen gaya-gaya yang timbul dari berat massa tanah tersebut, yang terdiri dari gaya-gaya antar irisan yang bekerja di samping kanan irisan (Er dan Xt). Pada bagian alas irisan, gaya berat (W) diuraikan menjadi gaya reaksi normal Pw yang bekerja tegak lurus alas irisan dan gaya tangensial Tw yang bekerja sejajar irisan. Besarnya lengan gaya (W) adalah $x = R \sin \alpha$, dimana R adalah jari-jari lingkaran longsor dan sudut α adalah sudut pada titik O yang dibentuk antara garis vertikal dengan jari-jari lingkaran longsor.

Dengan menggunakan prinsip dasar serta asumsi-asumsi yang telah dikemukakan di atas, maka selanjutnya dapat diuraikan analisis Faktor Keamanannya sebagai berikut:

Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb:

$$s = c' + \sigma \cdot \tan \phi' \tag{1}$$

dengan:

- s = Kuat geser tanah
- c' = Kohesi tanah efektif
- σ = Tegangan normal efektif
- ϕ' = sudut geser dalam tanah efektif

Tegangan Normal Efektif dinyatakan sebagai:

$$\sigma' = \sigma - u \tag{2}$$

dengan:

- σ = Tegangan normal total
- u = Tekanan air pori

Kemudian tegangan normal total yang bekerja pada bidang longsor dinyatakan sebagai:

$$\sigma = \frac{P_w}{l \cdot 1} \tag{3}$$

dengan:

- Pw = Gaya normal akibat berat sendiri tanah
- l = lebar alas irisan
- 1 = satu satuan lebar bidang longsor

Substitusi persamaan (2) ke dalam persamaan (1) menghasilkan :

$$s = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \tag{4}$$

dan substitusi persamaan (2) pada persamaan (4) menghasilkan :

$$s = c' + \left(\frac{P_w}{l \cdot 1} - u \right) \tan \phi' \tag{5}$$

Agar supaya lereng menjadi stabil maka gaya-gaya yang diperlukan untuk mengakibatkan longsor haruslah lebih kecil dari pada gaya-gaya yang ada sehingga faktor keamanan akan menjadi lebih besar atau sama dengan satu.

Dengan kata lain:

$$FK = \frac{\text{Tegangan geser yang ada}}{\text{Tegangan geser penyebab longsor}} \quad (6)$$

dengan:

FK > 1,5 menunjukkan lereng stabil

FK = 1,5 kemungkinan lereng tidak stabil

FK < 1,5 menunjukkan lereng tidak stabil

Atau dalam bentuk rumus dinyatakan sebagai:

$$F = \frac{s}{\tau} \quad (7)$$

Dan tegangan geser adalah:

$$\tau = \frac{s}{F} \quad (8)$$

Gaya geser yang diperlukan adalah:

$$S = \tau \cdot l \cdot 1 \quad (9)$$

dengan:

s = Tegangan geser

S = Gaya geser

Jika persamaan (8) disubstitusikan pada persamaan (9), maka diperoleh:

$$S = \frac{s \cdot l \cdot 1}{F} \quad (10)$$

Atau:

$$S = \frac{1}{F} (s \cdot l) \quad (11)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (4) ke dalam persamaan (10), diperoleh:

$$S = \left[\frac{1}{F} \left(c' + \left\{ \frac{Pw}{l} - u \right\} \tan \theta' \right) l \right] \quad (12)$$

$$S = \left[\frac{1}{F} \left(c' \cdot l + \left\{ \frac{Pw \cdot l}{l} - u \cdot l \right\} \tan \theta' \right) \right] \quad (13)$$

$$S = \left[\frac{1}{F} \left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right] \quad (14)$$

Komponen gaya tangensial atau gaya yang bekerja sejajar irisan (Tw) adalah:

$$Tw = \tau \cdot l \cdot 1 \quad (15)$$

Substitusi persamaan (7) pada persamaan (15) menghasilkan:

$$Tw = \frac{s}{F} l \cdot 1 \quad (16)$$

Persamaan (15) identik dengan persamaan (9) sehingga Tw dapat dinyatakan sebagai:

$$Tw = S \quad (17)$$

Dengan memasukkan harga s dari persamaan (14) maka persamaan (17) dapat dinyatakan kembali menjadi:

$$Tw = \left[\frac{1}{F} \left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right] \quad (18)$$

Komponen gaya normal (Pw) yang bekerja pada pusat alas irisan akibat berat sendiri tanah (W) adalah:

$$Pw = W \cdot \cos \alpha \quad (19)$$

Komponen gaya tangensial (Tw) akibat berat massa tanah adalah:

$$Tw = W \cdot \sin \alpha \quad (20)$$

Selanjutnya dengan menguji kesetimbangan momen dari seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi yaitu titik O maka diperoleh suatu bentuk persamaan:

$$\sum M = 0 \quad (21)$$

$$\sum W \cdot lw - \sum Tw \cdot R = 0 \quad (22)$$

dengan: $lw = x = R \cdot \sin \alpha$

$$Tw = \left[\frac{1}{F} \left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right] \quad (23)$$

Dengan memasukkan nilai lw dan Tw ke dalam persamaan (22) diperoleh:

$$\sum W \cdot R \sin \alpha - \sum \left[\frac{1}{F} \left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right] R = 0 \quad (24)$$

$$\sum W \cdot R \sin \alpha = \sum \left[\frac{1}{F} \left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right] R \quad (25)$$

$$\sum W \cdot \sin \alpha = \frac{1}{F} \sum \left[\left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right] \quad (26)$$

F pada ruas kanan ditukarkan dengan komponen momen l gaya penggerak longsor yaitu $\sum W \sin \alpha$ maka diperoleh suatu persamaan Faktor Keamanan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum \left[\left(c' \cdot l + \{Pw - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (27)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan besarnya nilai komponen gaya normal akibat berat tanah (W) pada persamaan (19) ke dalam persamaan (27) maka diperoleh Persamaan Faktor Keamanan akibat berat tanah (W) sebagai berikut:

$$FMw = \frac{\sum \left[\left(c' \cdot l + \{W \cos \alpha - u \cdot l\} \tan \theta' \right) \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (28)$$

Ini merupakan rumus dasar Faktor Keamanan akibat berat sendiri tanah (W) yang dirumuskan oleh Fellenius yang didapat dengan cara meninjau kesetimbangan momen seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi O.

Nilai Faktor Keamanan ini adalah sama dengan perbandingan antara seluruh komponen momen penahan longsor dengan momen penyebab longsor untuk seluruh irisan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$FM_w = \frac{\sum \text{Momen Penahan Longsor}}{\sum \text{Momen Penyebab Longsor}} \quad (29)$$

(Anderson dan Richard, 1987)

Program Komputer

Dalam analisis kestabilan lereng akan dilakukan perhitungan yang cukup panjang dan berulang-ulang, sehingga apabila dilakukan perhitungan secara manual akan membutuhkan waktu yang cukup lama; maka untuk memudahkan perhitungan tersebut digunakan alat bantu berupa komputer. Program komputer dibuat dengan menggunakan Slide 6.

Slide 6 adalah suatu program stabilitas lereng 2 dimensi untuk menganalisis stabilitas lereng yang berbentuk lingkaran atau bukan lingkaran pada lereng tanah atau lereng berbatu. Slide menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode irisan vertikal keseimbangan batas. Bidang longsor dapat dianalisa atau dicari dengan metode yang dapat digunakan untuk menentukan bidang longsor kritis untuk sebuah lereng.

PROSEDUR PENGUJIAN LABORATORIUM

Penyelidikan Tanah di Laboratorium

Penyelidikan di laboratorium terutama ditujukan untuk mendapatkan parameter rekayasa yang digunakan dalam analisis longsor.

Adapun percobaan-percobaan yang dapat dilakukan antara lain:

- a. Percobaan untuk mendapatkan sifat-sifat indeks. Percobaan yang dilakukan yaitu:
 - 1) Kadar air asli
 - 2) Berat spesifik (*Specific Gravity*)
 - 3) Batas-batas Atterberg
 - 4) Analisis pembagian butir
- b. Percobaan untuk mendapatkan sifat-sifat struktur antara lain dengan melakukan percobaan:
 1. Permeabilitas
 2. Tekanan kapiler
 3. Konsolidasi termasuk percobaan pengembangan (*Swelling*)

4. Kekuatan geser tanah meliputi: Percobaan triaksial, geser langsung, tekan bebas dan cyclic loading terutama menggunakan peralatan percobaan triaksial.

PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Dari hasil percobaan di laboratorium dapat diperoleh data karakteristik tanah.

Hasil Analisa Ukuran Butiran

Berdasarkan distribusi ukuran butiran pada lampiran, diketahui nilai $D_{10} = 0,11$; $D_{30} = 0,16$; $D_{60} = 0,35$. Jadi nilai C_u dan C_c dapat diperoleh, yaitu

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 3.182$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 0.665$$

Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi ASTM

Berdasarkan data dari analisa saringan dan indeks plastisnya dapat disimpulkan bahwa tanah percobaan adalah berupa tanah pasir berlanau dengan gradasi buruk. Ini dilihat dari % pasir yang lebih dari % kerikil dengan nilai $PI = 3.87$; $C_u = 3.182$ dan $C_c = 0.665$

Hasil Uji Geser Langsung

Nilai parameter geser tanah yang diperoleh adalah

$$\gamma = 13.175 \text{ KN/m}^3$$

$$c = 2.089 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi = 21^\circ$$

Analisa dengan Program Slide

Perhitungan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan program Slide memerlukan data-data yang diketahui lebih dahulu yaitu titik koordinat lereng dan data-data tanah lereng tersebut (c , ϕ , γ). Data-data lereng tersebut diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.

Adapun data lereng Kawasan Citraland yang ditinjau adalah sebagai berikut:

$$\text{Kohesi Tanah } (c') = 2.089 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Berat Isi Tanah } (\gamma) = 13.175 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Sudut Geser Dalam } (\phi') = 21^\circ$$

$$\text{Rasio Tegangan Pori } (RU) = 0.5$$

Hasil Perhitungan dengan Menggunakan Program Slide

Dengan menggunakan program Slide dapat diperoleh nilai FK. Dengan parameter-parameter yang telah diketahui maka didapat nilai FK sebesar 0,193. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng tersebut dalam kondisi tidak stabil.

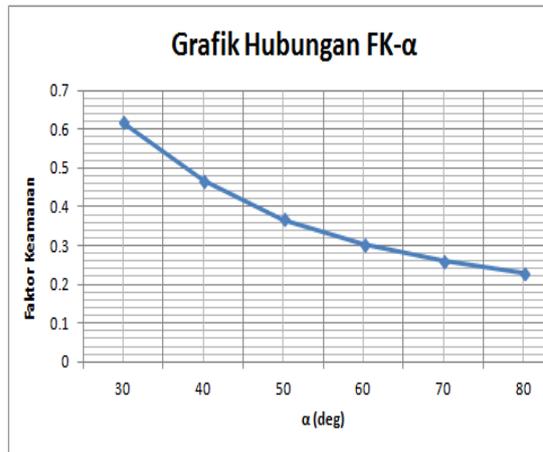
Variasi Desain Lereng

Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Sudut Kemiringan Lereng α :

Jika menggunakan data parameter yang sama tapi menggunakan kemiringan lereng yang berbeda maka akan diperoleh Faktor Keamanan sebagai berikut:

Tabel 2. Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Sudut α

| α | FK |
|----------|-------|
| 30 | 0.617 |
| 40 | 0.467 |
| 50 | 0.368 |
| 60 | 0.304 |
| 70 | 0.260 |
| 80 | 0.230 |



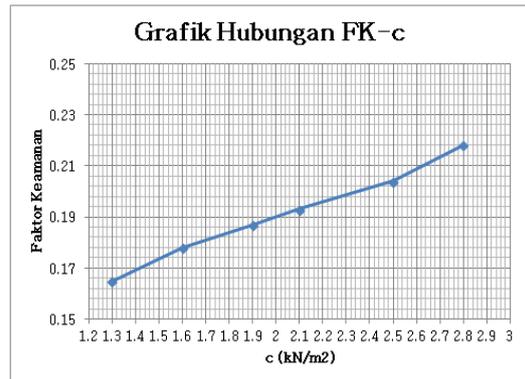
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Sudut α

Hubungan antara Faktor Keamanan dengan parameter geser (c, ϕ, γ)

Dengan menggunakan program komputer, nilai faktor keamanan (FK) untuk variasi parameter geser dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hubungan FK-c

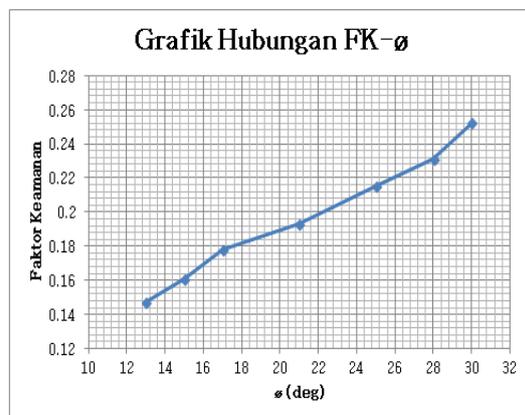
| c | FK |
|-----|-------|
| 1.3 | 0.165 |
| 1.6 | 0.178 |
| 1.9 | 0.187 |
| 2.1 | 0.193 |
| 2.5 | 0.204 |
| 2.8 | 0.218 |



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dengan c

Tabel 4. Hubungan FK- ϕ :

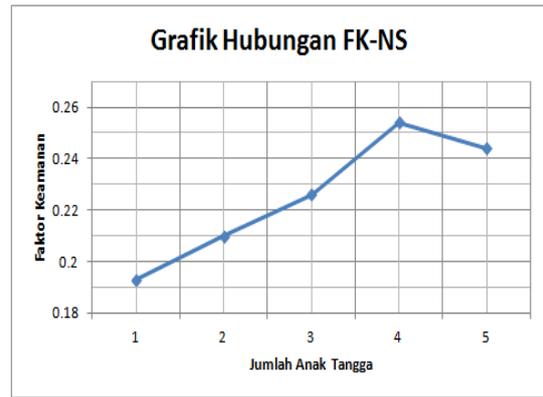
| ϕ | FK |
|--------|-------|
| 13 | 0.147 |
| 15 | 0.161 |
| 17 | 0.178 |
| 21 | 0.193 |
| 25 | 0.215 |
| 28 | 0.231 |
| 30 | 0.252 |



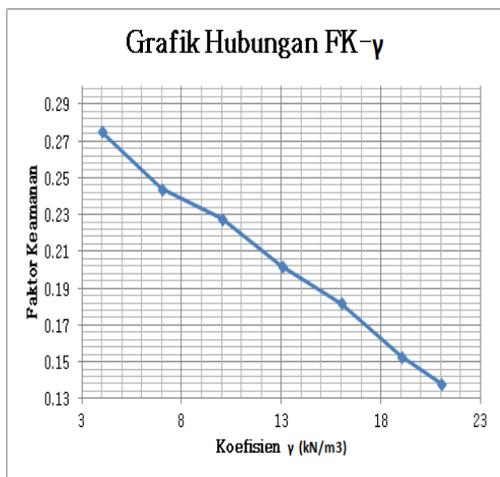
Gambar 3. Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dengan ϕ

Tabel 4. Hubungan FK-y

| y | FK |
|----|-------|
| 4 | 0.275 |
| 7 | 0.244 |
| 10 | 0.228 |
| 13 | 0.202 |
| 16 | 0.182 |
| 19 | 0.153 |
| 21 | 0.138 |



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Jumlah Anak Tangga



Hubungan antara Faktor Keamanan dengan jumlah anak tangga (Number of Slope)

Dengan menggunakan program komputer, nilai faktor keamanan (FK) untuk jumlah anak tangga (NS) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Hubungan FK dan Jumlah Anak Tangga

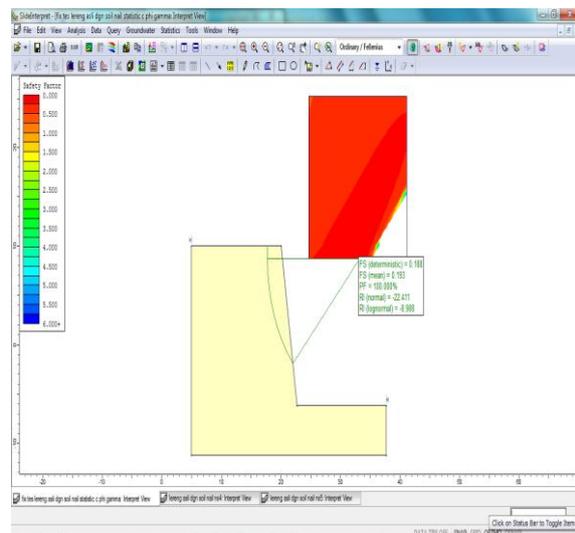
| Jumlah anak tangga | Faktor keamanan |
|--------------------|-----------------|
| 1 | 0.193 |
| 2 | 0.210 |
| 3 | 0.226 |
| 4 | 0.254 |
| 5 | 0.244 |

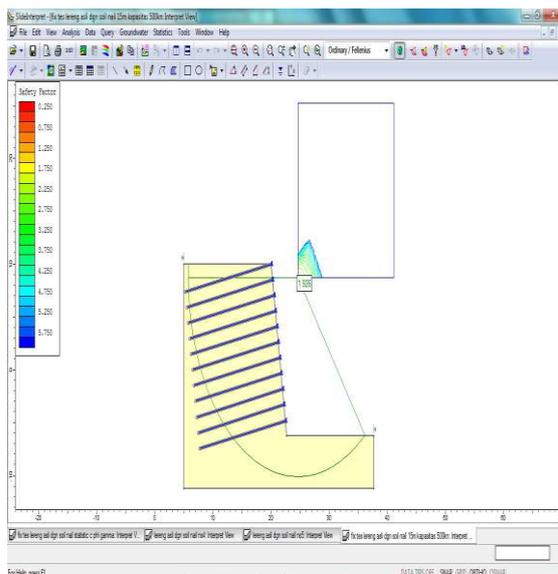
Faktor Keamanan Lereng yang Menggunakan Soil Nail

Setelah dilakukan analisis hasil faktor keamanan yang didapat tidak melebihi dari 1. Sehingga dapat dinyatakan bahwa kondisi lereng tersebut tidak aman. Maka dilakukan cara perbaikan lereng yang lain yang disebut dengan Soil Nail.

Soil Nail adalah salah satu teknik perkuatan tanah yang digunakan untuk meningkatkan kestabilan dari lereng, tembok penahan dan galian-galian. Soil nail adalah salah satu cara perbaikan lereng dengan cara memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor.

Setelah dilakukan jenis perbaikan soil nail maka didapatkan nilai Faktor Keamanan sebesar 1.926. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi lereng tersebut dalam keadaan stabil.





PENUTUP

Kesimpulan

- Dari hasil analisis perhitungan komputer menggunakan program Slide 6 menunjukkan nilai Faktor Keamanan dari lereng di Kawasan Citraland adalah 0,193. Itu berarti lereng di Kawasan Citraland tersebut dalam kondisi tidak stabil. Itu berbahaya dan dapat mengakibatkan longsor pada kemudian hari.
- Dari grafik hubungan FK vs α , didapat hubungan bahwa semakin besar nilai sudut kemiringan lereng maka semakin kecil nilai faktor keamanan. Itu artinya semakin curam lereng maka kondisinya semakin tidak aman

- Dari grafik hubungan FK vs c & ϕ didapat hubungan bahwa semakin besar nilai c & ϕ maka semakin besar nilai faktor keamanan yang didapat. Sedangkan untuk FK vs γ didapat hasil sebaliknya bahwa semakin besar nilai γ maka didapat nilai faktor keamanan yang semakin kecil.
- Untuk grafik hubungan FK vs NS (dalam hal ini nilai NS yg dimasukkan 1-5) didapat hubungan bahwa semakin bertambah jumlah anak tangga maka nilai FK akan naik namun kemudian akan menurun.
- Supaya keadaan lereng menjadi stabil dan Faktor Keamanan dapat menjadi lebih dari 1 maka lereng diperbaiki dengan menggunakan *soil nail*. *Soil nail* adalah salah satu cara perbaikan lereng dengan cara memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Sehingga dapat diperoleh nilai Faktor Keamanan 1,926 yang menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan stabil.

Saran

Lereng di Kawasan Citraland berada pada kondisi yang tidak stabil. Hal itu dapat menyebabkan longsor sehingga dapat menimbulkan kerugian serta membahayakan penduduk disekitarnya. Maka perlu diadakan upaya perbaikan lereng. Salah satu perbaikan lereng dengan cara soil nail. Tapi pembangunan soil nail perlu mempertimbangkan aspek pembiayaan dan lingkungan. Soil nail dapat memperkecil potensi untuk terjadinya longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M.G., Richard K.S., 1987. *Slope Stability*, Geotechnical Engineering and Geomorphology, John Wiley and Sons.
- Bowles, Joseph E., Hainim Johan K., 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta,
- Das Bradja M., Endah Noor. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Bradja M., Endah Noor., 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2. Penerbit Erlangga, Jakarta.