

ANALISA KESTABILAN LERENG AKIBAT GEMPA (STUDI KASUS : IAIN MANADO)

Raifah Rekzyanti

Sjachrul Balamba, Lanny Manaroinsong

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Lereng merupakan suatu konstruksi tanah dengan ketinggian elevasi yang berbeda, sehingga menghasilkan komponen gravitasi yang cenderung menggerakkan massa tanah menuju ke permukaan yang lebih rendah. Gaya penggerak ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah gempa. Gempa adalah peristiwa alam berupa getaran/goncangan tanah yang diawali oleh patahnya lapisan tanah/batuan di dalam kulit bumi dan diikuti pelepasan energi secara mendadak. Energi tersebut terakumulasi secara bertahap di lokasi sumber gempa sebagai energi potensial. Analisis kestabilan lereng akibat gempa studi kasus : IAIN Manado menggunakan program plaxis v8.2 yang dapat menghitung faktor keamanan dengan menggunakan metode finite element atau metode elemen hingga. Pada perhitungan ini membutuhkan beberapa parameter agar memenuhi data yang diperlukan antara lain : Young Modulus(E), Poisson's Ratio(ν), Sudut Geser(ϕ), Kohesi(c), γ_{sat} , γ_{unsat} , k_x, y . Dari hasil penelitian perhitungan menggunakan plaxis dilakukan dengan cara memvariasikan nilai frekuensi, sedangkan perhitungan secara manual (Excel) menggunakan variasi nilai dari koefisien gempa (k_h). Dari hasil kedua perhitungan didapat nilai faktor keamanan yang sama, yaitu 1.003, dengan hasil faktor keamanan sebesar 1.003 lereng dikatakan kritis ada kemungkinan pernah terjadi longsor.

Kata kunci : stabilitas lereng, beban dinamis, Plaxis v.8.2., faktor keamanan

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang Stabilitas lereng sangat erat kaitannya dengan longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Longsor umumnya terjadi jika tanah sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran tanah relief.

Beberapa parameter penting sebagai pemicu tanah longsor antara lain adalah kemiringan lereng. Semakin besar sudut lereng semakin besar pula daya dorong disebabkan meningkatnya tegangan geser berbanding terbalik dengan tegangan normal berupa kekuatan penahan. Selain itu adanya beban dinamis juga akan berpengaruh terhadap besarnya sudut kemiringan tersebut. Didaerah yang mempunyai pengaruh beban dinamis yang tinggi, maka sudut kemiringan lerengnya harus lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah yang pengaruh beban dinamisnya rendah. Beban dinamis dapat berupa gempa.

Gempa sangat berpengaruh terhadap kestabilan tanah apabila terjadi gempa bumi, maka pertama-tama yang merasakan getaran adalah tanah disekeliling pusat

gempa. Getaran akibat gempa kemudian disebarkan kesegala penjuru, selama getaran menjalar dari pusat gempa sampai ke permukaan tanah maka faktor tanah sebagai penghantar getaran mempunyai peran yang sangat penting. Kondisi geologi dan kondisi tanah tertentu, akan menyebabkan respon tanah akibat beban dinamis.

Rumusan Masalah

Gempa sangat berpengaruh dalam kestabilan lereng, dengan memperhatikan gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa kita dapat mengetahui faktor keamanan, konsolidasi, dan keruntuhan dari suatu lereng. Berdasarkan uraian diatas maka perlu diketahui pengaruh gempa terhadap parameter tanah yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng.

Batasan Masalah

Penelitian dilakukan dengan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Pengambilan sampel tanah pada 2 titik lokasi penelitian.
2. Nilai amplitudo dan frekuensi disimulasikan.
3. Menganalisis kestabilan dengan menggunakan Program Plaxis v.8.2.
4. Tidak memperhatikan tinggi muka air.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui angka aman stabilitas lereng terhadap gempa.
2. Mengetahui seberapa besar nilai kuat geser tanah.
3. Mengetahui hubungan antara nilai faktor keamanan dan besarnya nilai frekuensi akibat gempa.
4. Membandingkan faktor keamanan dengan menggunakan plaxis dan perhitungan manual (Excel).

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penulisan ini dapat diperoleh manfaat antara lain: mampu menganalisis kestabilan lereng akibat gempa, dan pengaruh beban-beban dinamis terhadap bangunan disekitar lereng dimaksudkan disini adalah bangunan IAIN Manado.

2. Landasan Teori

Tanah dan Sifatnya

Ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt) atau lempung (clay) tergantung pada ukuran partikel tanah tersebut. Kerikil (gravel) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar dan mineral-mineral lainnya. Pasir (sand) sebagian besar terdiri dari mineral quartz dan feldspar, butiran dari mineral yang lain juga mungkin masi ada. Untuk lanau (silt) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika. Dan untuk lempung (clay) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dari submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika.

Klasifikasi Tanah USCS (United Soil Classification System)

Sistem ini mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G Untuk Gravel(Kerikil) atau tanah berkerikil, dan S untuk Sand (Pasir) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), Yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200 . Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk Lanau(*silt*) Anorganik, C untuk lempung (clay) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung organik.

Prinsip-Prinsip Pemadatan

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering (γ_d) bertambah seiring dengan ditambahnya kadar air. Pada kadar air nol ($w=0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d). Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (γ_d) juga bertambah. Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu saat kadar air optimum, kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat.

Teori Konsolidasi

Bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada air berpasir yang sangat tembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, berkurangnya volume tanah tersebut dapat menyebabkan penurunan lapisan tanah itu. Karena air pori di dalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

Pengujian Kuat Geser Tanah dengan Tekan Triaksial

Kekuatan tanah adalah tahanan yang terbentuk dari suatu kombinasi partikel yang bergulir, dan meremuk oleh setiap tekanan pori berlebih yang terjadi selama pergerakan partikel. Ketahanan terhadap deformasi ini ialah *kekuatan geser* tanah sebagaimana yang menentang terhadap kekuatan pampat. Kekuatan geser ini diukur dalam dua istilah parameter tanah, yaitu *kohesi*, c (tarik menarik antara dua partikel) dan *sudut geser dalam* ϕ (tahanan terhadap pelesetan antar partikel). Kekuatan geser dalam bentuk persamaan ditulis sebagai:

$$s = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (1)$$

dan dengan menggunakan tegangan efektif ditulis sebagai :

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots (2)$$

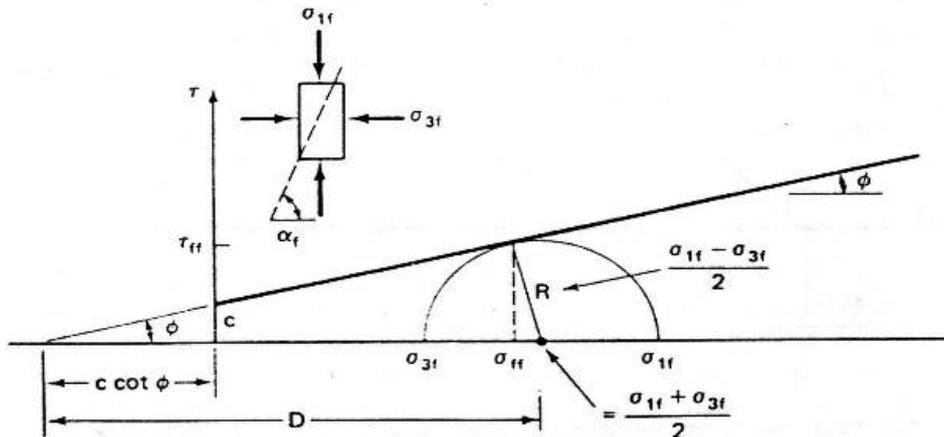
parameter tanah tersebut sering dianggap sebagai konstanta, tetapi pada kenyataannya tergantung pada jenis pengujian, riwayat tegangan sebelumnya dan keadaan yang sedang terjadi (terutama kandungan kadar airnya).

Pengujian tegangan geser tanah yang biasa dilakukan adalah dengan cara *Direct Shear Test* dan *Triaxial Test*. Prinsip dari pengujian Triaxial Test adalah menentukan kondisi air pori yang digeneralisasi, dan hal ini meliputi 3 hal pengujian:

1. Pengujian tak terkonsolidasi tak terdrainase (uji UU), dimana tanah tidak dibiarkan turun dan air pori tidak diperbolehkan mengalir selama proses pemberian tegangan sampai tanah hancur. Hal ini menghasilkan q_u sebagai kekuatan pampat hancur.
2. Pengujian tak terdrainase-konsolidasi (uji CU), dimana air pori diperbolehkan mengalir selama pemberian tegangan normal, dan kemudian ditutup

selama pemberian tegangan geser sampai tanah hancur.

3. Pengujian konsolidasi-drainase (uji CD), dimana air pori diperbolehkan mengalir baik selama pemberian tegangan utama maupun proses pemberian tegangan geser.



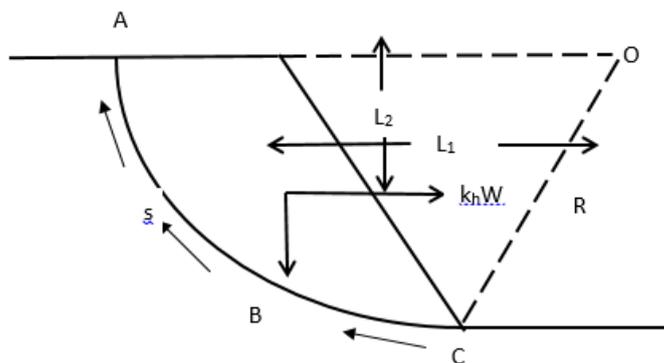
Gambar 1. Lingkaran Mohr untuk Menentukan Tegangan Geser Tanah

Gempa

Perpindahan tanah selama gempa bumi menyebabkan momen inersia yang besar pada lereng. Pada saat lereng mengalami pengaruh gempa dapat diasumsikan bahwa tanah tersebut akan mengalami sedikit penurunan pada kekuatan lereng karena beban siklis. Sampai pertengahan tahun 1960, sebagian besar dari lereng dianalisis dengan menggunakan metode pseudostatik. Seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini, ABC adalah lingkaran dengan pusat pada titik O,

mengingat panjang lereng gaya yang bekerja pada permukaan adalah sebagai berikut :

- a. Sebuah berat wedge, W
- b. Inersia berlaku pada wedge, $k_h W$ yang merupakan efek gempa bumi. Faktor k_h adalah koefisien rata-rata percepatan horizontal.
- c. Menolak gaya persatuan luas (s) yang merupakan kekuatan geser tanah bertindak sepanjang kegagalan percobaan ABC faktor keamanan sehubungan dengan kekuatan F_s .



Gambar 2. Analisis Stabilitas untuk Lereng dengan Pengaruh Gempa

Frekuensi dan Amplitudo

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan detik dengan satuan Hz. Untuk menghitung frekuensi seseorang menetapkan jarak waktu, menghitung jumlah kejadian waktu, dan

membbagi hitungan dengan panjang jarak waktu. Pada sistem ini satuan Internasional hasil perhitungan ini dinyatakan dalam satuan hertz (Hz) yaitu berasal dari nama pakar fisika di Jerman *Heinrich Rudolf Hertz* yang menemukan fenomena ini pertama kali. Frekuensi

sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik.

Amplitudo adalah simpangan terjauh yang diukur dari titik keseimbangan dalam suatu getaran. Amplitudo dinyatakan dalam simbol A yang dinyatakan dalam satuan meter (m) sebuah getaran memiliki jarak atau amplitudo yang berbeda-beda dengan getaran lainnya. Amplitudo ini merupakan simpangan maksimum pada suatu gelombang.

Tekanan Tanah Akibat Beban Gempa

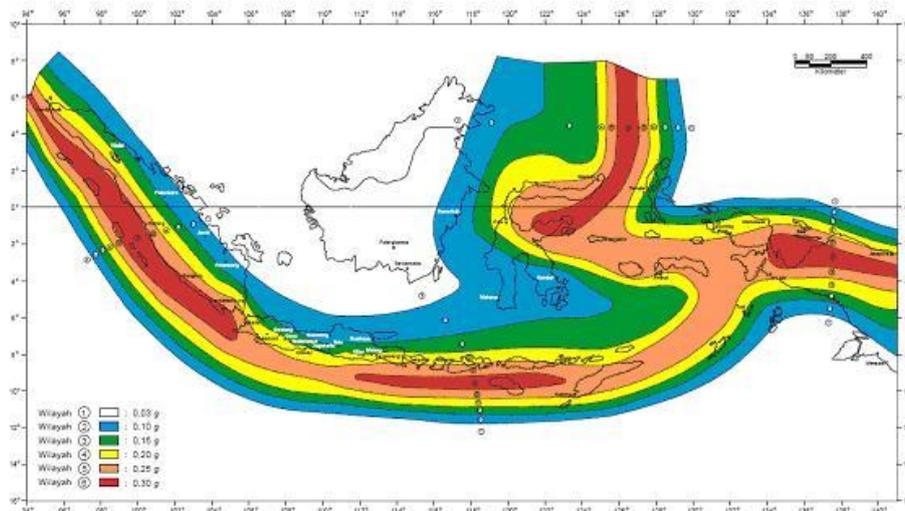
Gempa bumi dapat mengakibatkan gerakan dan keruntuhan lereng alam maupun buatan. Kecuali itu, gempa bumi dapat adanya :

1. Liquefaction pada massa tanah (terutama pada tanah-tanah granuler).
2. Perubahan tekanan air pori dan tegangan efektif dalam massa tanah.
3. Timbulnya retak-retak vertikal yang dapat mereduksi kuat geser tanah.

Gaya gempa arah lateral akibat tekanan tanah dihitung dengan menggunakan pendekatan yang diusulkan oleh Mononobe- Okabe pada tanah non kohesif. Pendekatan ini merupakan metode yang paling umum digunakan. Besarnya tekanan tanah akibat pengaruh gempa ditentukan berdasarkan koefisien gempa horizontal (K_h) dan faktor keutamaan (I).

Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia

Wilayah Indonesia terdiri dari 6 wilayah gempa, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 adalah wilayah kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan pada percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun dengan asumsi umur bangunan adalah 50 tahun. Berikut adalah Gambar Pembagian Zona Gempa di Indonesia. Untuk daerah Sulawesi Utara sendiri termasuk pada wilayah gempa 5.



Gambar 3. Peta Zona Pembagian Gempa di Indonesia

Teori Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Gempa

Maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gayayang menahan dan gaya yang menggerakkan atau,

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan : τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah; τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor; F = faktor aman

Mohr – Coulomb, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan tanah sepanjang bidang longsornya dinyatakan ;

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots \dots \dots (4)$$

Dimana nilai c dan ϕ adalah parameter kuat geser tanah disepanjang bidang longsornya. Persamaan geser yang terjadi akibat beban tanah dan beban lain pada bidang longsornya ;

$$\tau_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \phi_d \dots \dots \dots (5)$$

Dengan c_d dan ϕ_d adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsornya. Sehingga persamaan menjadi :

$$F = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \phi}{c_d + \sigma \operatorname{tg} \phi_d} \dots \dots \dots (6)$$

Atau :

$$c_d + \sigma \operatorname{tg} \phi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \phi}{F} \dots \dots \dots (7)$$

Dengan :

$$F_c = \frac{c}{c_d} \dots \dots \dots (8)$$

dan

$$F_{\varphi c} = \frac{tg\varphi}{tg\varphi_d} \dots\dots\dots (9)$$

Menggunakan Gempa (Metode Irisan Konvensional)
Untuk menjelaskan metode ini perhatikan kemiringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 menjadi uji coba permukaan. Perhatikan bahwa ABC adalah busur dari lingkaran dengan pusatnya titik O tanah di atas permukaan dibagi menjadi beberapa irisan. Panjang setiap irisan tidak perlu sama untuk lapis ke-n pertimbangkan ketebalan satuan di sudut kanan untuk penampang yang ditampilkan. Berat dan kekuatan inersia adalah masing-masing W_n dan $k_h W_n$. P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi potongan T_n dan T_{n+1} namun gaya P_n dan P_{n+1} , T_n dan T_{n+1} s ulit untuk ditentukan. Jadi resisting gaya tangensial T_r dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\tau_r = \frac{1}{FS} (c \cdot B_n \sec \alpha + N_r \tan \phi) \dots\dots\dots(10)$$

$$\tau_r = \frac{1}{FS} (c B_n \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \phi) \dots\dots(11)$$

Sekarang ambil momen O untuk semua irisan

$$\sum_{n=1}^p (W_n R \sin \alpha_n + k_h W_n L_n) = \sum_{n=1}^p \frac{R}{F_s} (c B_n \sec \alpha + W_n \cos \alpha \tan \phi) \dots\dots\dots(12)$$

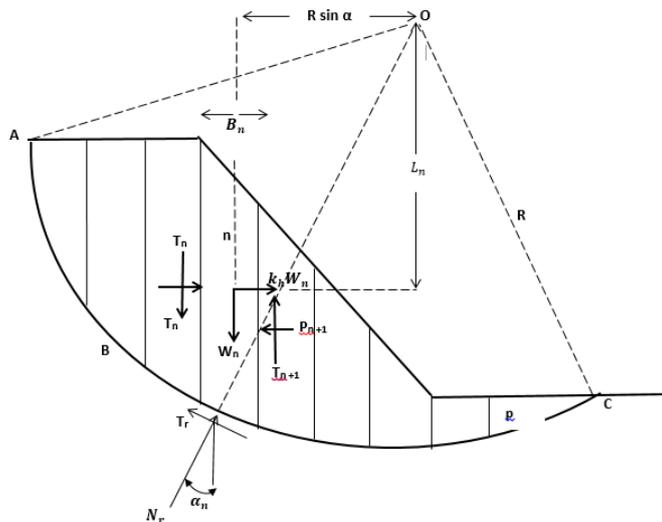
Atau,

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^p (C B_n + \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^p [W_n \sin \alpha_n + k_h W_n (L_n/R)]} \dots\dots\dots(13)$$

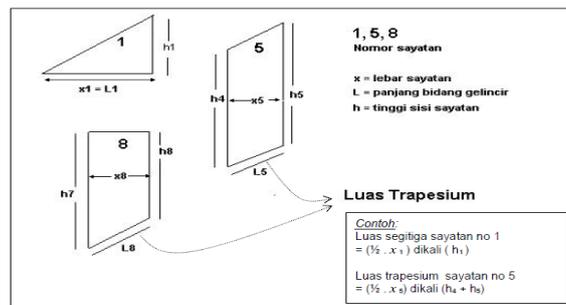
Dimana : k_h = koefisien gaya gempa horizontal; W = luas tiap irisan; c = kohesi; R = jari-jari longsor; h = tinggi rata-rata irisan; b = lebar irisan; x = jarak horizontal dari pusat massa irisan terhadap pusat moment; α = sudut kemiringan.

Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longoran. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsonya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1. Lereng dianggap stabil jika faktor amannya memenuhi syarat yang ditentukan, yaitu:

1. $F \geq 1.5$ tanpa gempa
2. $F \leq 1.2$ ada gempa



Masing-masing sayatan mempunyai luas.
Luas sayatan dapat berupa SEGITIGA atau TRAPESIUM.
Perhitungan luas memerlukan data x (bidang datar), yaitu: x_1 sampai x_2 dan memerlukan data h (bidang vertikal), yaitu: h_1 ($h_1=0$ meter di titik P), h_2 , h_3 sampai h_{12} (LIHAT GAMBAR)



Untuk menghitung nilai F (Faktor Keamanan lereng), data-data di atas dimasukkan dalam tabel. Ukur pada masing-masing sayatan L , h dan x serta sudut α masing-masing bidang gelincir Hitung luas pada masing-masing sayatan, $\sin \alpha$, $\cos \alpha$, W (=luas dikali γ), $(W \sin \alpha)$ dan $(W \cos \alpha)$ Hitung jumlah L , jumlah $W \sin \alpha$ dan $W \cos \alpha$. → Masukkan dalam rumus F, didapat nilai F

Gambar 4. Metode Irisan Konvensional

Stabilitas Lereng

Metode yang paling umum digunakan dalam analisis kestabilan lereng didasarkan pada metode keseimbangan batas. Pada metode ini akan diperoleh faktor keamanan suatu lereng dengan cara membandingkan gaya mempertahankan masa tanah agar tetap stabil dengan gaya yang menggerakkan msa tanah sepanjang bidang longsor. Gaya/momen yang

mempertahankan massa tanah untuk tetap stabil diperoleh dari gaya perlawanan geser tanah itu sendiri, dengan membandingkan kedua gaya tersebut maka diperoleh faktor keamanan stabilitas lereng (Fs).

$$F_s = \frac{\text{Gaya yang menahan}}{\text{Gaya penggerak}} \dots\dots\dots(14)$$

Tabel 1. Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dengan Intensitas Longsor

NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN / INTENSITAS LONGSOR
F kurang dari 1,07	Longsor <i>terjadi</i> biasa/sering (lereng labil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor <i>pernah</i> terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor <i>jarang</i> terjadi (lereng relatif stabil)

Metode Elemen Hingga

Konsep dasar metode elemen hingga (Finite Element Method atau disingkat FEM) adalah ‘diskritisasi’. Kita anggap bahwa distribusi deformasi *u* sulit dicari dengan cara konvensional dan kita perlu menggunakan FEM yang berdasarkan konsep diskritisasi. Kita bagi suatu massa atau sejumlah daerah–daerah kecil yang disebut “finite element” atau elemen hingga yang merupakan pendekatan praktis dengan toleransi penyimpangan yang dapat diterima. Berdasarkan konsep elemen hingga, yaitu proses diskretisasi, maka suatu sistem akan dibagi-bagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil.

Kelebihan metode ini dalam hal perhitungan lereng adalah :

- a) Tidak diperlukan adanya asumsi terhadap lokasi dan bentuk bidang gelincir. Keruntuhan akan terjadi pada zona dimana kuat geser tanah tidak sanggup lagi menahan gaya geser yang bekerja.
- b) Karena tidak menggunakan irisan-irisan (slices) pada massa tanah yang mengalami longsor maka simplifikasi terhadap gaya-gaya sisi irisan tidak diperlukan. Metode FEM juga mempertahankan keseimbangan global sampai keruntuhan terjadi.
- c) Metode FEM dapat menggabungkan analisis deformasi pada berbagai tahapan dengan analisis stabilitas sehingga faktor keamanan pada suatu tahapan dapat diketahui seta perhitungan menjadi lebih cepat dan efisien.
- d) Keruntuhan progresif (progressive failure) sampai dengan dan termasuk keruntuhan geser keseluruhan dapat terilustrasi pada metode FEM. Dengan membuat kontur regangan geser pada

sistem yang analisis maka bidang gelincir dapat diketahui.

- e) Faktor urutan konstruksi dapat disertakan sehingga metode FEM ini lebih realistis.

PLAXIS

PLAXIS dikembangkan lebih lanjut hingga mencakup hampir seluruh aspek perencanaan geoteknik lainnya. Didalam Plaxis pemodelan struktur geoteknik pada umumnya dapat dimodelkan menjadi regangan bidang (plane strain) atau model axi-simetri. Pada model regangan bidang model geometri penampang melintang yang kurang lebih seragam dengan kondisi regangan dan kondisi pembebanan yang cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang tersebut (arah z). Perpindahan dan regangan dalam arah z diasumsikan tidak memiliki pengaruh karena arah tersebut diasumsikan memiliki panjang yang tidak terbatas. Walaupun demikian tegangan normal pada arah z diperhitungkan sepenuhnya dalam analisa.

Pemodelan hubungan tegangan-tangan yang paling sederhana adalah pemodelan hukum linier Hooke, elastisitas isotropik, yang hanya memerlukan dua input yaitu modulus Young (E), dan poisson rasio (*u*) . Dengan pemodelan linier hasil yang didapatkan terlalu besar untuk dipakai dalam pemodelan. Oleh sebab itu terdapat berbagai macam pemodelan sifat mekanis material dalam program Plaxis, yaitu :

1. Mohr Coulomb Model.
2. Jointed Rock Model.
3. Hardening Soil Model.
4. Soft Soil Creep Model.
5. Soft Soil Model.

Pada pemodelan material *Mohr-coulomb* model terdapat 7 parameter yang perlu dimasukkan, yaitu :

1. Young Modulus(E).
2. Poisson's Ratio(ν).
3. Sudut Geser(ϕ).
4. Kohesi(c).
5. γ_{sat} .
6. γ_{unsat} .
7. k_x, y .

3. Metode Penelitian

IAIN Manado terletak di daerah ringroad manado, berada pada $1^{\circ}28'3.55''N$ $124^{\circ}53'1.29''E$ dalam penulisan tanah sampel A dan B berada pada lokasi yang sama namun berbeda titik pengambilan. Di sekitaran lokasi pengambilan sampel terdapat gedung perkuliahan yang baru saja dibangun. Dan tepat di bawah lokasi pengambilan sampel terdapat pemukiman warga daerah malendeng. Lereng dilokasi penelitian memiliki tinggi $\pm 25m$ lebar $\pm 13 m$ dan kemiringan 50° . Dalam melakukan analisa digunakan program Plaxis v8.2 dengan pemodelan mohr-coloumb yang membutuhkan beberapa data seperti $E, \nu, \phi, c, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}, k_x, y$. Nilai Young modulus (E), Poison ratio (ν), Permeabilitas (k_x, y), dapat diketahui dengan mengetahui jenis tanah, nilai ϕ, c dengan triaxial UU, γ_{unsat} dengan melakukan percobaan pematatan tanah, γ_{sat} dengan rumus :

$$\frac{\gamma_w + (G_s + e)}{1 + e} \dots\dots\dots(15)$$

Berikut percobaan yang harus di lakukan untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut :

1. Pemeriksaan Kadar Air
2. Pemeriksaan Berat Spesifik Tanah
3. Pemeriksaan Batas Cair Tanah
4. Pemeriksaan Batas Plastis dan Indeks Plastis

5. Pemeriksaan Distribusi Ukuran Butiran (Analisa Saringan)
6. Pengujian Konsolidasi
7. Pengujian Triaksial Pada kondisi“ *Unconsolidated Undrained*“
8. Pengujian Pematatan Tanah

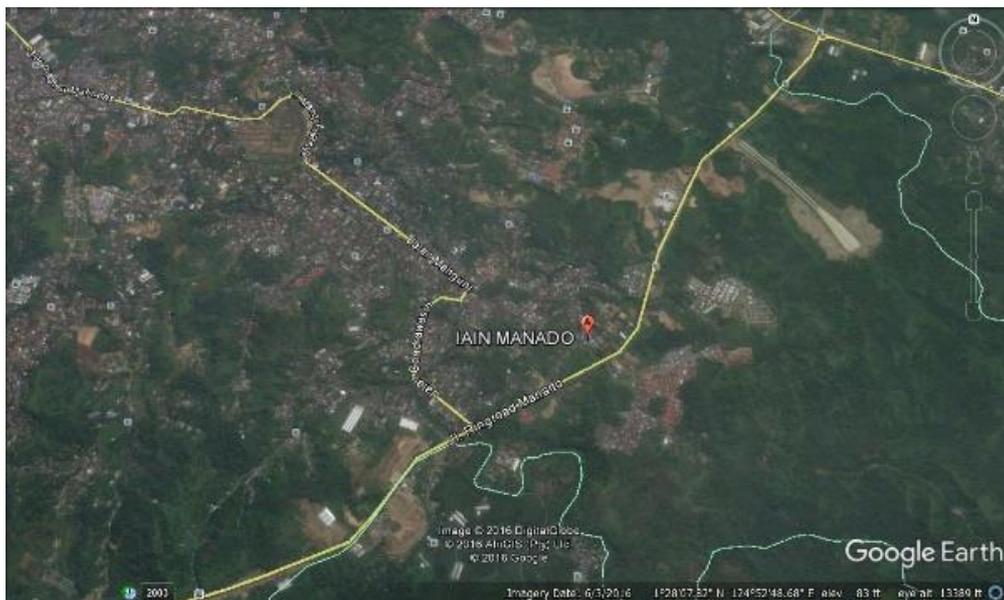
Plaxis

Plaxis V.8.2 menyediakan berbagai analisa tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan dan lain-lain. Untuk melakukan analisis struktur tubuh timbunan dan spillway pada perencanaan timbunan, digunakan metode elemen hingga dengan kondisi *plane strain* (regangan bidang). Model *plane strain* digunakan dengan asumsi bahwa sepanjang penampang dipandang relatif sama dan peralihan dalam arah tegak lurus potongan tersebut dianggap tidak terjadi. Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodes (titik) atau 15 titik. Pada analisis ini digunakan elemen segitiga dengan 6 titik.

Pemodelan Material

Perilaku tanah dan batuan dibawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku inidapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, diantaranya *Linearelastic model*, *MohrCoulomb model*, *Hardening Soil model*, *Soft Soil model*, dan *Soft Soil Creep model*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter yaitu :

- Kohesi (c)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Modulus Young (E_{ref})
- *Poisson's ratio* (ν)
- *Dilatancy angle* (ψ).



Gambar 5 . Lokasi

Tahap Perhitungan Plaxis 8.2

Pada perhitungan dengan Plaxis 8.2 tahap-tahapnya adalah:

- Plaxis input
- Plaxis calculation
- Plaxis output

Plaxis Input

Analisis stabilitas struktur tubuh timbunan dengan Plaxis 8.2 dilakukan dengan membuat file baru setelah kita membuka program Plaxis Input. Dalam membuat file baru untuk analisis harus diketahui terlebih dahulu dimensi dari struktur yang kita analisis untuk mengisi Geometry Dimensions. Satuan yang akan digunakan juga diatur terlebih dahulu pada awal pembuatan pada Plaxis 8.2. Tahap-tahap dalam analisis plaxis input adalah:

- Input Geometri
- Input material
- Meshing generation

- Penetapan kondisi awal (initial condition)

Plaxis Output

Perhitungan Gempa dengan Plaxis v.8.2, ditinjau dari frekuensi yang sudah pernah terjadi. Hasil analisis berupa deformasi dan angka keamanan pada Plaxis output dilihat pada tiap kondisi yang dianalisis.

1. Deformasi tanah. Deformasi tanah adalah perubahan struktur tanah akibat gaya-gaya yang bekerja.
2. Angka Keamanan. Dari keadaan-keadaan yang dianalisis dapat diketahui besarnya angka keamanan pada tiap-tiap keadaan tersebut. Besar angka keamanan dapat dilihat pada *View > calculation info*

4. Hasil Dan Pembahasan

Karakteristik Tanah

Hasil pengujian tanah di laboratorium di rangkum dalam tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Laboratorium

Karakteristik	Sampel 1	Sampel 2
Batas Cair (LL)	41.4 %	41.2%
Batas Plastis (PL)	30.36 %	34.87%
Indeks Plastis (IP)	11.04 %	6.33 %
Berat Jenis	2.577	2.463
Lolos Saringan 200	54.650 %	53.098 %
Sudut Geser Dalam (ϕ)	6.7	11.4
Kohesi c	15.9 KN/m ²	4.11 KN/m ²
Gamma Dry (γ_{unsat})	26.2 KN/m ³	24.4 KN/m ³

(sumber : hasil penelitian)

Menghitung Analisis Kestabilan Lereng

Untuk menganalisis kestabilan lereng, digunakan bantuan program PLAXIS yang membutuhkan beberapa parameter. Tanah yang diambil dari lokasi penelitian (IAIN Manado) kemudian dibawa ke laboratorium Mekanika Tanah untuk diuji. Berikut ini beberapa data yang diperoleh dari hasil laboratorium dan dibutuhkan oleh penginputan data untuk program PLAXIS :

• Tanah A

- γ_{sat} : 19.183 kN/m³
- γ_{unsat} : 15.2 kN/m³
- $K_{x,y}$: 10E+6 m/day
- E : 5000 kN/m²
- ν : 0,3
- c : 15.9 kN/m²
- ϕ : 6.7°

• Tanah B

- γ_{sat} : 16.421 kN/m³
- γ_{unsat} : 13.2 kN/m³
- $K_{x,y}$: 10E+4 m/day
- E : 5000 kN/m²
- ν : 0,3
- c : 4.11 kN/m²
- ϕ : 11.4°

Hasil-hasil Perhitungan Plaxis v8.2

Berdasarkan dari data-data yang telah diketahui diatas, dan di masukan data-data tersebut kedalam program plaxis v8.2. Hasilnya dibedakan untuk analisis lereng tanpa gempa dan analisis lereng dengan gempa.

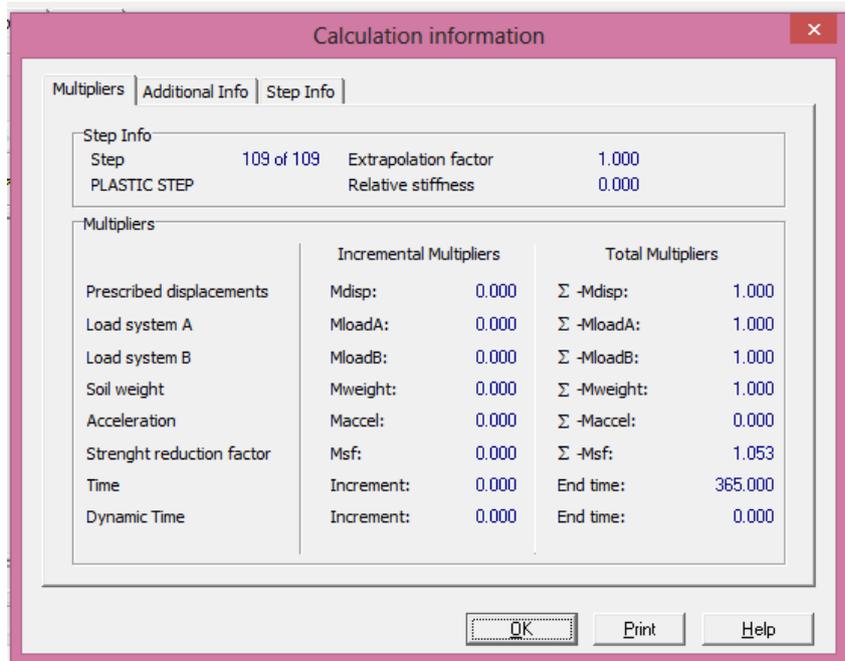
Analisis Lereng tanpa Gempa

Hasil analisis lereng tanpa gempa dengan menggunakan software Plaxis ditampilkan pada Gambar 6.

pernah terjadi. Kemudian diinput pada program Plaxis. Nilai faktor keamanan untuk analisis lereng dengan menggunakan gempa ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 7 untuk grafik hubungan antara frekuensi dan faktor keamanan.

Analisis Lereng menggunakan Gempa

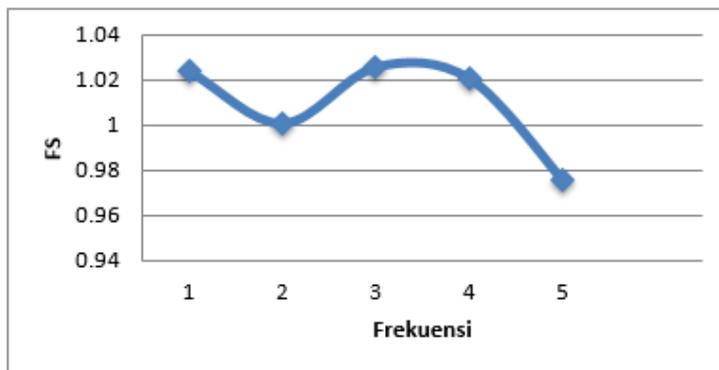
Untuk perhitungan gempa pada plaxis, data frekuensi dan amplitudo diasumsikan dengan gempa yang sudah



Gambar 6. Hasil Perhitungan Plaxis untuk Kestabilan Lereng Tanpa Gempa

Tabel 3. Frekuensi dan Faktor Keamanan Hasil Analisis dengan Plaxis untuk Analisis Gempa

Frekuensi (Hz)	FS
1	1.024
2	1.001
3	1.026
4	1.021
5	0.976



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dan Frekuensi

Hasil Perhitungan Manual (menggunakan MS. Excel)

1. Buat tabel untuk perhitungan per-sayatan
 2. Ukur panjang x , h dan l
 3. Ukur besar sudut bidang gelincir α tiap-tiap sayatan.
 4. Hitung luas tiap-tiap sayatan
 5. Hitung W tiap-tiap sayatan. W = luas masing-masing sayatan x bobot satuan isi tanah
 6. Hitung $\cos \alpha$ kalikan dengan W pada masing-masing sayatan, sehingga didapatkan $W \cos \alpha$
 7. Hitung $\sin \alpha$ kalikan dengan W pada masing-masing sayatan, sehingga didapatkan $W \sin \alpha$.
 8. Jumlahkan / Hasil penjumlahan = L .
 9. Langkah selanjutnya :
 - a. Hitung $c \times L$
 - b. Jumlahkan ($W \cos \alpha$) pada semua sayatan
 - c. Jumlahkan ($W \sin \alpha$) pada semua sayatan
 - d. Hitung $\tan \alpha$
 10. Masukkan nilai-nilai tadi ke dalam rumus irisan konvensional.
- Hasil perhitungan secara manual ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Manual (menggunakan MS. Excel)

No Slice	l	x	H	Luas	α	W	$W \sin \alpha$	$W \cos \alpha$	kh	R	L/R	B sec α	Fs
1	15.5	10	0.00	57.500	50.2	1103.0225	847.4340129	706.055401	0.01	2	7.75	15.622	1.22
2	7	5	11.50	67.500	38.7	1294.8525	809.5970167	1010.54226	0.014	2	3.5	6.406	1.03
3	3	5	15.50	75.000	30.9	1438.725	738.8446379	1234.51943	0.013	2	1.5	5.827	1.07
4	11.5	9.5	14.50	114.800	26.6	2202.2084	986.0588244	1969.11397	0.02	2	5.75	10.624	0.83
5	5.5	5.5	16.00	82.500	15.3	1582.5975	417.6048292	1526.50616	0.025	2	2.75	5.702	0.72
6	5	5	14.00	65.000	11.3	1246.895	244.3242675	1222.72351	0.03	2	2.5	5.098	0.63
7	5	5	12.00	51.125	5.7	980.730875	97.40594507	975.88172	0.035	2	2.5	5.024	0.57
8	12.5	12.5	8.50	53.125	0	1019.096875	0	1019.09688	0.045	2	6.25	12.5	0.46
$\Sigma =$	65					10868.129	4043.863589	6446.73723			32.5	66.803	

(sumber : hasil penelitian)

5. Kesimpulan

1. Hasil perhitungan faktor keamanan lereng tanpa menggunakan gempa adalah 1.053. Namun, ketika lereng diberi beban faktor keamanannya menurun menjadi 0.994.
2. Angka aman bagi kestabilan lereng akibat gempa yaitu 1.026 dengan menggunakan frekuensi gempa sebesar 3 Hz. Namun dengan hasil yang seperti ini dapat dikatakan bahwa lereng tersebut lereng kritis, ada kemungkinan daerah penelitian pernah terjadi longsor.
3. Semakin besar frekuensi yang terjadi akibat gempa, semakin kecil nilai faktor keamanan bagi lereng. Namun, pada saat menggunakan frekuensi 3 Hz hasilnya lebih besar dibandingkan menggunakan frekuensi 2 Hz dan 1 Hz.
4. Perhitungan menggunakan program komputer (Plaxis) dilakukan dengan cara menggunakan nilai

frekuensi dari gempa, sedangkan perhitungan secara manual (Excel) menggunakan nilai koefisien gempa (kh). Dari hasil kedua perhitungan ini didapat nilai faktor keamanan yang sama yaitu ketika menggunakan frekuensi 3 Hz hasil faktor keamanannya sama ketika menggunakan nilai kh sebesar 0.014 g yaitu : 1.03.

6. Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut, cara penanggulangan longsor yang terjadi akibat gempa.
2. Perlu ditambahkan penelitian dengan adanya pengaruh muka air tanah pada lereng.
3. Menghitung dan membandingkan pengaruh beban gempa dengan menggunakan program komputer lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrahara. Krishnamoorthy. 2009 *Factor of Safety of a Slope Subjevted to Seismic Load*.
- Alzan, ST. 2015, *Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kestabilan Struktur Embankment di Daerah Reklamasi (Studi Kasus : Pulau Gangga)*, Manado : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
- Das. Braja. M. 1993, *Mekanika Tanah*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das.Braja. M. 1995, *Mekanika Tanah*, jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das.Braja.M, *Principles os Soil Dynamics*. Publishing Company, Boston.
- Dita.Pravitra.A.Kasthalisti.2007, *Analisa Pengaruh Gempa Terhadap Kosntruksi Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bina Nusantara.
- G Djatmiko Soedarmo,S.J.Edy Purnomo, 1993, *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Kanisius, Malang.
- Herman, ST,MT, *Bahan Ajar – Mekanika Tanah II*, Jakarta.
- Kyrou. Dr. Klriacos. 1999. *Seismic Slope Stability Analysis*.
- Yulvi Zaika. Syafi'ah. 2012. *Pengaruh Beban Dinamis dan Kadar Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng pada Tanah Lempung Berpasir*, Malang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Zufialdi Zakaria. 2009. *Analisis Kestabilan Lereng*, Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran.
- Panduan Praktikum Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi