

# ANALISIS INFILTRASI DAN STABILITAS LERENG PADA TANAH BERPASIR

**Article history**

Diterima

Direvisi

Dipublikasi

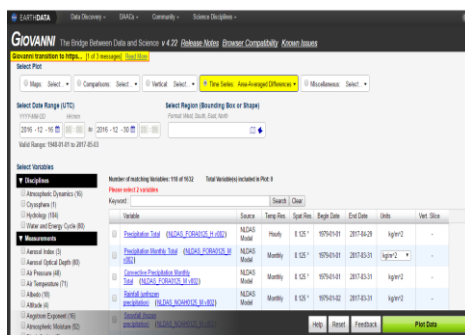
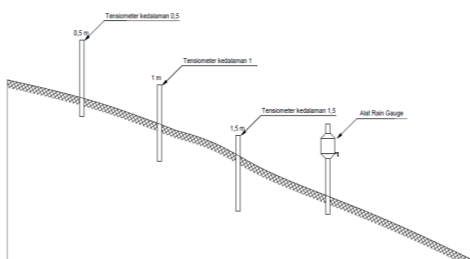
Nurvia Mitha Pratama<sup>a</sup>, Agus Setyo Muntohar<sup>a</sup>

\*Corresponding author

muntohar@umy.ac.id

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

## Graphical abstract



## Abstract

High rainfall in Indonesia causes slope conditions in some areas of Indonesia often experience sliding. This slump occurs because it is caused by the infiltration of rain into the soil pores of the soil are filled with water. This resulted in increased pore water pressures on the soil and reduced slope stability, so research is needed to see how much rainfall effects have on slope stability due to soil infiltration processes, various test sequences such as SOIL water retention curves, infiltration capacity tests And triaxial Test have been performed in this study, as well as analyzes of pore water pressure changes by numerical modeling of HYDRUS 1D software to obtain safe factor values and slope stability.

The slope of the embankment in B AR Fachruddin building is categorized in stable because the value of the safety factor exceeds 1, the greatest safe factor value is 30 on the surface of the soil, the highest bulk intensity occurs on the 16th day which decreases the safe factor value to 19 on the soil surface, For the slope depending on the depth of the soil, the higher the soil depth value, the value of the safe factor for the slope decreases, the smallest safe factor value occurs at 2.5 m depth of 2.04 and the largest safe factor value occurs at 0.5m depth of 4.02. The safety factor value for slopes from the rainfall reading of the raingauge tool with TRMM-NASA rainfall readings is not much different.

## Abstrak

Curah hujan yang tinggi di Indonesia menyebabkan kondisi lereng di beberapa wilayah Indonesia sering mengalami kelongsoran. Kelongsoran tersebut terjadi karena disebabkan oleh infiltrasi hujan ke dalam tanah sehingga pori-pori tanah terisi air. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya tekanan air pori pada tanah dan membuat stabilitas lereng berkurang, maka dari itu dibutuhkan penelitian untuk melihat seberapa besar efek curah hujan terhadap stabilitas lereng karena adanya proses infiltrasi pada tanah, berbagai rangkaian pengujian seperti uji kurva retensi air tanah, uji kapasitas infiltrasi dan uji triaxial telah dilakukan pada penelitian ini, serta analisis perubahan tekanan air pori dengan pemodelan numerik software HYDRUS 1D untuk mendapatkan nilai faktor aman dan stabilitas lereng.

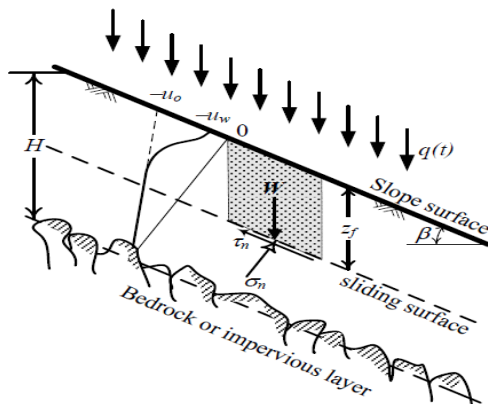
Lereng timbunan pada gedung B AR Fachruddin dikategorikan dalam stabil karena nilai faktor amannya melebihi 1, nilai faktor aman terbesar yaitu 30 pada permukaan tanah, intensitas curah tertinggi terjadi pada hari ke 16 dimana menurunkan nilai faktor aman menjadi 19 pada permukaan tanah, Variasi nilai faktor aman untuk lereng bergantung pada kedalaman tanah, semakin tinggi nilai kedalaman tanah maka nilai dari faktor aman untuk lereng semakin menurun, nilai faktor aman terkecil terjadi pada kedalaman 2.5 m yaitu sebesar 2.04 dan nilai faktor aman terbesar terjadi pada kedalaman 0.5m yaitu 4.02. Nilai faktor aman untuk lereng dari hasil pembacaan curah hujan alat raingauge dengan pembacaan curah hujan TRMM-NASA tidak jauh berbeda.

Kata kunci : Infiltrasi, Faktor Aman, Stabilisasi Lereng, Curah Hujan.

© 2017 Penerbit LP3M UMY. All rights reserved

## 1 PENDAHULUAN

Curah hujan yang tinggi di Indonesia menyebabkan kondisi lereng di beberapa wilayah Indonesia sering mengalami kelongsoran. Kelongsoran tersebut terjadi karena disebabkan oleh infiltrasi hujan ke dalam tanah sehingga pori-pori tanah terisi air. Menurut Muntohar (2013), proses infiltrasi pada lereng menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan pengurangan kuat geser tanah pada lereng. Mekanisme infiltrasi air hujan dan stabilitas lereng biasanya dikaji dengan pengamatan di lapangan melalui pengukuran tekanan air pori, dan/atau kadar air tanah, serta curah hujan. Selain itu, analisis infiltrasi dan stabilitas lereng dapat disimulasikan secara numerik baik satu dimensi (1-D), dua dimensi (2-D), atau tiga dimensi (3-D) atau spasial. Metode analisis stabilitas lereng dengan model lereng tak-hingga dan pengaruh infiltrasi dapat memperhitungkan pengaruh perubahan tekanan air pori selama proses infiltrasi (Gambar 1). Mengacu pada kriteria Mohr-Coloumb untuk tanah tak jenuh air yang dituliskan dalam Fredlund *et al.* (1978), maka faktor aman lereng dapat dinyatakan dalam Persamaan 1



**Gambar 1** Skema lereng tak hingga dan batas antara tanah tak jenuh:

$$FS = \frac{c'}{\gamma \cdot Z_f \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} + \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \left[ 1 + \frac{\phi \cdot \Theta}{\gamma \cdot Z_f \cdot \cos^2 \beta} \right]$$

Untuk model kuat geser tanah dalam kondisi tak jenuh air, Vanapalli dkk. (1996) mengusulkan hubungan antara kuat geser dan *suction* dengan memperhitungkan fungsi hidraulika tanah. Maka persamaan 1 dapat dituliskan kembali seperti pada Persamaan 2.

$$FS = \frac{c'}{\gamma \cdot Z_f \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} + \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \left[ 1 + \frac{\psi \cdot \Theta}{\gamma \cdot Z_f \cdot \cos^2 \beta} \right]$$

$$\text{Dimana, } \Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

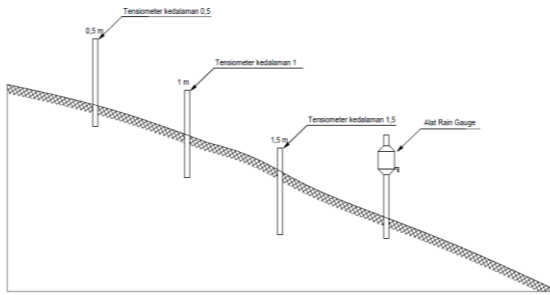
Dengan  $\theta_r$  dan  $\theta_s$  masing-masing adalah kadar air volumetrik residu dan saat tanah jenuh air.

Stabilitas lereng yang diukur dengan nilai faktor aman (*safety factor*), menurut Rahimi (2011) dipengaruhi pula oleh jumlah curah hujan yang masuk ke dalam zona tanah tidak jenuh. Dengan demikian rekaman curah hujan merupakan faktor penting yang mempengaruhi analisis stabilitas lereng. Pada dasarnya pengukuran curah hujan ini dilakukan dengan pengamatan di lapangan. Namun, dalam perkembangannya, data rekaman hujan dapat diperoleh melalui *Tropical Rainfall Measuring Mission* dari *National Aeronautics and Space Administration* (TRMM-NASA). Untuk itu diperlukan kajian pengaruh hujan hasil pengukuran lapangan dan rekaman TRMM-NASA terhadap stabilitas lereng.

## 2 METODOLOGI

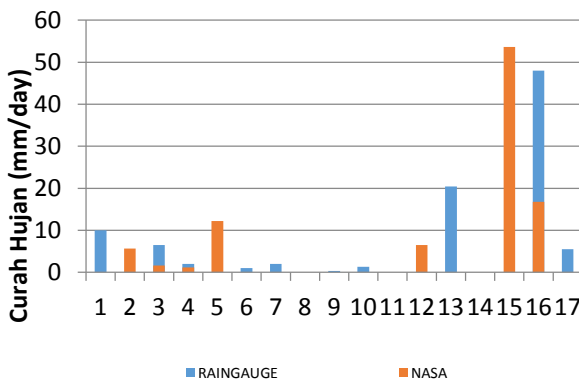
### 2.1 Kemiringan Lereng dan Tinggi lereng

Pengukuran kemiringan dan tebal dari lereng telah dilakukan dan didapatkan tebal dari tanah 2.5 m dengan kemiringan  $18.17^\circ$ . Klasifikasi tanah tergolong dalam SC atau pasir berlempung

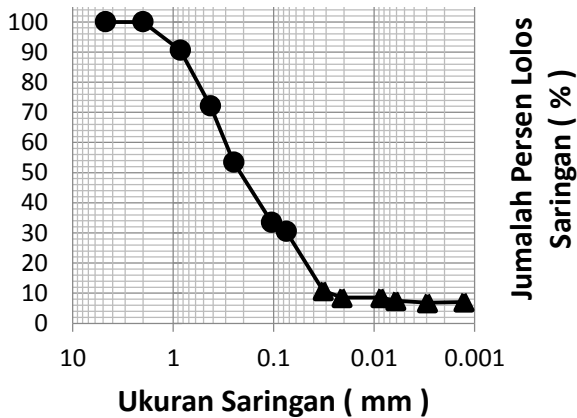


Gambar 1 Potongan kemiringan lereng

### Grafik curah hujan



Gambar 2 Grafik Curah Hujan Harian



Gambar 3 Distribusi Partikel Tanah Pasir Berlempung

### 2.2 Tanah yang digunakan

Penelitian analisis infiltrasi untuk stabilitas lereng menggunakan jenis tanah pasir berlempung yang diambil dari lereng yang berada di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Sifat-sifat fisik dan indeks tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat – Sifat Fisik Tanah

Parameter	Nilai
Berat jenis tanah, Gs	2,22
Batas cair, LL (%)	31,6
Batas plastis, PL (%)	23,1
Indeks plastisitas, PI (%)	8,5

Gambar 4 Batas-batas atterberg tanah pasir berlempung

### 2.3 Alat yang digunakan

#### 1. KU-Tensiometer

KU-Tensiometer adalah alat yang digunakan untuk pembacaan suction pada tanah terdiri dari batu porous, tabung acrylic, MEM pressure sensor.



Gambar 5 KU-Tensiometer

Voltmeter digunakan untuk pembacaan nilai voltase pada alat KU-Tensiometer dengan sumber daya pada voltmeter adalah baterai berkekuatan 9 volt, pada voltmeter dilengkapi dengan kabel konektor antara alat KU-Tensiometer dengan voltmeter.



Gambar 6 Voltmeter

#### 2. Alat uji kurva retensi air tanah (SWRC)

Alat uji SWRC untuk pengujian terdiri dari penutup yang berbahan PVC yang diberi lubang untuk tempat tensiometer, untuk casing berbahan PVC, dan alasnya terbuat dari plat yang berbahan aluminium.



**Gambar 6** Alat uji SWRC

### 3. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian 0.01 gram, digunakan untuk penimbangan setelah dan sebelum pembacaan nilai *suction*



**Gambar 7** Timbangan dengan ketelitian 0.01

### 4. Double Ring Infiltrrometer

Alat yang digunakan untuk pengujian kapasitas infiltrasi di lapangan yang terdiri dari dua pasang silinder konsentris atau tabung atau silinder bagian dalam (silinder B) dan luar (silinder A). Silinder luar berdiameter 55 cm dan silinder dalam berdiameter 30 cm, dengan tinggi 25 cm



**Gambar 8** Double Ring Infiltrrometer

### 4. Gerlink Triaxial Digital



**Gambar 9** Gerlink Triaxial Digital

Gerlink Triaxial Digital digunakan untuk uji triaxial dalam kondisi UU (*Undrained Unconsolidated*) yang hasilnya langsung terbaca di komputer, satu set gerlink triaxial digital terdiri dari unit panel dan unit *load frame*.

## 2.4 Desain Penelitian

Penelitian analisis stabilitas tanah dengan.. Aplikasi HYDRUS-1D menggunakan model perumusan), Van Gouuchten Mualem (VMG). Hasil nilai faktor aman yang diamati selama kurang lebih 17 hari menggunakan alat rain gauge dan curah hujan yang di ambil dari data perekaman curah hujan oleh Giovanni-NASA nantinya dibandingkan dan dianalisis pengaruh infiltrasi terhadap stabilitas lereng.

## 2.5 Tahapan Penelitian

### 1. Uji SWRC menggunakan alat KU-Tensiometer

Tanah pasir terlebih dahulu diuji untuk menentukan sifat-sifat fisik tanah asli. Setelah pengujian awal, pengujian yang dilakukan selanjutnya SWRC menggunakan alat KU-tensiometer. (lihat Gambar 10.).



**Gambar 10** Pengujian SWRC menggunakan alat KU-Tensiometer

Setelah tanah ditimbang beserta alat uji maka hal pertama yang dilakukan adalah pembacaan untuk initial *suction* pada sampel tanah setelah itu tanah dibiarkan selama kurang lebih satu jam, tanah ditimbang lagi dan dibaca nilai *suction* pada tanah.

proses selanjutnya adalah pembasahan pertama, setelah tanah di semprot dengan air maka tanah ditimbang lagi beratnya dan dipasang kembali alat KU-tensiometer pada alat uji dan dibaca nilai *suction*nya, setelah tanah dibiarkan selama kurang lebih satu jam nilai *suction* dibaca pada tanah dan timbang lagi, hal ini dilakukan sampai pembasahan ke 9

## 2. Uji Double Ring Infiltrometer

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas pada tanah, pengujian dilakukan pada lahan tidak tertutup vegetasi dan dilakukan selama 40 menit atau sampai nilai penurunan pada saat infiltrasi konstan, bagian bawah dari alat dimasukan ke dalam tanah kurang lebih 10cm, ring dalam dan luar harus sama tingginya, lalu mistar pengukur dipasang

pada pada alat, air dimasukkan pada ring luar dan dalam hingga mistar pengukur nilainya 0 cm, ketinggian dari air di ring dalam harus lebih tinggi daripada ring di luar, jika air di ring dalam mulai berkurang air pada ring dalam diidkan kembali. Catat nilai penurunan selama 2 menit sekali



**Gambar 11** Pengujian Kapasitas Infiltrasi

## 3. Uji Triaksial UU (Unconsolidated Undrained)

Uji triaksial UU dilakukan menggunakan alat Gerlink Triaxial Digital yang langsung terbaca hasilnya pada computer, beban pada benda uji berbeda beda yaitu  $0.25 \text{ kN/cm}^2$  dan  $1 \text{ kN/cm}^2$ .



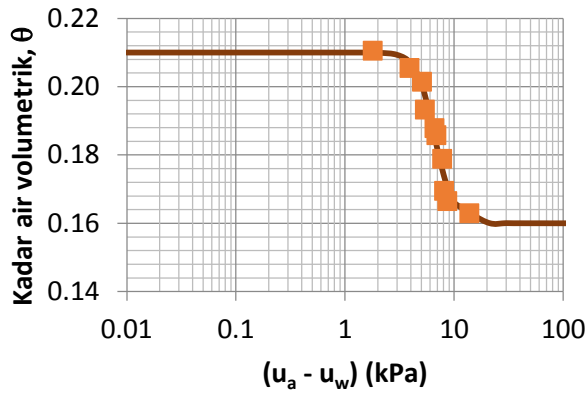
**Gambar 12** Alat Gerlink Triaxial Digital

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil penelitian

#### Kurva Retensi Air Tanah ( SWRC)

Hasil yang diperoleh dari pengujian ini disajikan pada kurva (lihat Gambar 11).



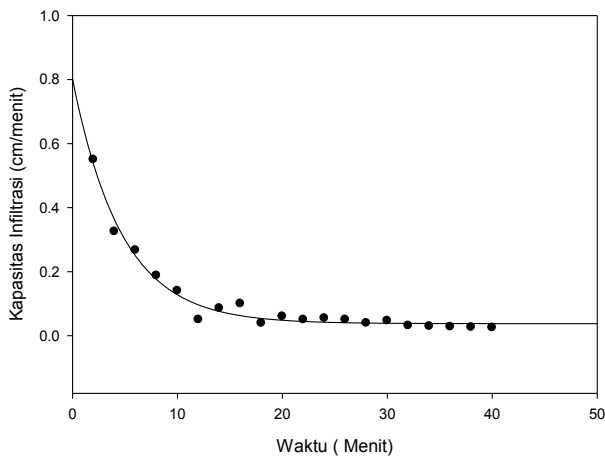
**Gambar 13 Kurva Retensi Air Tanah**

Dari hasil penelitian di dapat nilai parameter hidraulik tanah menggunakan persamaan Van Gunechten-Mualem model (VGM)

$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	l
0.16	0.21	1,55	5.48	0.5

**Koefisien Permeabilitas Tanah (Ks)**

2D Graph 1  
 $f=y0+a*\exp(-b*x)$



**Gambar 14 Kurva hubungan antara waktu dan nilai kapasitas infiltrasi**

Perhitungan nilai koefisien permeabilitas pada tanah menggunakan persamaan Horton yaitu

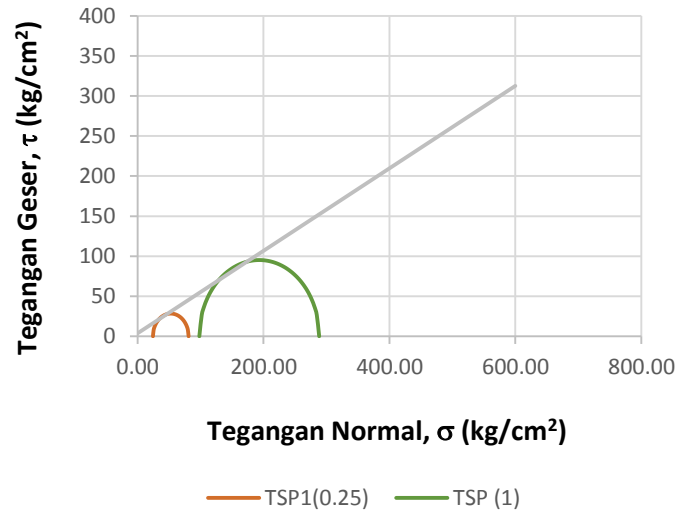
$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-\lambda t}$$

Parameter  $f_c$ ,  $f_0$ , dan  $k$  dapat ditentukan dengan regresi fungsi *exponential* dalam persamaan

$$y = y_0 + ae^{-bt}$$

dengan,  $f(t) = y$ ,  $(f_0 - f_c) = a$ ,  $f_0 = y_0$ , dan  $K = b$ . Metode kuadrat terkecil digunakan untuk menentukan koefisien regresi  $y_0$ ,  $a$ , dan  $b$ . Analisis regresi dapat dilakukan menggunakan *software* SigmaPlot.

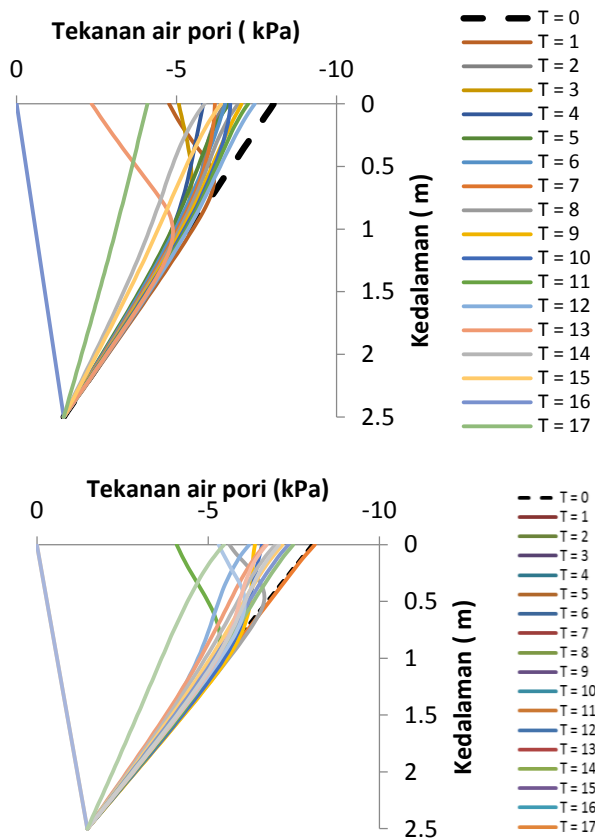
**Nilai Uji Triaxial**



**Gambar 15 Diagram lingkaran mohr**

Pengujian triaxial menggunakan beban cell sebesar 0.25 Kn/cm<sup>2</sup> dan 1Kn/cm<sup>2</sup>. dan di dapatkan nilai  $c$  3.63 dan  $\phi'$  28.39 .

**Pengaruh infiltrasi terhadap tekanan air pori**



**Gambar 16** Grafik hubungan antara tekanan air pori dengan kedalaman (a) menggunakan data curah hujan *rain gauge* dan (b) data curah hujan NASA-TRMM

Parameter – parameter yang didapatkan dari pengujian kurva retensi air tanah dan kapasitas infiltrasi digunakan untuk menganalisa perubahan tekanan air pori pada setiap kedalaman menggunakan software HYDRUS 1D, hasil yang didapatkan dari pemodelan numerik pada HYDRUS berupa perubahan tekanan air pori pada setiap kedalaman, Gambar 16 menyajikan hasil perbandingan dari hubungan antara tekanan air pori dengan setiap kedalaman berdasarkan infiltrasi curah hujan yang menggunakan data dari curah hujan alat *rain gauge* dengan data curah hujan hasil perekaman satelit TRMM-NASA, nilai tekanan air pori bervariasi yang berubah sesuai dengan infiltrasi curah hujan yang masuk ke dalam tanah.

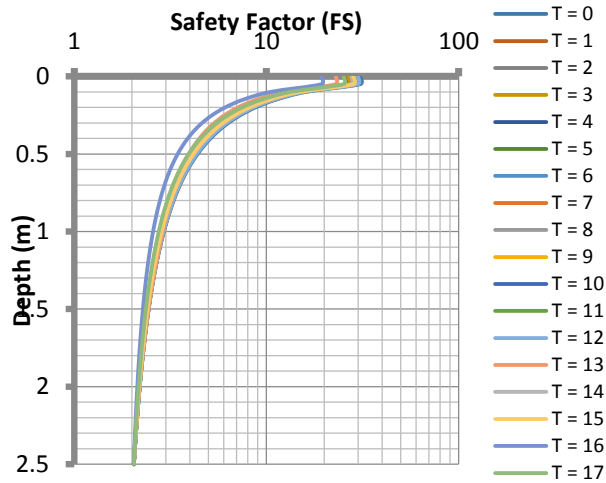
Tekanan air pori awal dipermukaan tanah dan lapisan terbawah adalah -8 kPa dan -1.4 kPa, nilai tekanan air pori akan meningkat sesuai dengan

intensitas hujan, dimana intensitas curah hujan pada hari ke 16 atau tepatnya pada tanggal 30 Desember 2016 menyebabkan tekanan air pori yang semula negatif bergerak menuju ke arah positif karena curah hujan yang turun intensitasnya memang cukup tinggi yaitu berdasar data curah hujan *rain gauge* maupun TRMM-NASA sebesar 48mm/hari dan 16.77 mm/hari dan dapat mencapai nilai tekanan air pori awal dipermukaan lereng dan lapisan tanah terbawah sebesar 0 kPa dan -1.4kPa. Semakin tinggi nilai infiltrasi pada tanah maka akan semakin besar pula nilai tekanan air pori pada tanah, tekanan air pori negatif hanya dapat bertambah jika permukaan lereng mencapai kondisi jenuh air dimana intensitas curah hujan dipermukaan lereng sama atau lebih besar daripada koefisien permeabilitas tanah, apabila semakin besar nilai koefisien permeabilitas tanah maka semakin besar nilai laju infiltrasi dan derajat kejenuhan pada tanah, yang serupa juga dijelaskan oleh Zhan dkk. (2004)

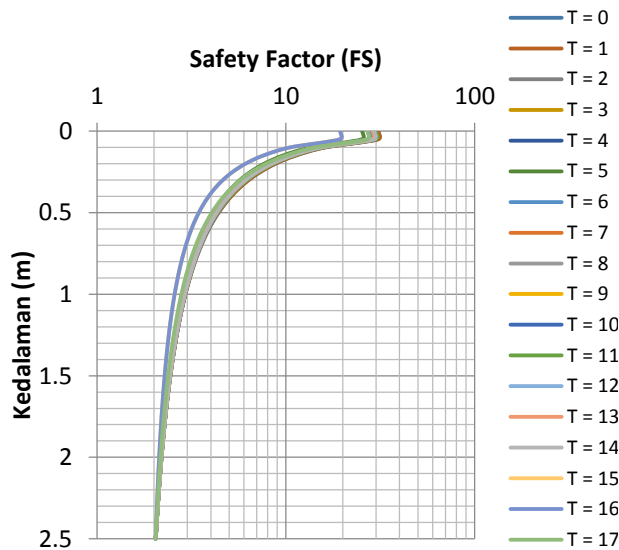
#### Pengaruh infiltrasi terhadap nilai faktor aman lereng

Menggunakan persamaan 2, Gambar 17 dan Gambar 18 menyajikan perbandingan nilai variasi faktor aman (FS) dari data curah hujan alat *rain gauge* dengan data curah hujan TRMM-NASA terhadap kedalaman dan waktu hujan. Dijelaskan secara umum bahwa faktor aman untuk lereng cenderung berkurang dengan kedalaman, hal ini menunjukkan bahwa kedalaman muka air tanah mempengaruhi nilai faktor aman. Pada awal hujan permukaan lereng cenderung stabil yaitu nilai FS nya mencapai pada 30 hal ini dapat dicapai karena nilai tekanan negatif air pori yang besar pada kondisi awal. Namun pada hari ke 16 dimana curah hujan cenderung tinggi maka nilai faktor aman untuk permukaan lereng menurun hingga mencapai nilai 19, untuk nilai lapisan terbawah pada awal hujan dan saat intensitas curah hujan tinggi nilainya sama yaitu 2.04, hal tersebut disebabkan oleh tekanan air

pori yang relatif sama pada kedalaman yang lebih dalam.



Gambar 17 Hubungan kedalaman dengan faktor aman dengan data curah hujan raingauge

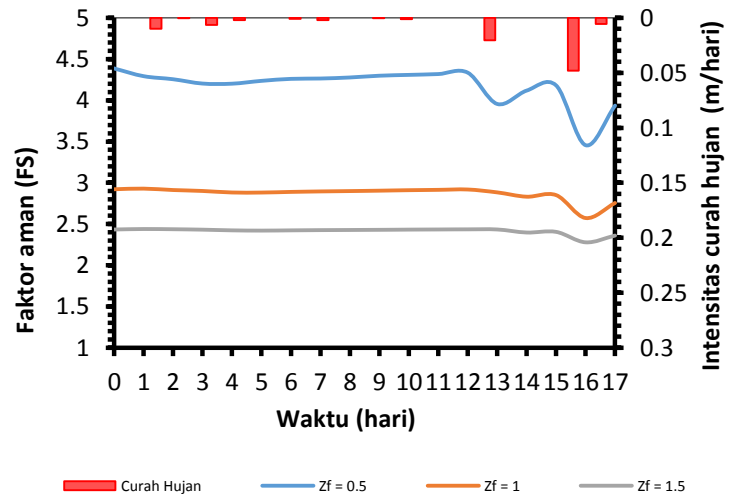


Gambar 18 Hubungan kedalaman dengan faktor aman dengan data curah hujan satelit TRMM-NASA

Variasi nilai faktor aman (FS) dengan data curah hujan raingauge dan TRMM-NASA pada lereng terhadap waktu hujan untuk berbagai kedalaman muka air tanah awal ditunjukkan pada Gambar 19 dan 20 yang menggambarkan bahwa nilai faktor aman untuk lereng nilainya fluktuatif sesuai dengan infiltrasi curah hujan pada lereng, perubahan nilai faktor aman yang relative besar terjadi pada permukaan dangkal sedangkan pada bidang runtuh yang lebih dalam faktor aman yang terjadi relatif

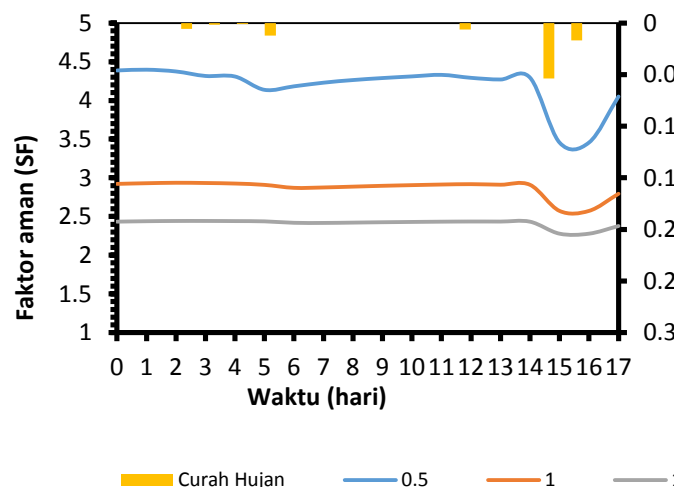
kecil, hal tersebut dikarenakan tekanan air pori yang relatif sama pada kedalaman yang lebih dalam. Saat hujan turun terjadi proses infiltrasi pada tanah kondisi tersebut dapat menyebabkan naiknya muka air tanah yang menyebabkan meningkatnya tekanan air pori, hal tersebut mengakibatkan kuat geser pada tanah berkurang dan menurunkan nilai faktor aman dan dapat menyebabkan keruntuhan pada lereng, seperti yang dijelaskan juga oleh Muntohar. (2013)

Semakin dalam nilai faktor aman untuk lereng semakin menurun hal tersebut dikarenakan semakin dekat dengan garis muka air tanah. Di bawah muka air tanah, tanah dalam kondisi jenuh air, dan tekanan air porinya positif, hal tersebut menyebabkan nilai faktor aman menurun karena tekanan air porinya semakin bergerak menuju positif.



Gambar 19 Grafik hubungan antara curah hujan dengan faktor aman menggunakan data curah hujan alat raingauge





**Gambar 4.6** Grafik antara curah hujan dengan factor aman menggunakan data curah hujan dari GIOVANNI-NASA

#### 4 KESIMPULAN

Didapatkan parameter-parameter dari pengujian yaitu :

1.
  - a. kurva retensi air tanah  
 $\theta_s = 0.21$   
 $\theta_r = 0.16$   
 $l = 0.5$   
 $n = 5.48$   
 $a = 1.55$
  - b. laju kapasitas infiltrasi sebesar 0.0376 cm/menit
  - c. nilai  $c'$  dan  $\phi'$  dari grafik lingkaran mohr-coloumb sebesar 3.63 dan 28.39

2. Lereng timbunan pada gedung B AR Fachruddin dikategorikan dalam stabil karena nilai faktor amannya melebihi 1, nilai faktor aman terbesar yaitu 30 pada permukaan tanah, intensitas curah tertinggi terjadi pada hari ke 16 dimana menurunkan nilai faktor aman menjadi 19 pada permukaan tanah.
3. Variasi nilai faktor aman untuk lereng bergantung pada kedalaman tanah, semakin tinggi nilai kedalaman tanah maka nilai dari faktor aman untuk lereng semakin menurun, nilai faktor aman terkecil terjadi pada kedalaman 2.5 m yaitu sebesar 2.04 dan nilai faktor aman terbesar terjadi pada kedalaman 0.5m yaitu 4.02. Nilai faktor aman untuk lereng dari hasil pembacaan curah hujan alat raingauge dengan pembacaan curah hujan TRMM-NASA tidak jauh berbeda.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan penelitian melalui Riset Pengembangan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (IPTEK) tahun 2016.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Hossain, J., Hossain, M.S., and Hoyos, L.R., 2013, *Geo-Congress, Effect of Rainfall on Stability of Unsaturated Earth Slopes Constructed on Expansive Clay*.
- Jotisankasa, A., Tapparanich, J., Booncharoenpanich, P., Hunsachainan, N., and Soralump, S., J.E., 2010, *Geotechnical Engineering Research and Development Center, Departement of Civil Engineering Faculty of Engineering Kasetsart*

- University, Bangkok, *Unsaturated Soil Testing for Slope Studies*.
- Jotisankasa,A.,Vathananukij,H., 2008, International Conference on Management of Landslide Hasard in Asia-Pasific Region, *Invetigation of soil moisture characteristics of landslide-prone slopes in Thailand*.
- Jotisankasa,A., 2010,*Importance of unsaturated soil mechanics in geotechnical engineering in Thailand*.
- Jotisanksa,A., 2009, Geotechnical Innovation 2<sup>nd</sup> edition, *Manual for User of KU-T1/T2/T3/T4/PT*.
- Jotisankasa,A., and Mairiang,W., 2010, Suction-monitored direct shear testing of residual soils from landslide-prone areas, *Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering*, Vol.136(3),533-537.
- Jotisankasa,A., Porlila,W., Soralump,S., and Mairiang,W., 2007, Development of a low cost miniature tensiometer and its application, *Procedding of 3<sup>rd</sup> Asian Conference on Unsaturated Soils (Unsat-Asia 2007)*, Nanjing, China, April 21-23
- Ma, Y., Feng., S., Sua, D., and Huo,Z., 2010, *Modeling water infiltration in a large layered soils coloumn wih modified Green-Ampt model and HYDRUS-1D*, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.71s, S40-S47.
- Muntohar,A.S., 2015, 10<sup>th</sup> Indonesian Geotechnical Conference and 19<sup>th</sup> annual Scientific Meeting Jakarta-Indonesia, *Influence of the Soil-Water Retention Curve Models on the Stability of Residuals Soils Slope*.
- Muntohar, A.S.,Ikhsan,J., and Soebowo,E., 2013, Geo-Congress, *Mechanism of rainfall triggering landslides in Kulonprogo, Indonesia*.
- Muntohar, A. S., 2009, *Mekanika Tanah*, Yogyakarta: LP3M UMY.
- Rahardjo,H.,Nio,A.S.,Leong,E.C.,and Song,Y.N., 2010, *Journal of Geotechnical and Genviromental Engineering, Effects of Groundwater Table Position and Soil Properties on Stability of Slope during Rainfall*, Vol. 136, No. 11, pp. 1555-1564.
- Putra, H., Rifa'i, A., dan Sujono, J., 2014. Pengaruh Infiltrasi Parameter Tanah Tak Jenuh Sebagian Dalam Analisis Stabilitas Lereng, Tugas Akhir : Universitas Gadjah Mada.
- Santoso,A,M., Phoon,K,K., and Quek,S,T., 2011, *Effect of 1D Infiltration Assumption on Stability of Spatially Variable Slope*, *Procedding GeoRisk 2011: Geotechnical Risk Assesment and Management*, June 26-28, 2011, Atlanta, Georgia, United States, pp 704-711.
- Simunek,J., van Genuchten, M., Th., and Senja,M., 2005, *The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 3.0, HYDRUS Software Series 1*, Departement of Enviromental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, 270 p.
- Qiu, C., Esaki,T., Xie,M., Mitani,Y., and Wang,C., 2007. *Saptio-temporal estimation of shallow landslide hazard triggered by rainfall using a three-dimensional model*, *Enviromental Geology*, Vol52(8):1569-1579.
- Rahimi,A.,Rahardjo,H.,dan Leong,E.C., S, 2011, *Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, Effect of Antecedent Rainfall Patterns on Rainfall-Induced Slope Failure*, Vol. 137,No. 5, pp 483-491.
- Zhan,T., dan Charles,W., 2004, *International Journal og Geomechanics, Analytical Analysis of Rainfall Infiltration Mechanism in Unsaturated Soils*, Vol. 4, No. 4, pp 273-284.

