

## ANALISIS STABILITAS LERENG AKIBAT GEMPA DI RUAS JALAN NOONGAN - PANGU

Dina Iis Sutiyono, Sjachrul Balamba, Alva Noviana Sarajar  
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi

### ABSTRAK

*Gempa bumi merupakan salah satu faktor penyebab longsor pada lereng karena gempa bumi menyebabkan getaran yang menimbulkan tekanan pada partikel-partikel mineral dan bidang lemah pada massa batuan dan tanah yang mengakibatkan lereng tidak stabil dan terjadi longsor. Lereng di ruas jalan Noongan-Pangu sering terjadi longsor apalagi dengan adanya pengaruh gempa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan atau Safety Factor dari lereng di ruas jalan Noongan-Pangu terhadap gempa. Analisis stabilitas lereng terhadap gempa di ruas jalan Noongan-Pangu menggunakan program Plaxis v8.2 yang dapat menghitung faktor keamanan atau Safety Factor. Dilakukan uji laboratorium untuk memenuhi data yang diperlukan pada Plaxis v8.2 yaitu young modulus ( $E$ ), poisson's ratio ( $\nu$ ), sudut geser ( $\phi$ ), kohesi ( $c$ ), berat jenis basah ( $\gamma_{sat}$ ), berat jenis kering ( $\gamma_{unsat}$ ), dan permeabilitas horizontal serta vertikal ( $k_{x,y}$ ). Dari hasil penelitian dengan variasi nilai frekuensi gempa dan dengan perhitungan metode irisan konvensional diperoleh angka keamanan (SF) 0.9860 yang menunjukkan bahwa kondisi lereng tidak aman terhadap gempa.*

*Kata kunci : stabilitas lereng, gempa, faktor keamanan*

### 1. Pendahuluan

#### *Latar Belakang*

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk suatu sudut tertentu pada bidang horizontal. Analisis pada permukaan tanah yang miring ini disebut analisis stabilitas lereng. Stabilitas lereng sangat erat kaitannya dengan kelongsoran tanah.

Faktor penyebab kelongsoran tanah antara lain yaitu penambahan beban pada lereng, penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng dan gempa bumi atau getaran berlebihan. Ditambah dengan posisi negara Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu lempeng Asia (Eurasia), lempeng Australia, dan lempeng Pasifik. Interaksi antara ketiga lempeng tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang aktivitas seismiknya cukup tinggi dan rawan terhadap bahaya gempa.

Gempa bumi menyebabkan getaran yang menimbulkan tekanan pada partikel-partikel mineral dan bidang lemah pada massa batuan dan tanah yang mengakibatkan longsor pada lereng. Longsor pada lereng berbahaya bagi lingkungan sekitarnya. Apalagi kondisi lereng di ruas jalan Noongan-Pangu yang sering terjadi longsor yang membahayakan para pengguna jalan. Oleh sebab itu, analisis stabilitas lereng sangat diperlukan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor terhadap gempa.

Analisis stabilitas lereng akibat gempa di Indonesia masih banyak menggunakan metode statik ekuivalen dengan mengubah efek beban dinamik yang ditimbulkan gempa menjadi beban statik. Pada

penelitian ini, beban dinamik akibat gempa tidak diubah menjadi beban statik dan dihitung menggunakan program komputasi PLAXIS.

#### *Rumusan Masalah*

Gempa yang terjadi dapat mempengaruhi kestabilan lereng yang berujung pada kelongsoran tanah. Longsor tersebut sangat berbahaya terhadap pengguna ruas jalan di Noongan-Pangu. Berdasarkan uraian tersebut maka analisis stabilitas lereng akibat gempa dilakukan untuk mendapatkan faktor keamanan lereng terhadap gempa.

#### *Batasan Masalah*

Penelitian dilakukan dengan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Pengambilan sampel tanah pada 2 titik di ruas jalan Noongan-Pangu.
2. Tidak memperhatikan tinggi muka air.
3. Perhitungan analisis stabilitas lereng akibat gempa hanya dihitung dengan program PLAXIS.

#### *Tujuan Penelitian*

Tujuan Penelitian ini untuk:

1. Mendapat angka tingkat keamanan dari lereng akibat gempa.
2. Memperoleh hubungan antara frekuensi gempa dan faktor keamanan lereng.

### Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diperoleh manfaat yaitu memperoleh tingkat keamanan lereng akibat gempa terhadap ruas jalan tersebut dengan bantuan program komputasi PLAXIS serta sebagai bahan masukan untuk ilmu pengetahuan di bidang geoteknik.

## 2. Tinjauan Pustaka

### Klasifikasi Tanah

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*) tergantung pada ukuran partikel tanah tersebut. Untuk ukuran Pasir butirannya dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm. Sedangkan ukuran lanau butirannya dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm dan lempung butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.

### 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. Untuk simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

### Prinsip-prinsip Pemadatan

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ) bertambah seiring dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol ( $w=0$ ), berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ) sama dengan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ). Kadar air pada saat berat volume kering mencapai maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ) disebut kadar air optimum. (Hardiyanto, 2004).

### Teori Konsolidasi

Bilamana suatu lapisan tanah lempung jenuh air yang mampu mampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung-lembek perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (yaitu konsolidasi) yang akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama dibandingkan dengan penurunan segera.

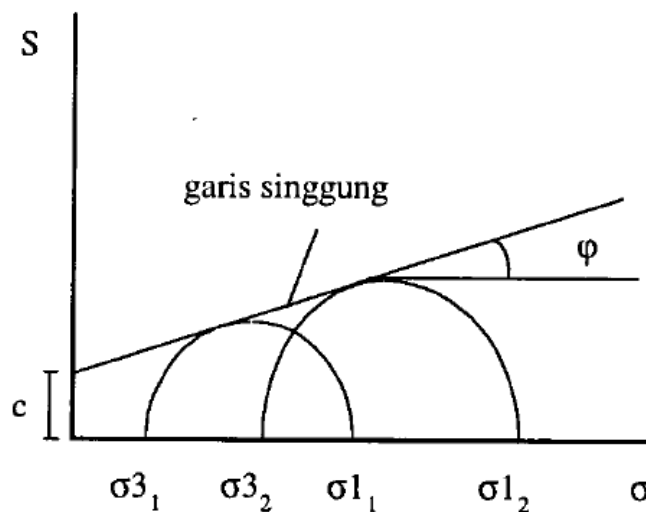
### Pengujian Kuat Geser Tanah Dengan Tekan Triaksial

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Kekuatan geser ini diukur dalam dua istilah parameter tanah, yaitu *kohesi*,  $c$  (tarik menarik antara dua partikel) dan *sudut geser dalam*  $\phi$  (tahanan terhadap pelesetan antar partikel).

Kuat geser dinyatakan dengan rumus :

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Ilustrasi persamaan ini diperlihatkan pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Kurva Keruntuhan Tanah Mohr-Coulomb dan Lingkaran Mohr

Kurva tersebut juga dikenal sebagai kurva keruntuhan tanah Mohr-Coulomb. Kekuatan kohesi ( $c$ ) diwakili oleh nilai perpotongan kurva dengan sumbu tegak, sedangkan kekuatan gesek terwakili oleh kemiringan kurva terhadap sumbu mendatar ( $\phi$ ).

Gambar 1 memperlihatkan pula satu set setengah lingkaran yang dikenal sebagai lingkaran Mohr. Lingkaran Mohr mewakili berbagai kombinasi tegangan-tegangan utama  $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  yang bekerja pada massa tanah yang mencapai keruntuhannya. Kurva keruntuhan harus menyinggung kumpulan lingkaran Mohr ini. 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.

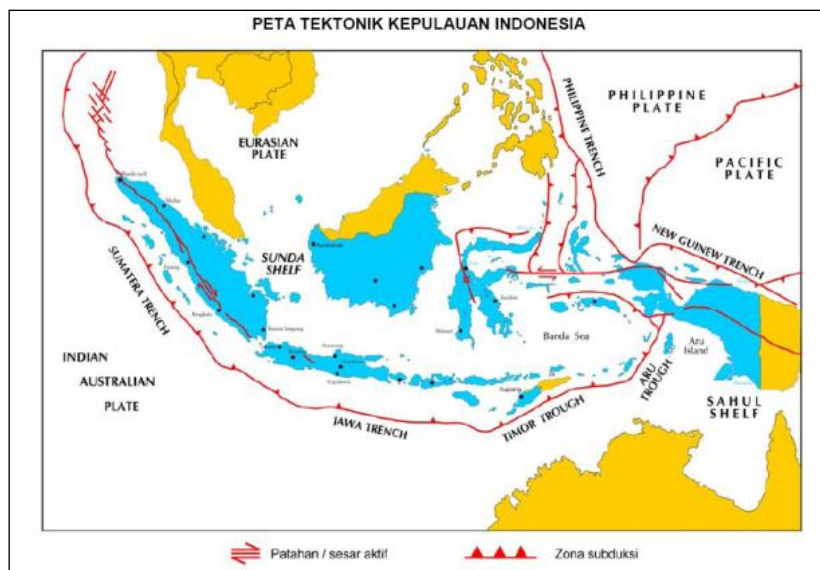
### Gempa

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gelombang seismik adalah rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, misalnya adanya patahan atau adanya

ledakan. Energi ini akan merambat ke seluruh bagian bumi. Energi yang dilepaskan tersebut dirambatkan oleh pusat gempa berupa gelombang getaran ke permukaan tanah. Akibat dari rambatan gelombang gempa, terjadi gaya geser siklik dinamik dari lokasi pusat gempa sampai muka bumi atau tanah. Sehingga terjadi deformasi pada kulit bumi. Deformasi tersebut disebabkan oleh terjadinya interaksi antar lempeng bumi.

### Jalur Gempa di Indonesia

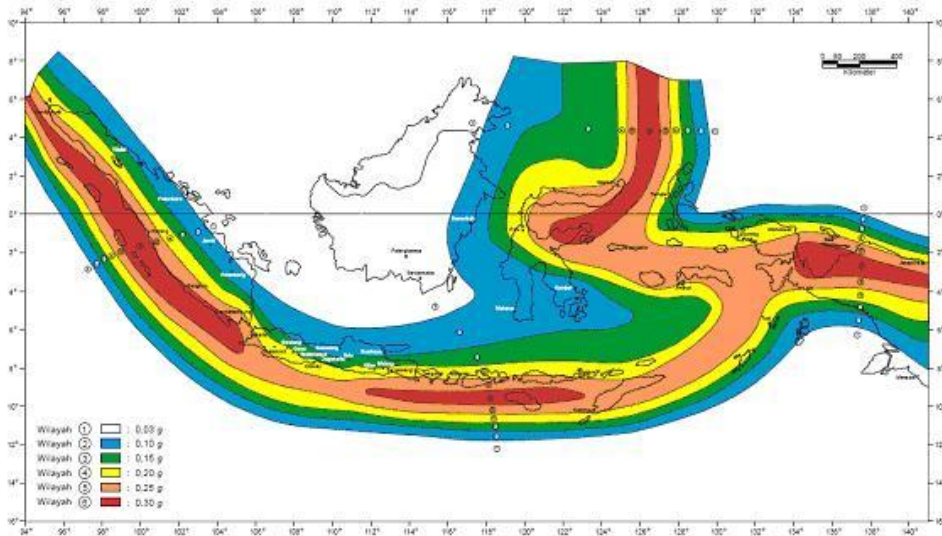
Secara geografis, kepulauan Indonesia berada di antara  $6^\circ$  LU -  $11^\circ$  LS dan  $95^\circ$  BT- $141^\circ$  BT serta terletak pada pertemuan 3 lempeng utama dunia yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Lempeng Eurasia dan Indo-Australia bertumbukan di lepas pantai barat pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai selatan kepulauan Nusa Tenggara, dan berbelok ke arah utara ke perairan Maluku sebelah selatan, sedangkan lempeng Australia dan Pasifik bertumbukan di sekitar Pulau Papua. Sementara itu, pertemuan antara ketiga lempeng tersebut terjadi di sekitar Sulawesi. Akibat terletak pada pertemuan 3 lempeng tersebut, di kawasan Indonesia banyak terdapat patahan-patahan aktif, seperti patahan Semangko di Sumatera, Cimandiri di Jawa dan banyak patahan serta sub patahan lainnya yang tersebar di seluruh penjuru Indonesia. Sedangkan, apabila ditinjau secara geologis, kepulauan Indonesia juga berada pada dua jalur gempa di dunia yaitu : jalur Sircum Pasifik dan jalur Himalaya & Mediterranean (Alpeide Transasiatic). Oleh karena itu, mengakibatkan kepulauan Indonesia berada pada daerah yang mempunyai aktivitas gempa bumi cukup tinggi.



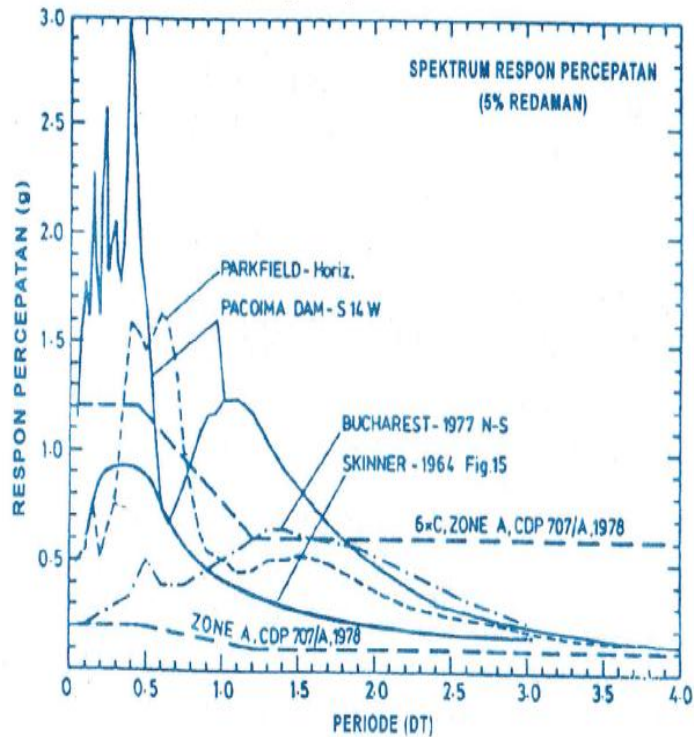
Gambar 2. Peta Tektonik Kepulauan Indonesia

Berdasarkan Gambar 2, berikut merupakan 25 daerah/wilayah di Indonesia yang rawan gempa bumi, yaitu: Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat - Jambi, Bengkulu, Lampung, Banten Pandeglang, Jawa Barat, Bantar Kawung, Yogyakarta, Lasem, Jawa Timur, Bali, NTB, NTT, Kepulauan Aru, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Sangir Talaud, Maluku Utara, Maluku Selatan, Kepala Burung-Papua Utara, Jayapura, Nabire, Wamena, dan Kalimantan Timur.

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 (enam) wilayah gempa seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3, dimana wilayah gempa I adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana 500 tahun. Sulawesi Utara termasuk dalam wilayah gempa berat yaitu 5.



Gambar 3. Peta Zona Pembagian Gempa Di Indonesia



Gambar 4. Spektrum Percepatan Gempa Dengan Beda Kandungan Frekuensi

Periode Getar  $T$ , Frekuensi Sudut ( $\omega$ ), Frekuensi Alam ( $f$ ) dan Amplitudo

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$\omega$  adalah *angular frequency* (frekuensi sudut) dalam rad/dt,  $T$  adalah *undamped free vibration period* dalam detik, dan  $f$  adalah *natural frequency* dalam cps (*cycles per second*) atau Hertz. 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 memmbagi 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.

Tampak pada Gambar 4 bahwa gempa dengan kandungan frekuensi tinggi akan mempunyai spektrum yang nilainya naik tajam pada periode getar relative kecil, kemudian turun secara tajam sampai pada periode getar yang ditinjau. Hal ini terjadi karena, frekuensi tinggi berasosiasi dengan periode getar  $T$  kecil. Gempa yang mempunyai kandungan frekuensi rendah nilai spektrumnya akan naik secara lebih landai dengan puncaknya pada periode getar  $T$  yang relatif besar. Gempa-gempa seperti ini akan mengakibatkan respon struktur yang berbeda. Dari gambar tersebut terlihat bahwa periode getar ( $T$ ) gempa - gempa yang terjadi dari 0 sampai 4 terhadap respon percepatan yang ada akan menjadi acuan dasar untuk memvariasikan nilai frekuensi dari 1 sampai dengan 5 Hz di PLAXIS karena dari persamaan di atas yang menunjukkan bahwa frekuensi ( $f$ ) =  $1/T$ .

#### Teori Analisis Stabilitas Lereng

Ketika bidang permukaan tanah sudah tidak horizontal (miring), maka terdapat suatu gaya berat (gravitasi) yang akan mendorong dan menggerakkan tanah ke bawah. Jika hal ini berlangsung lama, maka bukan tidak mungkin tanah tersebut akan terus bergerak ke bawah dan menekan permukaan tanah yang dibawahnya, akibat yang ditimbulkan dari adanya gaya berat atau

penyebab lainnya (aliran air, beban berlebih dari suatu struktur bangunan, atau gempa bumi), dan akan menimbulkan longsor atau retakan pada permukaan tanah dibawahnya. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Tujuan utama analisis stabilitas lereng adalah untuk mencari faktor keamanan lereng. Secara umum faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng ada dua yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah faktor yang berasal dari tubuh lereng seperti material tanah pembentuk lereng, muka air tanah, kemiringan lereng, retakan pada lereng, pelapukan tanah, dan aktivitas geologi dari lereng untuk lereng alami. Sedangkan faktor eksternal adalah faktor yang berasal dari luar seperti infiltrasi air hujan, aktivitas manusia, keberadaan vegetasi, rayapan lereng, dan gempa. Stabilitas lereng (*slope stability*) sangat erat kaitannya dengan kelongsoran tanah. Kelongsoran tanah (*landslides*) merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Hal ini terjadi karena tanah kehilangan kesetimbangan daya dukungnya dan akan terhenti jika telah mencapai kesetimbangan baru (Yulvi Zaika, 2011). Terzaghi (1950) membagi penyebab longsor lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Pengaruh dalam, yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar yaitu gempa bumi.

#### Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Gempa

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

$$F = \tau / \tau_d$$

Dimana :

$\tau$  = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

$\tau_d$  = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

$F$  = faktor keamanan

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan dan studi-studi yang menyeluruh tentang keruntuhan lereng, maka dibagi 3 kelompok rentang Faktor Keamanan (FS) ditinjau dari intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989), seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Menurut teori Mohr – Coulomb, tahanan geser ( $\tau$ ) yang dapat dikerahkan tanah sepanjang bidang longsonya dinyatakan :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

Dimana nilai  $c$  dan  $\phi$  adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsonya. Persamaan geser yang terjadi akibat beban tanah dan beban lain pada bidang longsonya :



$$\tau_d = c_d + \sigma tg\phi_d$$

Dengan  $c_d$  dan  $\phi_d$  adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsornya. Sehingga persamaan menjadi;

$$F = \frac{c + \sigma tg\phi}{c_d + \sigma tg\phi_d}$$

Atau :

$$c_d + \sigma tg\phi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{tg\phi}{F}$$

Dengan :

$$F_c = \frac{c}{c_d}$$

$$F_{\phi c} = \frac{tg\phi}{tg\phi_d}$$

#### Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa

Gempa bumi merupakan salah satu faktor penyebab longsor pada lereng karena gempa bumi menyebabkan getaran yang menimbulkan tekanan pada partikel-partikel mineral dan bidang lemah pada massa batuan dan tanah yang mengakibatkan longsor pada lereng. Hardiyatmo (2006) menjelaskan pengaruh yang ditimbulkan oleh gempa bumi terhadap lereng antara lain :

1. Liquefaction, yaitu kondisi dimana tekanan air pori sama dengan tekanan overburden sehingga sifat tanah seperti zat cair.
2. Perubahan tekanan air pori dan tegangan efektif dalam massa tanah.
3. Timbulnya retak-retak (cracks) yang dapat mereduksi kuat geser tanah.

#### Perhitungan Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Metode Irisan Konvensional

Untuk menjelaskan metode ini perhatikan kemiringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 menjadi uji coba permukaan. Perhatikan bahwa ABC adalah busur dari lingkaran dengan pusatnya dititik 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 :

$$T_r = \frac{1}{F_s} (c \cdot B_n \sec \alpha + N_r \tan \phi)$$

$$T_r = \frac{1}{F_s} (c B_n \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)$$

Sekarang ambil momen O untuk semua irisan :

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

Atau :

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

$K_h$  = koefisien gaya gempa horizontal

$W$  = luas tiap irisan

$C$  = kohesi

$R$  = jari-jari longsor

$h$  = tinggi rata-rata irisan

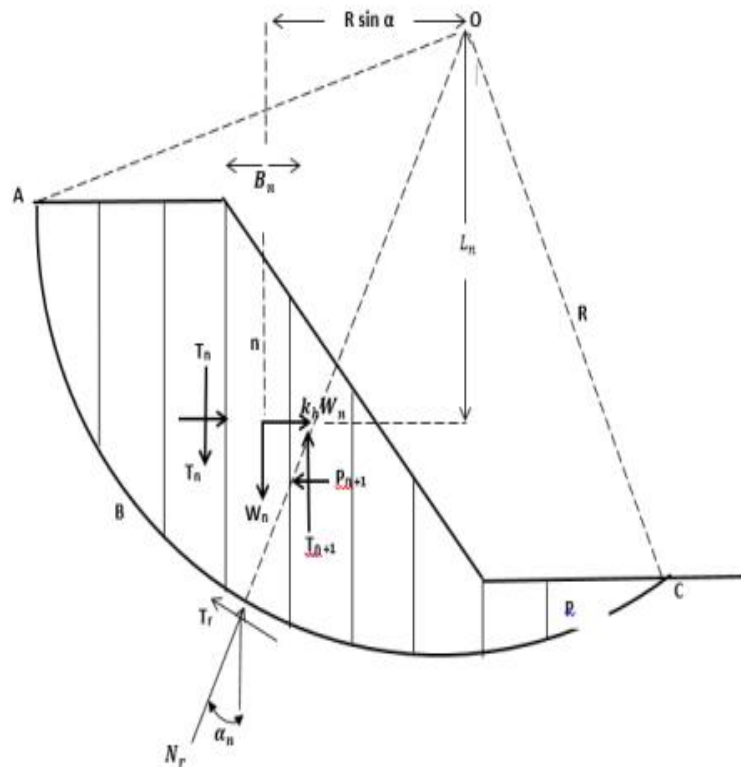
$b$  = lebar irisan

$x$  = jarak horizontal dari pusat massa irisan terhadap pusat moment

$\alpha$  = sudut kemiringan

Tabel 1. Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor

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



Gambar 5. Metode Irisan Konvensional

### Metode Elemen Hingga

*Finite element method* atau metode elemen hingga adalah metode analisa numerik yang banyak digunakan untuk perencanaan embung terutama untuk perhitungan stabilitas konstruksi dan penurunan. Adapun prinsip perhitungannya adalah memecahkan persoalan yang rumit atau sukar dengan cara membagi-baginya menjadi bagian-bagian yang kecil sehingga menjadi lebih sederhana untuk penyelesaian.

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. Ada beberapa jenis elemen yang dapat dipakai dan dipilih berdasarkan jenis struktur dan keperluannya. Secara garis besar elemen dapat dibagi menjadi:

1. Elemen satu dimensi
2. Elemen dua dimensi
3. Elemen selaput
4. Elemen tiga dimensi
5. Elemen simetris axial

Dalam materi skripsi ini digunakan elemen dua dimensi. Menurut bidang pembebanannya, maka elemen dua dimensi dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Elemen bidang, yaitu bila beban terletak pada elemen, sehingga peralihan terjadi pada bidangnya.
2. Elemen plat, yaitu bila beban tegak lurus bidang elemen (*face loading*), sehingga peralihan terjadi akan keluar bidang elemen.

Kelebihan metode ini dibandingkan metode limit equilibrium 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.

Perhitungan faktor keamanan dengan metode elemen hingga untuk analisis stabilitas menggunakan prosedur phi-c reduction. Dengan cara tersebut parameter kuat geser  $\tau$  dan  $c$  tanah dikurangi secara menerus sehingga keruntuhan pada struktur terjadi. Karena perhitungan yang dilakukan cukup banyak maka untuk mempercepat dibantu dengan komputer, program-program komputer komersial yang telah menerapkan FEM untuk analisis stabilitas antara lain PLAXIS dan SAGE-CRISP. Program komputer yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah PLAXIS.

### PLAXIS

Plaxis adalah paket program finite elemen untuk analisa dua dimensi dari deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Dengan program ini kita dapat mengetahui faktor keamanan dari suatu lereng. PLAXIS mulai dikembangkan sekitar tahun 1987 di technical university of delft atas inisiatif dari Dutch Departement of Public Works and Water Management.

Di dalam Plaxis pemodelan struktur geoteknik pada umumnya dapat dimodelkan menjadi regangan bidang (plane strain) atau model axi-simetri. Dalam pemodelan pada program Plaxis, digunakan 7 model perhitungan yaitu:

1. *Mohr-coulomb*
2. *Joint rock*
3. *Hardening soil*
4. *Hardening soil modell with small*
5. *Soft soil creep*
6. *Soft soil*
7. *Modified cam-clay*

Pada penelitian ini digunakan pemodelan *Mohr-coulomb* karena faktor keamanan hanya dapat dianalisa dengan model *Mohr-coulomb*. Pada pemodelan material *Mohr-coulomb* model terdapat 7 parameter yang perlu dimasukkan, yaitu :

1. Young Modulus(E).
2. Poisson's Ratio( $\nu$ ).
3. Sudut Geser( $\phi$ ).
4. Kohesi( $c$ ).
5.  $\gamma_{sat}$ .
6.  $\gamma_{unsat}$ .
7.  $k_{x,y}$ .

### 3. Metode Penelitian

1. Penelitian diawali dengan pengambilan sampel tanah yang terletak di ruas jalan gunung potong yang menghubungkan desa Noongan Langowan Kab.Minahasa dan desa Pangu Ratahan Kab.

Minahasa Tenggara. Lokasi pengambilan sampel tanah berada pada  $1^{\circ}06'05.5''U$   $124^{\circ}48'43.0''T$ .

2. Sampel tanah tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk diuji sesuai parameter tanah yang dibutuhkan pada program plaxis v8.2 dengan pemodelan *Mohr-Coulomb*.
3. Data-data yang dibutuhkan yaitu  $E$ ,  $\nu$ ,  $\phi$ ,  $c$ ,  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ ,  $k_{x,y}$ . Nilai young modulus ( $E$ ), Poisson ratio ( $\nu$ ), Permeabilitas ( $k_{x,y}$ ) didapat dengan mengetahui jenis tanah. Nilai  $c$ ,  $\phi$  dengan triaxial UU,  $\gamma_{unsat}$  dengan percobaan pemadatan tanah dan  $\gamma_{sat}$  dengan rumus 
$$\gamma_w (G_s + e) / (1 + e)$$

Berikut percobaan yang harus dilakukan untuk mendapatkan data- data yang dibutuhkan plaxis:

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 Pemadatan Tanah

### 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian di laboratorium dirangkum dalam Tabel 2. Berdasarkan dari data-data yang telah diketahui dan dimasukkan ke program plaxis v8.2, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

➤ Tanah A:

- $\gamma_{sat}$  21.2 KN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{unsat}$  13.21 KN/m<sup>3</sup>
- $k_{x,y}$  10E+5 m/day
- $\nu$  0.3
- $c$  12.9 KN/m<sup>2</sup>
- $\phi$  1.1°

➤ Tanah B:

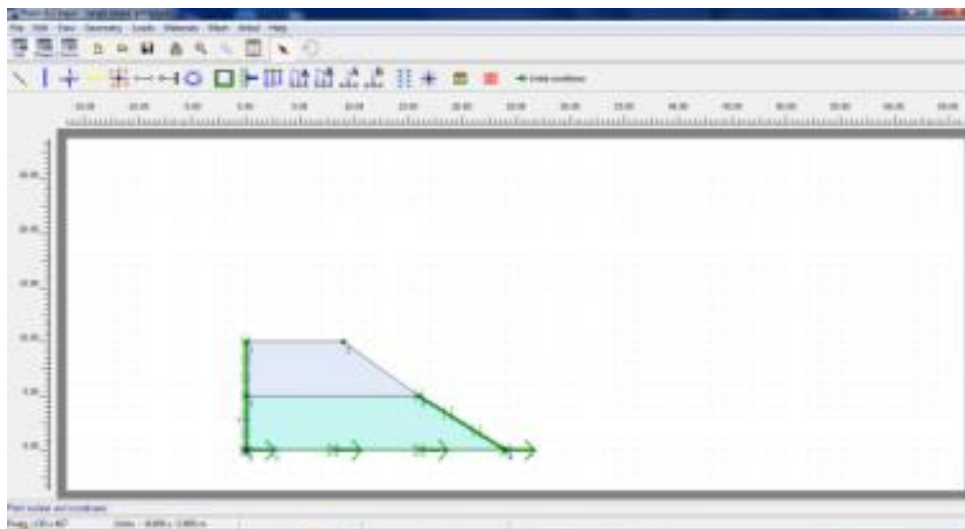
- $\gamma_{sat}$  28.04 KN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{unsat}$  14.46 KN/m<sup>3</sup>
- $k_{x,y}$  10E+5 m/day
- $\nu$  0.3
- $c$  10.5 KN/m<sup>2</sup>
- $\phi$  5°

Pemodelan lereng dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 6. Untuk perhitungan kestabilan lereng tanpa pengaruh gempa, diperoleh hasil bahwa lereng dalam kondisi kritis karena faktor keamanan adalah 1,0174 atau 1 (Gambar 7). Perhitungan dengan pengaruh gempa dilakukan dengan variasi frekuensi gempa dan amplitudo (Tabel 3). Hubungan antara frekuensi dan faktor keamanan menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi gempa maka semakin kecil faktor keamanan lereng (Gambar 8).

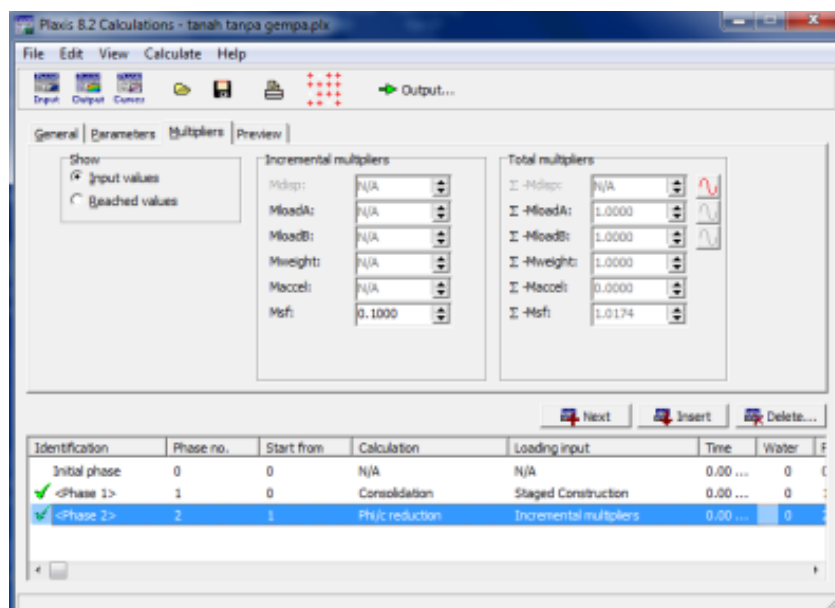


Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah di Laboratorium

Karakteristik	Titik A	Titik B
1. Kadar air tanah kering udara ( $\omega$ )	12.49%	10.41%
2. Berat Jenis ( $G_s$ )	2.88	2.52
3. Batas Cair (LL)	64.8%	66.8%
4. Batas Plastis (PL)	56.73%	42.28%
5. Indeks Plastis (IP)	8.07%	24.52%
6. Lolos Saringan no.200	50.523%	50.871%
7. Gamma dry ( $\gamma_{unsat}$ )	1.09 KN/m <sup>3</sup>	1.13 KN/m <sup>3</sup>
8. Kohesi (c)	12.9 KN/m <sup>2</sup>	10.5 KN/m <sup>2</sup>
9. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	1.1°	5°



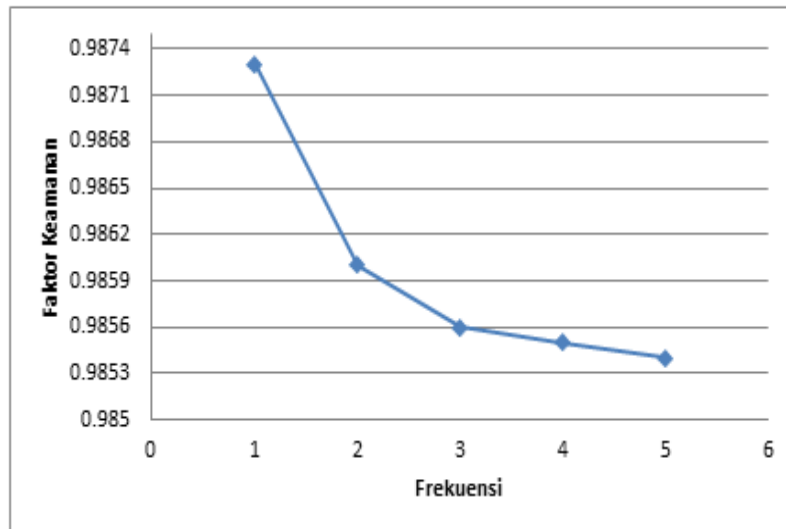
Gambar 6. Pemodelan Lereng



Gambar 7. Hasil Perhitungan Kestabilan Lereng dengan PLAXIS Tanpa Pengaruh Gempa

Tabel 3. Hubungan Frekuensi dan Faktor Keamanan

Frekuensi Gempa (Hz)	SF
1	0.9873
2	0.9860
3	0.9856
4	0.9859
5	0.9855
Rata-rata	0.9860



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Frekuensi dan Faktor Keamanan

Perhitungan dengan menggunakan Metode Irisan Konvensional dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* MS. Excell. Prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Buat sketsa lereng berdasarkan data penampang lereng.
2. Dibuat sayatan – sayatan vertikal sampai batas bidang gelincir.
3. Membuat tabel di *Excel* untuk mempermudah perhitungan.
4. Ukur pada masing – masing sayatan L, h dan x serta sudut  $\alpha$  masing – masing bidang gelincir
5. Hitung luas pada masing – masing sayatan,  $\sin \alpha$ ,  $\cos \alpha$ ,  $W$ (= luas dikali  $\gamma$ ),  $(W \sin \alpha)$  dan  $(W \cos \alpha)$
6. Jumlahkan / Hasil penjumlahan = L.
7. Langkah selanjutnya:
  - a. Jumlahkan  $(W \cos \alpha)$  pada semua sayatan
  - b. Jumlahkan  $(W \sin \alpha)$  pada semua sayatan
  - c. Hitung  $\tan \alpha$
8. Masukkan nilai-nilai tadi ke dalam rumus irisan konvensional.

Hasil perhitungan dengan menggunakan Metode Irisan Konvensional ditampilkan pada Tabel 4. Nilai  $K_h$  ditentukan dengan cara coba-coba untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Hubungan antara faktor keamanan dan  $K_h$  ditampilkan pada grafik Gambar 9. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $K_h$  maka semakin kecil faktor keamanannya. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan tidak aman karena kurang dari 1 dan hasilnya hampir sama dengan perhitungan Plaxis yaitu 0.988 untuk nilai  $K_h$  0.145.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

1. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa gempa menunjukkan kondisi lereng kritis karena faktor keamanannya atau *Safety Factor* (SF) yaitu 1.01714.
2. Hasil analisis stabilitas lereng dengan frekuensi gempa antara 1 Hz sampai dengan 5 Hz menunjukkan SF rata-rata 0.98606 yang berarti lereng tidak aman atau bahaya terhadap gempa.

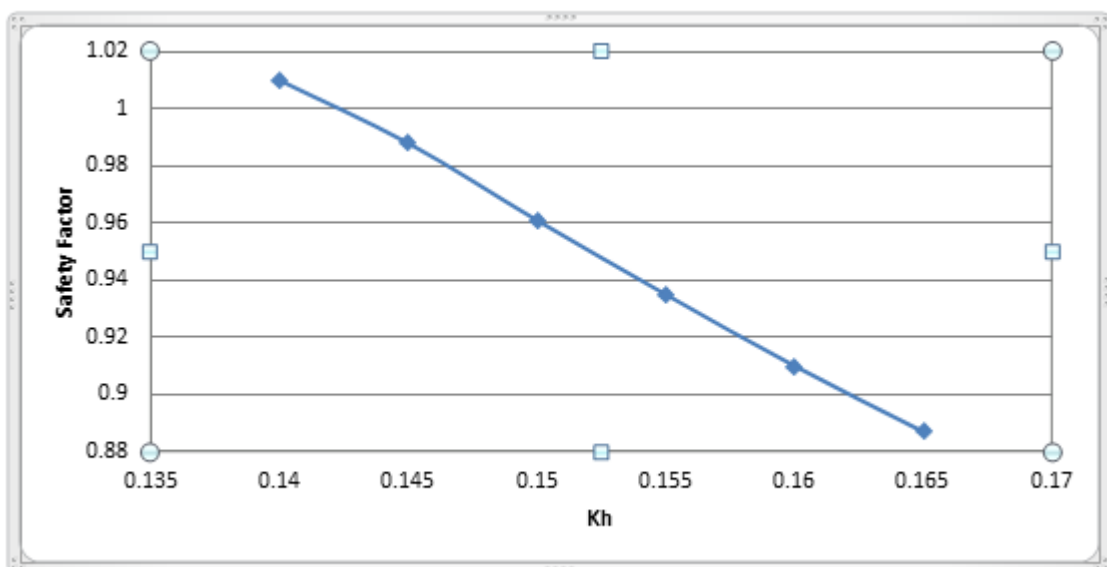
3. Semakin besar frekuensi gempa maka semakin kecil faktor keamanan lereng. Hasil perhitungan manual menggunakan metode irisan konvensional yaitu 0.988 yang hanya berbeda 0.002 dari perhitungan Plaxis juga menunjukkan bahwa lereng tidak aman.
4. Dari perhitungan manual didapat bahwa semakin besar nilai Kh maka, semakin kecil faktor keamanannya.

*Saran*

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai analisis stabilitas lereng akibat gempa terhadap SF terutama untuk cara penanggulangannya.
2. Perlu ditambahkan penelitian dengan adanya pengaruh muka air tanah pada lereng.
3. Menghitung dan membandingkan pengaruh beban gempa dengan menggunakan program komputer lainnya.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Metode Irisan Konvensional

No Slice	L	x	H	Luas	$\alpha$	W	$W \sin \alpha$	$W \cos \alpha$	R	L/R	B sec $\alpha$
1	2.4	2.4	2.20	2.640	0	55.968	0	55.968	2	1.2	2
2	2	1.9	3.90	5.800	3	122.96	6.43522918	122.7914876	2	1	2.002
3	1.2	1.2	4.80	5.220	5	110.664	9.645003115	110.2428901	2	0.6	2.007
4	2	2	6.20	11.000	10	233.2	40.49475503	229.657168	2	1	2.031
5	2.1	2.1	7.60	14.490	17	307.188	89.81307923	293.7653454	2	1.05	2.091
6	0.9	0.9	8.20	7.110	23	150.732	58.89568446	138.7495376	2	0.45	2.172
7	1.1	1	7.70	7.950	24	168.54	68.55139382	153.9689514	2	0.55	2.189
8	2	1.8	6.80	13.050	25	276.66	116.9215683	250.7391124	2	1	2.206
9	2	1.7	5.70	10.630	32	225.356	119.4204857	191.1127268	2	1	2.358
10	2	1.65	4.50	8.420	36	178.504	104.9220187	144.4127696	2	1	2.472
11	2.1	1.6	3.00	6.000	42	127.2	85.11341313	94.5280218	2	1.05	2.691
12	4	2.7	0.00	4.050	47	85.86	62.79402882	58.55637919	2	2	2.932
$\Sigma =$	23.8					2042.832	763.0066595	1844.49239		11.9	27.151



Gambar 9. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dan Nilai Kh

DAFTAR PUSTAKA

- Alzan. 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.
- Hardiyatmo H.C, 2012, *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Hardiyatmo H.C, 2010, *Mekanika Tanah 2*, Penerbit Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Hasmar Halim H.A, 2013, *Dinamika Tanah & Rekayasa Kegempaan*, Penerbit Ull Press, Yogyakarta.
- Herman. *Bahan Ajar – Mekanika Tanah II*, Jakarta.
- Martha Ramdhani. 2016, *Analisis Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Morgenstern Price (1965) (Studi Kasus : Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri)*, Surakarta : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Pintor Tua Simatupang. 2011, *Pengaruh Arah Beban Gempa Pada Stabilitas Lereng*, Confrence Paper, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Widodo H. MSCE, Ph.D, *Respons Dinamik Struktur Elastik*, Penerbit Ull Press, Yogyakarta.
- ....., *Panduan Praktikum mekanika tanah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi*