



## HUBUNGAN NILAI KOEFISIEN GEMPA HORIZONTAL ( $K_h$ ) DENGAN NILAI SAFETY FACTOR (FS) DAERAH CILENGKRANG, JAWA BARAT

Arif Fakhruddin Shobari<sup>1\*</sup>, Iqbal Jabbari Mufti<sup>1</sup>, Nur Khoirullah<sup>1</sup>, Zufialdi Zakaria<sup>1</sup>, Raden Irvan Sophian<sup>1</sup>, Agung Mulyo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

\*ariffakhruddinshobari@gmail.com

### ABSTRAK

Lokasi daerah penelitian memiliki morfologi perbukitan dan pegunungan yang didominasi lereng agak curam hingga curam sehingga memiliki potensi terjadinya bencana longsor. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh beban gempa terhadap kestabilan lereng dan perbedaan nilai faktor keamanan lereng hasil uji triaksial dan geser langsung. Sampel tanah yang digunakan merupakan sampel tanah tak terganggu. Analisis Kestabilan lereng dilakukan pada kondisi *static* dan *pseudostatic* dengan metode *limit equilibrium* menggunakan *software* Slide V.06. Hasil penelitian didapatkan 1 jenis tanah, yaitu tanah berjenis lanau plasisitas tinggi (MH). Hasil simulasi pada kondisi *static* menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki lereng yang labil - kritis pada Profil A-B dan C-D, sedangkan Profil E-F dalam keadaan stabil. Saat diberikan nilai koefisien gempa horizontal ( $K_h$ ) pada lereng tersebut terjadi penurunan nilai FS yang cukup signifikan dan menjadi tidak stabil karena memiliki nilai  $FS < 1,07$ . Beban gempa akan mengurangi nilai FS, hal ini dimungkinkan karena gaya *pseudostatic* yang diasumsikan bergerak keluar arah lereng yang mempengaruhi tekanan air pori dan tegangan geser. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *direct shear* memberikan nilai FS lebih besar dibandingkan nilai *triaxial*.

### ABSTRACT

The location of the research area has a morphology of hills and mountains dominated by a steep slope to steep so it has the potential for landslide disaster. This research was conducted to find out the influence of seismic load on slope stability and different values of a safety factor of slopes of triaxial and direct shear test results. The soil samples used were undisturbed soil samples. Slope stability analysis is done on static and pseudostatic conditions with Limit Equilibrium method using Slide V.06 software. The result of research got 2 type of soil that is soil type of high plasticity silt (MH). Simulation results on static conditions indicate that the research area has an unstable slope - critical in Profiles A-B and C-D, while the E-F profile is stable. When given the value of horizontal seismic coefficient ( $K_h$ ) on the slope there is a significant decrease in FS value and become unstable because it has a value of  $FS < 1.07$ . Seismic loads will reduce the FS value, this is possible because the pseudostatic force is assumed to move out of the slope direction that affects the pore water pressure and the shear stress. The simulation result shows that the direct shear value gives FS value greater than the triaxial value.

**Keywords:** Landslide; Seismic Load; Safety Factor; Slope Stability; Direct Shear; Triaxial

### 1. PENDAHULUAN

Beberapa daerah di Wilayah Bandung bagian utara hingga timur merupakan wilayah yang memiliki morfologi perbukitan dan pegunungan dengan didominasi lereng agak curam hingga curam, sehingga memiliki potensi terjadinya

gerakan tanah (Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah oleh PVMBG).

Secara administratif lokasi penelitian berada di Desa Pasirwangi, Kecamatan Cilengkrang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Lokasi penelitian memiliki kemiringan lereng yang cukup curam dan

rawan terjadi bencana longsor. Dibeberapa titik didapatkan adanya retakan disepanjang bahu jalan yang mengarah keluar lereng, terdapat retakan – retakan pada bangunan, juga terdapat pohon-pohon besar yang berada dalam posisi miring keluar arah lereng akibat pembebanan. Pada tubuh lereng dibagian tengah didapatkan 3 titik mata air secara tersebar yang berada pada titik ketinggian yang sama. Lokasi mata air ini digunakan warga sebagai sumber air bersih. Melihat kondisi tersebut penelitian ini penting untuk keperluan mitigasi bencana.

Objek dalam penelitian ini berupa material tanah penyusun tubuh lereng, profil lereng, dan percepatan gempa dipermukaan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanika tanah, percepatan gempa dipermukaan, pengaruh beban gempa terhadap kestabilan lereng, dan perbedaan nilai faktor keamanan lereng hasil uji triaksial dan uji geser langsung (*direct shear*) daerah penelitian.

Das (1995) mendefinisikan bahwa lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak terlindungi. Beda tinggi ini menghasilkan komponen gravitasi yang cenderung menggerakkan massa tanah menuju ke permukaan yang lebih rendah (Raifah, 2016). Berdasarkan jenisnya lereng dibagi menjadi 2 (dua) yaitu lereng alami dan lereng buatan. Penyebab lereng rawan longsor ini dapat terjadi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Secara internal, faktor yang dapat mempengaruhi longsor adalah dari kondisi material penyusun lereng tersebut. Menurut Brunsden (1993, dalam Dikau *et.al.*, 1996; Zakaria, 2009), faktor eksternal yang mempengaruhi lereng rawan longsor terdiri dari pelapukan (fisika, kimia, dan biologi) dan erosi; penurunan tanah; deposisi (fluvial, glasial, dan gerakan tanah); getaran dan aktivitas seismik (gempa); jatuhnya tepra; perubahan rejim air.

Kemiringan lereng juga menjadi salah satu parameter penting sebagai pemicu tanah

longsor. Semakin besar sudut lereng maka semakin besar pula daya dorong akibat meningkatnya tegangan geser yang berbanding terbalik dengan tegangan normal (gaya penahan). Selain itu juga beban dinamis berupa gempa berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Getaran gempa ini pertama kali akan berdampak pada lapisan batuan dan tanah dipermukaan bumi. Getaran gempa akan disebarkan ke segala penjuru dipermukaan bumi dan menyebabkan suatu kondisi geologi dan tanah akan memberikan respon akibat beban dinamis tersebut. Beban yang diberikan oleh gempa akan menyebabkan perubahan pada tekanan pori dan tegangan efektif dalam massa tanah juga timbulnya retak-retak vertikal yang dapat mereduksi kuat geser tanah. Dibeberapa kasus untuk tanah yang memiliki ukuran butir pasir besar kemungkinan mengalami likuifaksi. Nilai yang akan mempengaruhi nilai kestabilan lereng adalah koefisien gempa horizontal (Kh).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Geologi Teknik Regional

Berdasarkan peta geologi teknik (Djadja dan Hermawan, 1996) skala 1:100.000 Lembar Bandung (1209-3), daerah penelitian termasuk kedalam satuan Lempung Lanauan dan Lanau Pasiran (R(mc)(cm)) dan Satuan Breksi dan Lahar (BX,LH). Dilihat berdasarkan penampang geologi teknik, satuan Breksi dan Lahar diendapkan terlebih dahulu dibandingkan Satuan Lempung Lanauan dan Lanau Pasiran.

### 2.2. Sifat Mekanika Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Tanah dapat dibedakan dalam dua kelompok besar, yang

berasal dari pelapukan (fisika dan kimia) dan yang berasal dari bahan organik. Tanah hasil lapukan secara genesis dikenal dengan tanah jenis residual dan transported (Zakaria, 2010). Tanah Residu (*Residual Soil*) merupakan tanah hasil pelapukan yang masih berada ditempatnya dan belum mengalami transportasi. *Transported Soil* merupakan tanah hasil lapukan yang telah mengalami proses transportasi dengan media angin atau air.

Berdasarkan klasifikasi yang dibuat oleh *Unified Soil Classification System* (USCS) tanah terbagi menjadi jenis tanah berbutir halus dan berbutir kasar. Tanah berbutir halus terbagi berdasarkan ukuran dan sifat plastisitasnya. Berdasarkan ukurannya tanah halus terbagi menjadi tanah lempung dan lanau. Berdasarkan sifatnya tanah halus terbagi menjadi tanah plastisitas tinggi dan rendah. Tanah berbutir kasar terbagi berdasarkan ukuran dan sifat gradasinya. Berdasarkan ukurannya tanah kasar terbagi menjadi tanah pasir dan kerikil. Berdasarkan sifat gradasinya tanah kasar terbagi menjadi tanah bergradasi baik dan bergradasi buruk.

Sifat fisik tanah merupakan sifat tanah yang berhubungan dengan bentuk atau kondisi tanah asli, yang termasuk diantaranya adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), kadar air (*moisture content*), bobot isi (*unit weight*), berat jenis (*specific gravity*), distribusi ukuran butir, dan batas atterberg tanah. Sifat mekanik tanah merupakan sifat tanah yang diperoleh dengan cara mekanik dengan menggunakan gaya atau tekanan pada sampel tersebut, yang termasuk diantaranya adalah kohesi (*cohesion*) dan sudut geser dalam (*angle of friction*).

### 2.3. Gerakan Tanah

Gerakan tanah pada umumnya dapat terjadi karena kestabilan lereng berkurang akibat degradasi tanah, yaitu menurunnya sifat keteknikan tanah baik oleh faktor alam seperti meningkatnya curah hujan, adanya

pelapukan atau akibat aktivitas manusia (Khori Sugianti, 2013). Gerakan tanah terjadi setelah berlangsungnya perubahan keseimbangan fisik pada daerah tersebut menuju kondisi yang lebih stabil.

Jenis gerakan tanah berdasarkan Hoek and Bray (1981), secara umum membagi longsor menjadi 4 jenis berdasarkan tipe pergerakannya, yaitu Longsor Bidang (*Plane Failure*), Longsor Baji (*Wedge Failure*), Longsor Guling (*Toppling Failure*), Longsor Busur (*Circular Failure*). Pada umumnya jenis longsor yang terjadi pada lereng yang tersusun atas material tanah berupa longsor busur.

### 2.4. Kestabilan Lereng

Dalam Zakaria (2011), lereng yang alami ataupun lereng buatan memiliki nilai kestabilan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gaya penahan dan gaya penggerak yang bekerja dalam kesetabilan lereng tersebut. Pada prinsipnya, ketika gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut akan stabil, hukum sebaliknya berlaku pada lereng akan mengakibatkan longsor. Untuk menyatakan nilai (tingkat) kestabilan suatu lereng dikenal apa yang disebut dengan nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*), yang merupakan hasil perbandingan antara besarnya gaya penahan terhadap gaya penggerak longsor, dan dinyatakan sebagai berikut:

$$FS = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}} \dots (\text{persamaan 2.1})$$

Faktor keamanan (FS) lereng dapat dihitung dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah dengan metoda sayatan (*Slice method*). Bowles (1991, dalam Zakaria 2011) mengklasifikasikan nilai faktor keamanan menjadi tiga tingkatan sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Klasifikasi longsor Bowles (1991, dalam Zakaria, 2011)

Nilai Faktor Keamanan	Keterangan	Kelas Lereng
FS < 1,07	Longsor sering terjadi	Labil
1,07 < FS < 1,25	Longsor pernah terjadi	Kritis
FS > 1,25	Longsor jarang terjadi	Stabil

Analisis kestabilan lereng pada umumnya berdasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*) (Hardiyatmo, 2007). Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari suatu lereng. Dengan mengetahui nilai faktor keamanan lereng membantu untuk memastikan apakah tubuh suatu lereng mempunyai risiko longsor atau stabil.

**Analisis Kestabilan Lereng**

Analisis kestabilan lereng dapat dilakukan dalam keadaan *static* dan *pseudostatic*. Analisis *static* dilakukan dengan tanpa mempertimbangkan faktor gangguan lainnya. Dalam menentukan nilai faktor keamanan diketahui sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau dengan persamaan sebagai berikut :

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \dots (\text{Persamaan 2.2})$$

Dimana :  
 FS = angka keamanan;  $\tau_f$  = tahanan geser maksimum dari tanah;  $\tau_d$  = tegangan geser tanah yang terjadi akibat gaya berat tanah; C = kohesi tanah  $\phi$  = sudut geser dalam.

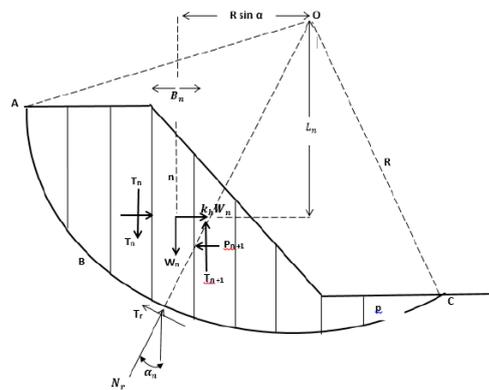
Metode Bishop yang disederhanakan diperkenalkan oleh Bishop pada tahun 1955. Dalam metode ini, pengaruh gaya-gaya yang bekerja pada setiap sisi tepi irisan diperhitungkan. Sedangkan gaya geser antar irisan tidak diperhitungkan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai faktor keamanan:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + (W_n)(1 - ru) \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha_n} \frac{1}{\cos \alpha_n (1 + \tan \alpha_n \tan \phi / F)}$$

..... (persamaan 2.8)

Dimana : c = nilai kohesi; b = lebar irisan; W = adalah berat irisan tanah;  $\phi$  = sudut geser dalam;  $\alpha$  = sudut kemiringan lereng.

Analisis *Pseudostatic* dilakukan dengan mempertimbangkan aspek getaran, dalam penelitian ini adalah gempa. Terzaghi (1950) telah memperkenalkan aplikasi dari metode pseudostatik. Dalam menjelaskan metode ini dapat diperhatikan dari gambar berikut.



**Gambar 1.** Kelongsoran Lereng Dengan Nilai Koefisien Gempa (dalam Rekzyanti, 2016)

Dalam melakukan analisis kestabilan lereng dengan metode *pseudostatic* diperlukan suatu koefisien *pseudostatic* atau koefisien gempa horizontal (Kh).

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

.....(Persamaan 2.12)

Dimana : Kh = koefisien 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 momen;  $\alpha$  = sudut kemiringan.

Dalam melakukan analisis kestabilan lereng dengan metode *pseudostatic* diperlukan suatu koefisien *pseudostatic* atau koefisien gempa horizontal ( $K_h$ ). Koefisien gempa horizontal ini akan mengontrol gaya *pseudostatic* yang bekerja pada tanah. Berdasarkan analisis Newmark dalam Hoek and Bray (1981), dengan percepatan hasil  $K_h$  sama dengan 50% dari PGA (yaitu  $K_h = 0,5 \cdot a_{max}/g$ ) menunjukkan bahwa perpindahan seismic akan kurang dari 1 m (Hynes dan franklin, 1984). Berdasarkan hal tersebut maka Departemen Pertambangan dan Geologi California (CDMG, 1997) menyatakan nilai koefisien seismic ( $K_h$ ) diperoleh dengan persamaan berikut:

$$K_h = 0,5 \frac{a_d}{g} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.13})$$

Dimana :  $K_h$  = koefisien gempa horizontal;  $a_d$  = percepatan gempa terkoreksi (gal);  $g$  = gal

## 2.5. Beban Gempa

Gempa Bumi merupakan getaran yang merambat pada permukaan bumi. Gempa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dengan meningkatkan nilai gaya penggerakannya. Getaran yang diakibatkan oleh gempa akan mempengaruhi tekanan air pori dan tegangan efektif dalam tanah. Perpindahan tanah selama gempa bumi menyebabkan momen inersia yang besar pada lereng. Amplitudo gelombang diukur dengan *peak ground acceleration* (PGA). PGA bekerja dalam dua arah, yaitu arah vertical yang disebut *peak vertical acceleration* (PVA) dan arah horizontal yang disebut *peak horizontal acceleration* (PHA) (Kramer, 1996). Guncangan gempa yang sampai ke permukaan tanah pada umumnya akan mengalami pembesaran atau amplifikasi. Pada umumnya besar amplifikasi dipermukaan tanah dapat ditentukan dengan melakukan analisis respon spesifik (*Site-Specific Response Analysis*), yaitu dengan melakukan perambatan gelombang dari batuan dasar kepermukaan.

## Klasifikasi Site

Ketebalan lapisan tanah ditentukan 30 m dan minimal terdapat dua jenis yang berbeda dalam penyelidikan

**Tabel 2.2** Klasifikasi *site* didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10)

Keterangan : N/A = tidak dapat dipakai

Ketebalan lapisan tanah ditentukan 30 m dan minimal terdapat dua jenis yang berbeda dalam penyelidikan			
Klasifikasi Site	$\overline{V_s}$ (m/dt)	$\overline{N}$	$\overline{S_u}$ (kPa)
<b>A. Batuan Keras</b>	$\overline{V_s} > 1500$	N/A	N/A
<b>B. Batuan</b>	$750 < \overline{V_s} < 1500$	N/A	N/A
<b>C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak</b>	$350 < \overline{V_s} < 750$	$\overline{N} > 50$	$\overline{S_u} > 100$
<b>D. Tanah Sedang</b>	$175 < \overline{V_s} < 350$	$15 < \overline{N} < 50$	$50 < \overline{S_u} < 100$
<b>E. Tanah Lunak</b>	$\overline{V_s} < 175$	$\overline{N} < 15$	$\overline{S_u} < 50$
<b>F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (Site-Specific Response Analysis)</b>	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air (<math>w</math>) <math>&gt; 40\%</math>, dan</li> <li>3. Kuat geser tak terdrainase <math>S_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol> Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan <math>&gt; 3</math>m)</li> <li>- Plastisitas tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7.5</math>m dengan <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math>m</li> </ul>		

Dalam Tabel 2.5,  $V_s$ ,  $N$ , dan  $S_u$  adalah nilai rata-rata dan harus dihitung menurut persamaan-persamaan berikut :

$$\overline{V_s} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \frac{t_i}{v_{si}}} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.14})$$

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \frac{t_i}{N_i}} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.15})$$

$$\overline{S_u} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \frac{t_i}{S_{ui}}} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.16})$$

dimana :

$t_i$  = tebal lapisan tanah ke-i antara kedalaman 0 sampai 30 m.

$v_{si}$  = kecepatan rambat gelombang geser pada lapisan tanah ke-i dalam satuan m/detik.

$N_i$  = nilai hasil Uji Penetrasi Standar (SPT) lapisan tanah ke-i.

$S_{ui}$  = kuat geser undrained (tak terdrainase) lapisan tanah ke-i.

$m$  = jumlah lapisan tanah yang ada antara kedalaman 0 sampai 30 m.

$$\sum_{i=1}^m t_i = 30 \text{ m.}$$

**Penentuan Percepatan Puncak di Permukaan Tanah**

Untuk mendapatkan nilai percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA yang diperoleh dari Gambar 3, Gambar 6, atau Gambar 9 (peta sebaran gempa oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010). Besarnya FPGA tergantung dari klasifikasi site yang didasarkan pada Tabel 2.2 dan nilainya ditentukan sesuai Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) ASCE 7-10)

Klasifikasi Site (Sesuai tabel 2.5)	SPGA				
	PGA $\leq 0.1$	PGA = 0.2	PGA = 0.3	PGA = 0.4	PGA $\geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Tanah Sedang	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Tanah Lunak	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Tanah Khusus	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan:

SPGA = Nilai PGA di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 3, Gambar 6, atau Gambar 9).

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon Spesifik.

Percepatan puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PGAM = FPGA \times SPGA \quad \text{(persaman 2.17)}$$

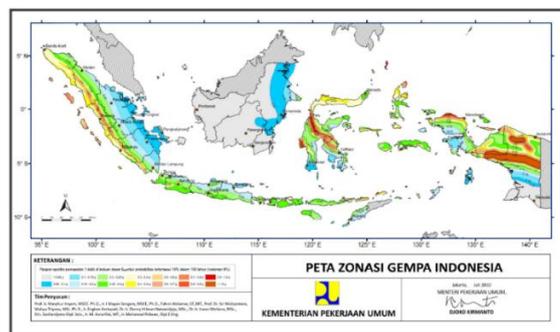
dimana:

PGAM = nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi site.

FPGA = faktor amplifikasi untuk PGA



**Gambar 3.** Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S1) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



**Gambar 6.** Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S1) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun



**Gambar 9.** Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S1) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

## 2.6. Uji Triaksial (*Triaxial*) dan Uji Geser Langsung (*Direct Shear*)

Untuk mendapatkan nilai mekanik dari tanah, yaitu nilai kohesi dan sudut geser dalam bisa diperoleh dengan menggunakan uji triaksial dan uji geser langsung.

### Uji Triaksial

Pengujian triaksial merupakan salah satu uji yang bisa dilakukan untuk menentukan parameter tegangan geser. Uji ini dilakukan terhadap sampel-sampel tanah berbentuk silinder yang dibungkus dengan membrane yang fleksibel (karet tipis). Ada tiga jenis tipe uji pada uji triaksial ini, yaitu : *Consolidated-drained test* atau *drainde test* (CD test), *Consolidated-undrained test* (CU test), dan *Unconsolidated - undrained test* atau *undrainded test* (UU test).

### Uji Geser Langsung

Uji geser langsung merupakan pengujian parameter kuat geser tanah yang cukup mudah dan sederhana. Pada uji geser langsung ini bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara tegangan geser terkendali dimana penambahan gaya geser dibuat konstan dan diatur. Cara lainnya dengan regangan terkendali dimana kecepatan geser yang diatur.

### 3. METODE

Dalam penelitian ini untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik tanah diperoleh dari sampel tanah tak terganggu (*Undisturb Sampel*) hasil pengeboran manual (*Handauger*). Pengeboran dilakukan di dua lokasi yang berbeda, yaitu pada stasiun CL-04 dibagian atas lereng dan pada stasiun CL-AKL dibagian tengah tubuh lereng. Tanah yang telah diperoleh selanjutnya dikeluarkan dari tabung menggunakan alat ekstruder untuk dilakukan uji laboratorium yaitu sifat fisik tanah. Untuk mendapatkan sifat mekanik

(Kh). Analisis Kestabilan lereng dilakukan pada kondisi *static* dan *pesudostatic* dengan metode Bishop menggunakan *software Slide V.06*. Tanah diasumsikan memiliki kedalaman muka air tanah paling dangkal sedalam 5 m berdasarkan kondisi MAT regional. Dalam analisis statistik dilakukan tes regresi linier dan korelasi untuk mengetahui hubungan antara nilai faktor keamanan dan beban gempa (koefisien gempa horizontal).

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### Perhitungan Percepatan Gempa (PGAM)

Perhitungan percepatan gempa (PGA) dipermukaan didasari pada standar yang dikeluarkan oleh Kementrian Pekerjaan Umum pada Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Kedalaman pemboran tangan dari 1,43-1,60 m. Tebal lapisan tanah dari setiap pemboran diasumsikan setebal 3 meter. Hasil perhitungan beban gempa disajikan dalam tabel 4.2 dan 4.3.

**Tabel 4.2.** Hasil penentuan klasifikasi Site (ASCE 7-10)

No	Kode Sampel	Kedalaman Pemboran (m)	t (m)	Jumlah lapisan	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kPa)	t/Su	$\bar{S}_u$ (kPa)	Klasifikasi Site
1	UDS-04	1.60	3.00	1.00	0.52	50.99	0.06		
2	UDS-014	1.43	3.00	1.00	0.36	35.30	0.08	41.72	Tanah Lunak
Jumlah			6.00	2.00	0.88	86.30	0.14		

tanah dengan melakukan uji *Direct Shear* dan *Triaxial* (UU). Pengambilan data profil lereng dilakukan dengan menggunakan metode kompas dan *Jacob Staff*, selanjutnya dibuat model dengan menggunakan *software*. Profil lereng terbagi menjadi 3 profil, yaitu profil A-B, profil C-D, dan profil E-F. Untuk mendapatkan beban gempa diperoleh dari hasil perhitungan pada Peta Gempa Indonesia 2010 yang dikeluarkan oleh Kementrian Pembangunan Umum berupa nilai PGAM. Nilai PGAM yang didapatkan selanjutnya dibuat variasi besaran percepatan yang berbeda dan dihitung nilai koefisien gempa horizontal

**Tabel 4.3.** Hasil perhitungan nilai amplifikasi (FPGA) dan percepatan gempa dipuncak permukaan (PGAM) (ASCE 7-10)

No	SPGA	Klasifikasi Site	FPGA (g)	PGAM (g)
1	0.25	Tanah Lunak	1.70	0.43
2	0.30		1.20	0.36
3	0.40		0.90	0.36

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.3, maka daerah penelitian didapatkan nilai SPGA, FPGA dan PGAM sebanyak masing - masing 3 nilai. Nilai SPGA terbesar

yaitu 0,40 g dan nilai SPGA terkecil yaitu 0,40. Nilai FPGA terbesar yaitu 0,25 g dan nilai FPGA terkecil sebesar 0,40 g. Nilai PGAM terbesar yaitu 0,43 g dan nilai PGAM terkecil yaitu 0,36 g. Setelah mendapatkan nilai PGAM daerah penelitian, dibuat variasinya menjadi 0,25 g, 0,30 g, 0,36 g, 0,43 g, dan 0,45 g yang dimasukkan kedalam perhitungan kestabilan lereng agar dapat terlihat besar pengaruh beban gempa terhadap nilai FS.

Goncangan gempa yang terjadi akan menyebabkan getaran yang merambat pada lapisan batuan dan tanah. Perambatan gelombang gempa dari batuan dasar menuju permukaan tanah akan menyebabkan perubahan guncangan gempa

### Analisis Kestabilan Lereng

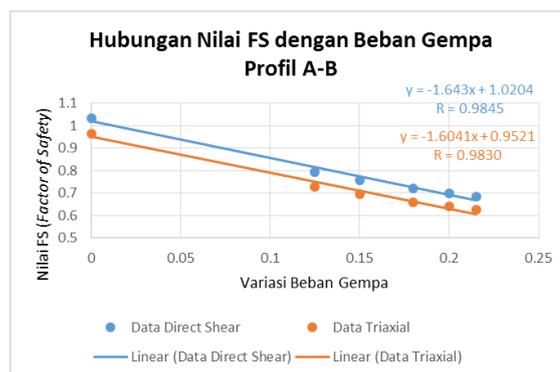
Dalam melakukan analisis kestabilan lereng menggunakan *software Slide V.60* diperlukan desain lereng dan data sifat fisik dan mekanik tanah, yaitu nilai kohesi (c), sudut geser dalam ( $\phi$ ), dan bobot isi tanah ( $\gamma$ ). Hasil analisis kestabilan lereng didapatkan nilai FS dalam kondisi natural (*static*) dan kondisi dengan beban gempa (*pseudostatic*) yaitu koefisien gempa horizontal (Kh). Hasil dari simulasi kestabilan lereng disajikan dalam tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Nilai Faktor Keamanan Lereng Dengan Faktor - Faktor Yang Mempengaruhinya

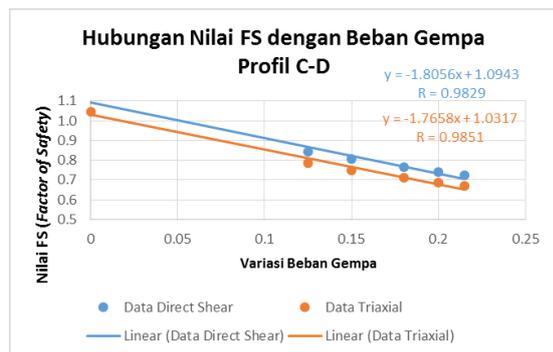
No	Kondisi	Profil Lereng A-B		Profil Lereng C-D		Profil Lereng E-F		
		Kemiringan Lereng/Overall 20°		Kemiringan Lereng/Overall 18°		Kemiringan Lereng/Overall 17°		
		Nilai FS		Nilai FS		Nilai FS		
PGA (g)	Kh	Direct Shear	Triaxial	Direct Shear	Triaxial	Direct Shear	Triaxial	
1	Natural		1.034	0.966	1.110	1.046	1.526	1.422
2	0.25	0.125	0.793	0.729	0.843	0.788	1.104	1.017
3	0.30	0.150	0.759	0.696	0.806	0.751	1.049	0.964
4	0.36	0.180	0.722	0.661	0.767	0.711	0.991	0.906
5	0.40	0.200	0.700	0.640	0.743	0.687	0.957	0.872
6	0.43	0.215	0.685	0.625	0.726	0.671	0.932	0.848

Berdasarkan nilai FS hasil simulasi pada tabel 4.4 diperoleh bahwa dalam kondisi natural profil lereng A-B dan C-D termasuk kedalam lereng yang rentan terhadap kejadian bencana longsor karena berdasarkan nilai FS yang didapatkan, lereng tersebut termasuk kedalam klasifikasi lereng yang kritis hingga labil (Bowles, 1991). Profil lereng E-F termasuk kedalam lereng yang relative aman dikarenakan lereng tersebut termasuk kedalam klasifikasi lereng stabil (Bowles, 1991).

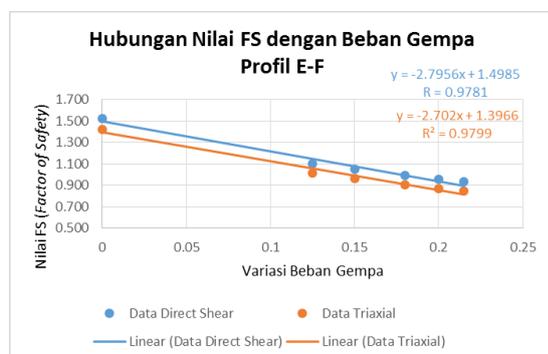
Dengan menggunakan uji statistik juga didapatkan hubungan antara nilai FS dengan variasi nilai Kh yang diberikan. Berikut merupakan grafik hubungannya:



**Gambar 4.1** Grafik Hubungan Nilai FS dengan Beban Gempa Profil A-B



**Gambar 4.2** Grafik Hubungan Nilai FS dengan Beban Gempa Profil C-D



**Gambar 4.3** Grafik Hubungan Nilai FS dengan Beban Gempa Profil E-F

Koefisien regresi variabel FS (x) pada ketiga profil baik data *Direct Shear* maupun data *triaxial* semuanya memiliki nilai negative. Artinya semakin besar nilai Kh yang diberikan maka akan semakin kecil nilai FS yang dihasilkan. Koefisien korelasi dari hubungan nilai FS dengan variasi beban gempa bernilai 0,9781 - 0,9851, hal ini berarti bahwa hubungan korelasinya sangat kuat.

#### 4.2 Pembahasan

Pada saat setiap profil lereng diberikan nilai Kh yang bervariasi, nilai FS mengalami perubahan cukup signifikan. Nilai lereng yang semula labil hingga stabil berubah menjadi semakin labil hingga kritis. Hal ini dimungkinkan karena respon tanah akibat getaran selama gempa bumi menyebabkan momen inersia yang besar pada lereng yaitu gaya *pseudostatic* yang diasumsikan bergerak keluar arah lereng yang mempengaruhi tekanan air pori dan

tegangan geser. Ketika lereng mengalami pengaruh gempa dapat diasumsikan bahwa tanah tersebut akan mengalami penurunan akibat dari beban siklis. Pada kasus ini beban gempa yaitu nilai Kh memperlihatkan pengaruh yang besar terhadap nilai FS. Semakin besar nilai Kh yang diberikan maka akan memperkecil nilai FS-nya. Pengaruh penambahan beban gempa mengakibatkan penurunan sebesar 25,76 % - 36,83 %, hal ini dapat diinterpretasikan bahwa beban gempa yang berada dilokasi pengamatan hampir mengurangi sepertiga dari nilai FS natural.

Dilihat berdasarkan tabel 4.4, menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan lereng yang diperoleh berdasarkan data sifat fisik dan mekanik tanah dari uji *direct shear* memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan uji *triaxial*. Pada data tersebut didapatkan nilai sudut geser dalam yang diperoleh dari uji *direct shear* lebih besar 2,558<sup>0</sup>-6,328<sup>0</sup> daripada nilai sudut geser dalam uji *triaxial*. Sedangkan nilai kohesi yang didapatkan dari uji *direct shear* pada sampel UDS-04 lebih besar 0.185 kg/cm<sup>2</sup> daripada nilai uji *triaxial*, berbeda dengan nilai kohesi pada uji *direct shear* pada sampel UDS-14 memiliki nilai yang lebih kecil 0.112 kg/cm<sup>2</sup> daripada nilai uji *triaxial*. Sedangkan apabila ditinjau dari penggunaannya, uji *triaxial* harusnya bisa lebih diaplikasikan terhadap analisis kestabilan lereng terutama dalam kegiatan pengembangan infrastruktur, hal ini dikarenakan nilai yang diberikan oleh uji *triaxial* lebih pesimis dari uji *direct shear*. Nilai faktor keamanan lereng yang pesimis secara tidak langsung akan menuntut bagi pihak yang melakukan pengembangan infrastruktur untuk mempersiapkan kebutuhannya secara maksimal dan lebih waspada.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis dalam penelitian ini menurut klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah didaerah penelitian termasuk kedalam tanah MH. Hasil perhitungan percepatan gempa pada daerah penelitian berdasarkan Peta Zona Gempa Indonesia 2010 oleh Kementerian Pekerjaan Umum, diperoleh nilai PGAM sebesar 0,36 g dan 0,43 g. Pengaruh penambahan beban gempa berupa nilai koefisien gempa (Kh) mengakibatkan penurunan sebesar 25,76 % - 36,83 % dari nilai FS pada kondisi natural (static). Nilai faktor keamanan lereng yang diperoleh berdasarkan data sifat fisik dan mekanik tanah dari uji *direct shear* memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan uji *triaxial*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penulisan penelitian ini diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan data yang lebih terbaru. Juga perlu adanya penambahan parameter untuk menganalisis kestabilan lereng berupa muka air tanah, erodibilitas, dan pembebanan dari faktor-faktor lainnya. Dalam kesempatan ini penulis juga menyampaikan terimakasih kepada tim Pemetaan Cilengkrang (Ayu dan Aldy) yang telah menemani keseluruhan penelitian, terimakasih juga penulis sampaikan kepada Almizan, Morin, Pandu, Kahfi, dan Kamil yang telah membantu penelitian serta terimakasih kepada Laboratorium Geologi Teknik UNPAD terkhusus kepada Kang Abdul Wahid, S.T yang telah memberikan bantuan bimbingan serta fasilitas selama penelitian ini dilaksanakan. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian RKDU dosen pembimbing wilayah.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2010, *Peta Hazard Gempa Indonesia*, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Anonim, *Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana.

Bishop, A.W., 1955, *The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes*, Geotechnique, Vol 5. London

Das, Braja M, 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid ke-1, Terj. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Djadja dan Hermawan, 1996, *Peta Geologi Teknik Lembar Bandung, Jawa Barat, Skala 1:100.000*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan.

Hardiyatmo. H.C, 2007, *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada Press.

Hoek, E and Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering 3rd Ed*, The Institution of Mining and Metallurgy London, 1981.

Kramer, Steven L, 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall. Inc., United States of America.

Pujianto, Heru; P, Yusep Muslih; dan Surjandari, Niken Silmi, 2017, *Analisis Pengaruh Beban Gempa Terhadap Stabilitas Lereng Di Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo, Wonogiri*, E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, hal 202-207.

Rekzyanti, Raifah; Balamba, Scahrul; Manaroinsong, Lanny, 2016, *Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Studi Kasus : IAIN MANADO)*, Tekno Vol.14/No.66 ISSN : 0215-9671.

Zakaria, 2011, *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*, Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran. Jatinangor

Zakaria, 2010, *Modul Praktikum Geologi Teknik*, Jatinangor: Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran.