

ANALISIS PENGARUH BEBAN GEMPA TERHADAP STABILITAS LERENG DI DESA SENDANGMULYO, TIRTOMOYO, WONOGIRI

Heru Pujianto¹⁾, Yusep Muslih P²⁾, Niken Silmi Surjandari³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Prodi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: herupujianto16@gmail.com

Abstract

Some areas in Wonogiri has the billy contours, because the shape of the ground surface that there are some deep-seated landslides that have occurred in Wonogiri. The case will be studied in this research is in the area of the village of Sendangmulyo, District Tirtomoyo, Wonogiri ever landslides. Seeing the still large number of people are still living below the slopes, then this research is very important for disaster mitigation purposes. The purpose of this study to find out the major changes in the value of what is safe slope stability after the addition of earthquake loads. This study begins by collecting secondary data, soil, slope and profile data load data of rain. Case studies were analyzed slope Slope / W for static and pseudo static method, while Quake / W for dynamic methods. The slopes are conditioned after 2 daily rainfall is taken from secondary data. The results of slope stability analysis using the static method showed the smallest SF value of 0.47 for the slopes 60°. The results of slope stability analysis using pseudo static method by entering an earthquake coefficient value of 0.92 and showed the smallest SF value of 0.38 for the slopes 60°. The results of slope stability analysis using dynamic methods showed the smallest SF value of 0.40 for the slopes 60°. The results of slope stability analysis of the three methods SF smallest value obtained in pseudo static method that is at an angle of 60° to the SF value of 0.38, because the method of pseudo static seismic load direction is considered to outward slope that can improve the style of landslides on the slopes.

Keywords: earthquake loads on the slope stability, slope stability, quake/W.

Abstrak

Beberapa daerah di Kabupaten Wonogiri memiliki kontur tanah yang berbukit-bukit, karena bentuk muka tanah itulah maka ada beberapa kejadian tanah longsor yang pernah terjadi di Wonogiri. Kasus yang akan dikaji pada penelitian ini adalah di daerah Desa Sendangmulyo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri yang pernah terjadi longsor. Melihat masih banyaknya jumlah penduduk yang masih bermukim di bawah lereng tersebut, maka penelitian ini sangat penting untuk keperluan mitigasi bencana. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besar perubahan nilai faktor aman stabilitas lereng setelah dilakukan penambahan beban gempa. Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan data sekunder berupa data tanah, data profil lereng dan data beban hujan. Kasus penelitian lereng dianalisis dengan *Slope/W* untuk metode statik dan pseudo statik sedangkan *Quake/W* untuk metode dinamik. Lereng dikondisikan setelah hujan 2 harian yang diambil dari data sekunder. Hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode statik menunjukkan nilai *SF* paling kecil sebesar 0,47 untuk lereng dengan kemiringan 60°. Hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode pseudo statik dengan memasukan koefisien gempa dengan nilai sebesar 0,92 dan menunjukkan nilai *SF* paling kecil sebesar 0,38 untuk lereng dengan kemiringan 60°. Hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode dinamik menunjukkan nilai *SF* paling kecil sebesar 0,40 untuk lereng dengan kemiringan 60°. Hasil analisis stabilitas lereng dari ketiga metode tersebut didapatkan nilai *SF* paling kecil pada metode pseudo statik yaitu pada sudut 60° dengan nilai *SF* sebesar 0,38, karena metode pseudo statik arah beban gempa dianggap ke arah luar lereng yang dapat meningkatkan gaya longsor pada lereng.

Kata kunci : beban gempa terhadap stabilitas lereng, stabilitas lereng, *Quake/W*.

PENDAHULUAN

Beberapa daerah di Kabupaten Wonogiri memiliki kontur tanah yang berbukit-bukit, karena bentuk muka tanah itulah maka ada beberapa kejadian tanah longsor yang pernah terjadi di Wonogiri. Kasus yang akan dikaji pada penelitian ini adalah daerah di Desa Sendangmulyo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri yang memiliki topologi tanah berupa lereng yang cukup curam dan rawan longsor. Pemerintah Kabupaten Wonogiri dalam wonogirikab.go.id mencatat bahwa pernah terjadi longsor dan banjir pada penghujung tahun 2007 tepatnya pada tanggal 25 dan 26 Desember 2007 di daerah Kecamatan Tirtomoyo meliputi empat titik yang masing-masing berada di Dusun Semangin, Desa Sendangmulyo, Dusun Pagah dan Dusun Sanggrahan. Melihat masih banyaknya jumlah penduduk yang masih bermukim di bawah lereng tersebut, maka penelitian ini sangat penting untuk keperluan mitigasi bencana. Berdasarkan peta geologi, Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Australia, lempeng Asia, lempeng Pasifik dan lempeng laut Filipina. Interaksi keempat lempeng utama tersebut menjadikan Indonesia salah satu negara yang memiliki aktivitas seismik yang cukup tinggi dan rawan terhadap bahaya gempa, maka dari itu penelitian ini mengarah di daerah wonogiri bila terjadi gempa sangat rawan sekali lereng tersebut longsor. Penelitian analisis stabilitas lereng dengan penambahan beban gempa ini menggunakan dua metode yaitu: metode pseudo statik dan metode dinamik. Kasus yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah di daerah Desa Sendangmulyo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri.

Kelompok utama gerakan tanah (*mass movement*) terdiri atas rayapan (*creep*) dan longsor (*landslide*) yang terbagi lagi menjadi sub-kelompok gelinciran (*slide*), aliran (*flows*), jatuhnya (*fall*) dan luncuran (*slip*), menurut Hutchinson (1968). Definisi longsor (*landslide*) menurut Sharpe (1938) adalah luncuran atau gelinciran (*sliding*) atau jatuhnya (*falling*) dari massa batuan/tanah atau campuran keduanya.

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak terlindungi (Das, 1985). Lereng yang ada secara umum dibagi menjadi dua kategori lereng tanah, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara alamiah yang biasanya terdapat di daerah perbukitan. Sedangkan lereng buatan terbentuk oleh manusia biasanya untuk keperluan konstruksi, seperti tanggul sungai, bendungan tanah, tanggul untuk badan jalan kereta api. Hubungan beberapa variasi nilai faktor keamanan terhadap kemungkinan longsoran lereng maupun pada perancangan lereng menurut Bowles (1989) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan nilai *Safety Factor* dan kemungkinan kelongsoran lereng tanah (Bowles, 1989)

| Nilai <i>SF</i> | Kemungkinan Longsor |
|-------------------------|----------------------------|
| < 1,07 | Kelongsoran bisa terjadi |
| 1,07 < <i>SF</i> < 1,25 | Kelongsoran pernah terjadi |
| > 1,25 | Kelongsoran jarang terjadi |

Metode *Bishop* (1955) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol arah vertikal. Faktor aman dihitung dengan Persamaan [1]

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (w_i)(1 - ru) \tan \varphi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \varphi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} w_i \sin \theta_i} \dots [1]$$

dengan :

- F = faktor aman
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)
- u_i = tekanan air pori irisan ke-i (kN/m²)
- θ_i = sudut (gambar 2.1)
- b_i = lebar irisan ke-i (m)
- φ' = sudut gesek dalam efektif (°)

Metode *Bishop* ini menggunakan cara coba-coba, tetapi hasil hitungan lebih teliti, untuk memudahkan perhitungan dapat digunakan nilai fungsi M_i sebagaimana pada Persamaan [2]

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \tan \varphi' / F) \dots [2]$$

dengan :

- M_i = nilai fungsi
- θ_i = sudut antara jari-jari dan garis berat irisan
- F = faktor aman

Metode Pseudo Statik adalah merubah gaya yang timbul akibat beban gempa yang berbentuk dinamik menjadi statik dengan menerapkan gaya lateral yang bekerja melalui pusat massa, bertindak ke arah luar lereng. Analisis ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Keuntungan dari metode ini adalah mudah untuk dipahami dan mudah untuk diterapkan. Aplikasi asli dari metode pseudo statik telah dikemukakan oleh (Terzaghi 1950). Metode ini mengabaikan sifat siklik gempa dan menerapkan kekuatan statik tambahan atas lereng.

Menghitung nilai percepatan gempa dasar didapatkan dari peta zona gempa Indonesia (SNI 2012) yang dipakai sebagai acuan dalam merencanakan bangunan gedung dan non gedung. Analisis ini diambil data sekunder tanah yang digolongkan kelas situs SC (pasir berlempung). Nilai koefisien gempa dengan menggunakan metode pseudo statik ditunjukkan pada Persamaan [3].

$$k_b = \frac{a_d}{g} \dots [3]$$

Dengan :

- k_b = koefisien gempa arah horisontal
- a_d = percepatan gempa permukaan terkoreksi (cm/det²)
- g = gravitasi (cm/dtk²)

Metode ini percepatan gempa vertikal diabaikan, karena pada umumnya percepatan gempa vertikal lebih kecil dari percepatan gempa horisontal sehingga percepatan gempa vertikal tidak begitu menentukan dalam penghitungan gaya lateral yang bekerja pada lereng (Sutarman, 2013).

Analisis dinamik adalah baban yang besarnya (intensitasnya) berubah-ubah menurut waktu. Analisis dinamik dipakai untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat dari gaya gempa. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor. Model material yang digunakan pada analisa dinamik dengan *Quake/W* adalah model *equivalent linier dynamics* dan selanjutnya di lanjutkan ke analisis *Slope/W* untuk mencari nilai *SF* dengan menggunakan metode analisis elemen hingga (*finite element method*). Menurut Dakoulas (1998) pada model ini parameter masukannya adalah V (*poisson ratio*), G_{maks} (modulus geser maksimum) dan ξ (*damping ratio*). Analisis stabilitas lereng dengan metode dinamik dapat dicari nilai parameter masukan (ν) *poisson ratio* dengan menggunakan pendekatan yang diciptakan oleh Bowles, yang disajikan pada Tabel 2 dan untuk mencari nilai parameter masukan (E) modulus elastis tanah dengan menggunakan pendekatan yang disarankan oleh Bowles (1997) yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai *poisson ratio* untuk berbagai jenis tanah (Bowles, 1997)

| Jenis Tanah | ν |
|-----------------------------|------------|
| Lempung jenuh | 0,4 – 0,5 |
| Lempung tak jenuh | 0,1 – 0,3 |
| Lempung berpasir | 0,2 – 0,3 |
| Lanau | 0,3 – 0,35 |
| Pasir (padat) pasir kerikil | 0,1 – 1 |
| Biasa dipakai | 0,3 – 0,4 |
| Batuan | 0,1 – 0,4 |
| Tanah loose | 0,1 – 0,3 |

Taebel 3. Nilai perkiraan modulus elastitas tanah (Bowles, 1997)

| Jenis Tanah | E (kn/m ²) |
|-------------------|------------------------|
| Lempung | |
| Sangat lunak | 300 - 3000 |
| Lunak | 2000 - 4000 |
| Sedang | 4500 - 9000 |
| Keras | 7000 - 20000 |
| Berpasir | 30000 - 42500 |
| Pasir | |
| Berlanau | 5000 - 20000 |
| Tidak padat | 10000 - 140000 |
| Padat | 50000-100000 |
| Pasir dan Kerikil | |
| Padat | 80000 - 200000 |
| Tidak padat | 50000 -140000 |
| Lanau | 2000-20000 |
| Loess | 15000-60000 |

Parameter masukan pertama kali yang dicari adalah nilai massa tanah (ρ) dengan menggunakan persamaan [4]

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad [4]$$

Modulus geser (G) merupakan salah satu parameter tanah yang harus diketahui untuk menjalankan getaran akibat gempa bumi, mencari nilai dari modulus geser menggunakan persamaan. [5]

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad [5]$$

Mencari nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dengan menggunakan persamaan [6]

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad [6]$$

Tegangan geser (τ) didalam suatu massa tanah yang tidak disebabkan oleh beban luar dihitung dari berat unit tanah dan kedalam muka air tanah. Jika ditinjau sebuah elemen tanah pada kedalaman z dibawah permukaan tanah, dengan menggunakan persamaan [7]

$$\tau = \gamma_{sat} \times z \quad [7]$$

Untuk mencari nilai dari regangan geser (γ) menggunakan persamaan [8]

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad [8]$$

Setelah didapatkan nilai regangan geser selanjutnya mencari nilai damping ratio (rasio redaman) menggunakan persamaan [9]

$$\xi = 0,23 \frac{\gamma}{\gamma + 1,56 \times 10^{-3}} + 0,05 \quad [9]$$

Parameter masukan metode dinamik terakhir adalah nilai dari modulus geser dinamik dengan menggunakan persamaan [10]

$$G_{maks} = \rho \cdot V_s^2 \quad [10]$$

Geo Studio 2007 adalah sebuah paket aplikasi untuk permodelan geoteknik dan geo lingkungan. *Software* ini melingkupi *Slope/W*, *Seep/W*, *Sigma/W*, *Quake/W*, *Temp/W* dan *Ctran/W* yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke produk yang lain. Analisis kestabilan lereng ini dengan penambahan beban gempa menggunakan fitur *Quake/W* sebagai *parent analysis* lalu dilanjutkan ke fitur *Slope/W* untuk mengetahui nilai *SF*. Fitur *Slope/W* ini tidak mengakomodasi untuk analisis *displacement* akibat beban gempa, maka digunakan fitur *Quake/W* untuk mencari nilai *displacement* akibat beban gempa.

METODE PENELITIAN

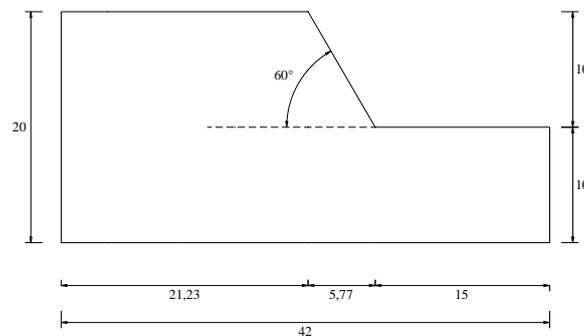
Pada penelitian yang dilakukan di Desa Sendangmulyo, Kabupaten Wonogiri ini dimulai dengan mengumpulkan data sekunder dari penelitian sebelumnya (Hawin W, 2015) berupa data parameter tanah seperti yang tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah UNS

| Parameter | Satuan | Hasil |
|----------------|-------------------|-------|
| w | % | 19,38 |
| γ_b | kN/m ³ | 17,81 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19,15 |
| G_s | - | 2,66 |
| ϕ | ° | 37,47 |
| c | kN/m ² | 0 |
| h_{sat} | m | 0,473 |
| e | - | 0,744 |
| Gravel | % | 13,42 |
| Sand | % | 50,48 |
| Silt | % | 9,46 |
| Clay | % | 26,64 |

Sumber:(Widyo, 2015).

Sudut kemiringan lereng (α) acuan diambil sebesar 60° sesuai dengan α yang menghasilkan nilai SF paling kritis pada penelitian (Widyo, 2015), yang disajikan pada Gambar [1]



Gambar 1 Tipikal profil lereng kritis DAS Tirtomoyo.

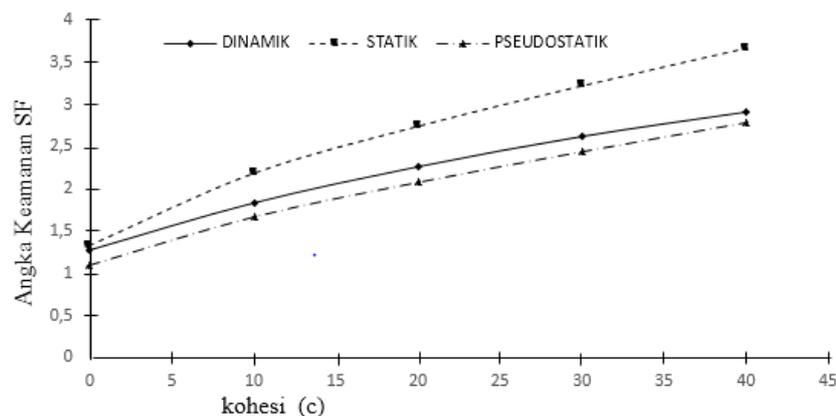
HASIL DAN ANALISIS

Dari analisis program Geo Studio didapatkan hasil. Lihat tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi nilai *safety factor* lereng akibat statik, pseudo statik dan dinamik.

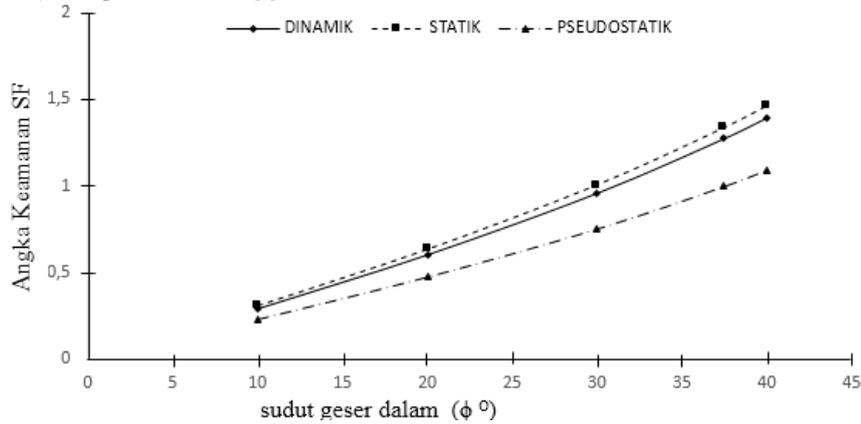
| Sudut Lereng | SF Statik | SF Pseudostatik | SF Dinamik |
|--------------|-----------|-----------------|------------|
| 30° | 1,33 | 1,09 | 1,27 |
| 45° | 0,77 | 0,64 | 0,70 |
| 60° | 0,47 | 0,38 | 0,40 |

Grafik pengaruh hubungan antara nilai kohesi (c) terhadap nilai *safety factor* (SF) untuk metode statik, pseudo statik dan dinamik ditunjukkan pada Gambar [2]



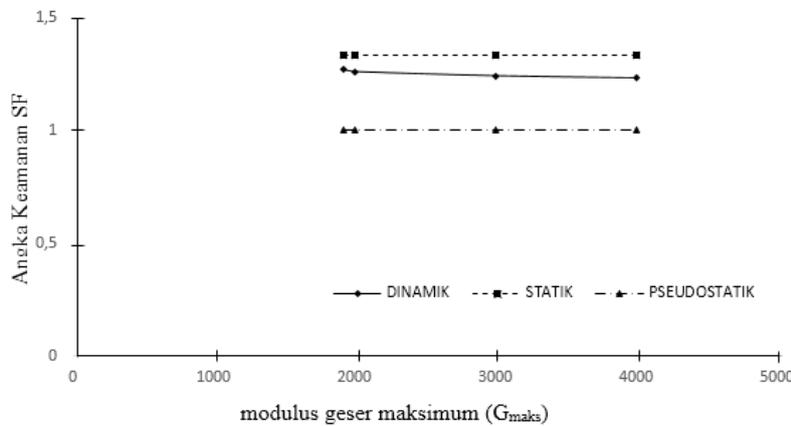
Gambar 2 Pengaruh perubahan nilai c (kohesi) terhadap nilai SF .

Grafik pengaruh hubungan antara nilai sudut geser dalam (ϕ°) terhadap nilai *safety factor* (*SF*) untuk metode statik, pseudo statik dan dinamik ditunjukkan pada Gambar [3]



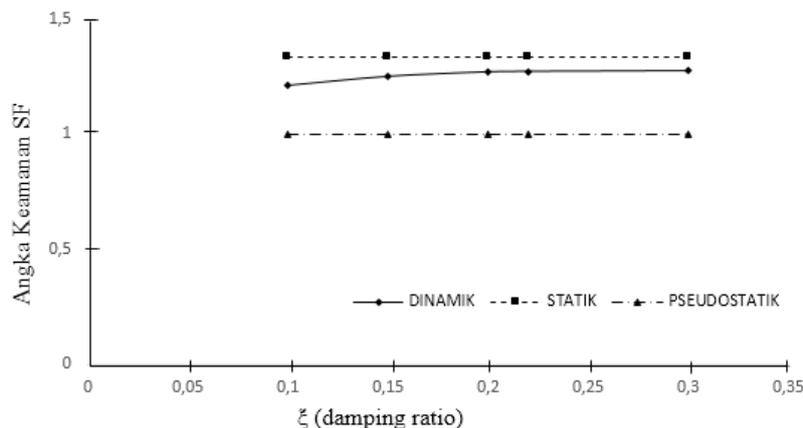
Gambar 3 Pengaruh Perubahan nilai ϕ° (sudut geser dalam) terhadap nilai *SF*.

Grafik pengaruh hubungan antara nilai sudut modulus geser maksimum (G_{maks}) terhadap nilai *safety factor* (*SF*) untuk metode statik, pseudo statik dan dinamik ditunjukkan pada Gambar [4]



Gambar 4 Pengaruh Perubahan nilai G_{maks} (modulus geser maksimum) terhadap nilai *SF*.

Pengaruh perubahan nilai ξ (damping ratio) terhadap nilai *SF* untuk metode statik, pseudo statik dan dinamik ditunjukkan pada Gambar [5]



Gambar 5 Pengaruh Perubahan nilai ξ (damping ratio) terhadap nilai *SF*.

KESIMPULAN

Penambahan beban gempa pada lereng dengan kemiringan 30° di Desa Sendangmulyo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri didapatkan nilai *SF* yang tidak aman, sedangkan sebelum penambahan beban gempa didapatkan nilai *SF* yang aman. Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode statik menunjukkan nilai *SF* sebesar 1,33, 0,77, 0,47 untuk lereng dengan kemiringan 30° , 45° , 60° . Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode pseudo statik menunjukkan nilai *SF* sebesar 1,09, 0,64, 0,38 untuk lereng dengan kemiringan 30° , 45° , 60° . Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode dinamik menunjukkan nilai

SF sebesar 1,27, 0,70, 0,40 untuk lereng dengan kemiringan 30°, 45°, 60°. Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode pseudo statik menunjukkan nilai SF terendah sebesar 0,38 untuk lereng dengan kemiringan 60°.

SARAN

Penelitian selanjutnya perlu adanya data aktual yang terbaru untuk menghasilkan keakuratan yang lebih optimal. Perlu dilakukan analisis selanjutnya dengan memperhitungkan bangunan perkuatan lereng. Hasil analisis *Geo-Slope* harus diperhatikan untuk penentuan *grid* karena sangat mempengaruhi hasil analisis. Sebaiknya dibuat *grid* sebanyak mungkin dan luas sehingga dapat mencakup nilai SF yang paling kritis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Universitas Sebelas Maret.

REFERENSI

- Bowles, J.E., 1989, "*Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*", Erlangga, Jakarta, 562 hal.
- Dakoulas, P., et. AL., 1998, "*Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III*" Volume 2, University of Washington, Washington.
- Das, Braja M., 1993. "*Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rakayasa Geoteknis)* Jilid 2". Jakarta : PT. Erlangga.
- Hansen, M.J., 1984, "*Strategies for Classification of Landslides*", (ed. : Brundsen, D, & Prior, D.B., 1984, Slope Instability, John Wiley & Sons, p.1-25.
- Hawin, W, 2015. "*Pengaruh hujan 2 harian terhadap stabilitas lereng di das Tirtomoyo Wonogiri (Studi Kasus Desa Sendang Mulyo, Tirtomoyo, Wonogiri)*". Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta: Surakarta.
- Pedoman Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Non Gedung, SNI 1726-2012, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Sutarman, E., (2013). "*Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil*". Yogyakarta: ANDI