



## **PENGARUH INTENSITAS DAN DURASI HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG TANAH RESIDUAL VULKANIK DI JALUR LIWA-KEMUNING, LAMPUNG BARAT**

**M Raafiud Darajaat<sup>1\*</sup>, Prahara Iqbal<sup>2</sup>, Zufaldi Zakaria<sup>1</sup>, Dicky Muslim<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung – Indonesia

\*Korespondensi: [mochammadrafi24@gmail.com](mailto:mochammadrafi24@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Salah satu penyebab terjadinya bencana longsor yaitu intensitas hujan yang tinggi. Berdasarkan majalah *online* Tribun Lampung tahun 2013, setidaknya tiga titik longsor di ruas jalan nasional yang menghubungkan Liwa-Kemuning terjadi akibat cuaca ekstrem beberapa waktu terakhir. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi hujan terhadap kestabilan lereng di daerah penelitian. Analisis numerik menggunakan perangkat lunak *SEEP/W* untuk analisis rembesan dengan hujan sebagai parameter utama dan *SLOPE/W* untuk analisis kestabilan lereng. Berdasarkan hasil analisis numerik, perubahan tekanan pori pada lereng L1 lebih signifikan dibandingkan lereng L2. Hal tersebut selaras dengan menurunnya faktor keamanan pada lereng L1 mengalami penurunan faktor keamanan hingga 19 % dan pada lereng L2 mengalami penurunan hingga 2% dengan berbagai model intensitas dan durasi hujan di daerah penelitian.

**Kata Kunci :** Tegangan Pori, Stabilitas Lereng, Tanah Tidak Jenuh, Hujan

### **ABSTRACT**

*One of the causes of landslides is the high rainfall intensity. Based on the online magazine Tribun Lampung in 2013, at least three landslides in the national road Liwa-Kemuning have occurred due to extreme weather for some time. The purpose of this study is to determine the effect of rainfall variations on the stability of slopes in the study area. Numerical analysis uses SEEP/W software for seepage analysis with rain as the main parameter and SLOPE /W for slope stability analysis. Based on the results of numerical analysis, the change in pore pressure on the L1 slope is more significant than the L2 slope. This is consistent with the decrease in the safety factor on the slope L1 decreased by a safety factor of up to 19% and on the slope L2 decreased by 2% with various models of the intensity and duration of rain in the study area.*

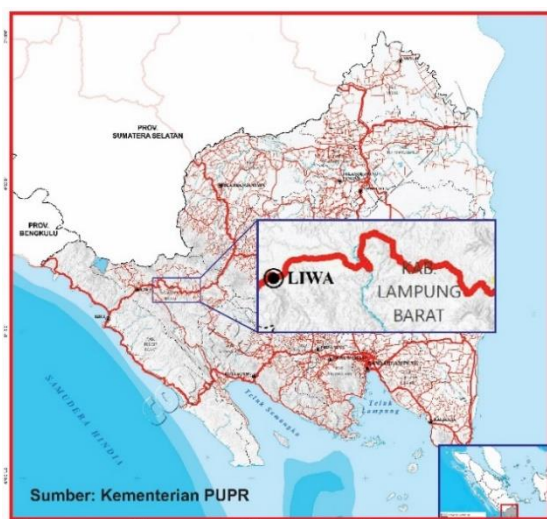
**Keywords :** *Matric Suction, Slope Stability, Unsaturated Soil, Rainfall*

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan pantauan Tribun Lampung (2013), setidaknya tiga titik longsor di ruas jalan nasional yang menghubungkan Liwa-Kemuning terjadi akibat cuaca ekstrem beberapa waktu terakhir. Berkaitan dengan hal tersebut, hujan sebagai faktor pengontrol gerakan tanah sangat berpengaruh terhadap kejadian longsor di daerah penelitian.

Salah satu pemicu terjadinya tanah longsor adalah curah hujan yang sangat tinggi (Akhbar & Muntohar, 2018). Hal ini terkait erat dengan kondisi Indonesia sebagai salah satu negara tropis yang memiliki curah hujan intensitas tinggi (Sagitaningrum *et al.* 2018). Dalam kondisi ini, infiltrasi menyebabkan volume air meningkat dalam tanah yang semula merupakan *unsaturated soil* (Smith, 2018). Yang kemudian secara langsung mempengaruhi sifat hidro-mekanik tanah. Penurunan *matric suction* menyebabkan berkurangnya tegangan efektif dan kekuatan geser yang ada. Pada saat yang sama, meningkatnya *water content* meningkatkan permeabilitas hidraulik tanah (Peranic *et al.* 2019).

Tujuan dari pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh intensitas dan durasi curah hujan terhadap faktor keamanan lereng tanah residual vulkanik di Jalur Liwa-Kemuning, Lampung Barat.



Gambar 1.1 Daerah Penelitian

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

Daerah penelitian termasuk dalam peta geologi lembar Kotaagung (Amin., 1998) dan lembar Baturaja (Pardede dan Gafur., 1986). Formasi batuan di daerah penelitian secara

sederhana dapat dikelompokkan menjadi empat satuan yaitu (berdasarkan urutan dari muda ke tua).

#### Formasi Gunung Api Kuarter

Formasi ini terdiri atas Satuan breksi Gunung Api Tuf dan Satuan Gunung Api Kuarter andesit basal yang disusun oleh breksi lava dan tuf yang bersusunan andesit sampai basal dan batuan gunung api tuf, breksi lava berwarna abu-abu kehitaman, agak kompak, terpilah buruk, berukuran kerikil sampai bongkah, bentuk menyudut sampai menyudut tanggung yang terdiri atas andesit, basal, dan batuapung.

#### Formasi Ranau

Formasi ini terdiri atas breksi batuapung, tuf mikaan, tuf batuapung, dan kayu terkarsikan. Breksi batuapung berwarna abu-abu muda sampai abu-abu kecoklatan, berukuran kerikil sampai kerakal, bentuk menyudut sampai menyudut tanggung, komponen batuapung, andesit, riolit, dan mika dengan massa dasar tuf pasir.

#### Formasi Hulusimpang

Formasi ini terdiri atas breksi gunung api dan tuf yang bersusunan andesit-basal yang mengalami proses ubahan, urat kuarsa dan mineral.

### 2.2 Sifat Tanah Jenuh Sebagian

Terdapat dua sifat dasar terkait dengan aliran air pada tanah tak jenuh, yaitu:

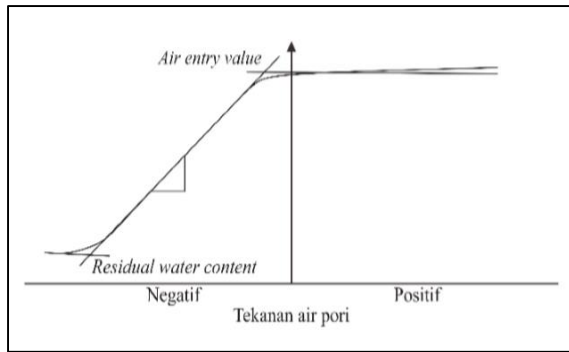
#### Soil Water Characteristic Curve (SWCC)

merupakan kurva yang menggambarkan hubungan jumlah air dalam tanah yang mempengaruhi perubahan tegangan hisap tanah (Fredlund dan Xing, 1994). SWCC juga sering diartikan sebagai *volumetric water content curve* yang dapat menggambarkan kemampuan tanah untuk menyimpan dan melepaskan air. Perilaku tanah yang bisa diperoleh dari SWCC adalah kuat geser tanah, koefisien permeabilitas, dan derajat kejenuhan (Siller *et al.*, 2001 dalam Priksawan 2019). Dikarenakan sulitnya dalam pengukuran *soil suction* dan membutuhkan waktu yang lama, sehingga dalam memprediksi SWCC salah satunya dapat menggunakan kurva distribusi partikel. Salah satu model dari Fredlund (Fredlund, 2006). Dengan persamaan berikut:

$$\theta_w = \frac{\theta_s}{\left\{ \ln \left[ e + \left( \frac{\Psi}{a} \right)^n \right] \right\}^m} \quad (2.1)$$

Dimana  $\theta_s$  merupakan *saturated volumetric water content*,  $e$  adalah koefisien dasar logaritma,  $\Psi$  adalah *soil suction*,  $a$  adalah *air entry value*, dan  $m$  adalah kelengkungan kurva.

SWCC memiliki dua karakteristik utama, yaitu *air entry value (AEV)* dan *residual water content* ( $\theta_r$ ). *air entry value (AEV)* didefinisikan sebagai *matric suction* dimana udara mulai masuk ke pori dalam tanah sedangkan *residual water content* didefinisikan sebagai kadar air dimana perubahan *suction* yang dibutuhkan untuk menambahkan air dari tanah (Gambo, 2011).



Gambar 2.1 Fungsi *volumetric water content* (Krahn, 2004)

### Hidraulik Konduktivitas

Hidraulik konduktivitas tanah mengindikasikan kemampuan tanah untuk merubah *matric suction* sebagai hasil dari perubahan lingkungan (Fredlund dan Rahardjo, 1993). Estimasi nilai konduktivitas hidraulik dapat dilakukan melalui pendekatan empiris menurut Fredlund dkk. (1994 dalam Krahn, 2012 dalam Priksawan, 2019).

$$k_w = k_s \frac{\sum_{i=j}^N \frac{\theta(e^y) - \theta(\Psi)}{e^y} \theta'(e^y)}{\sum_{i=a}^N \frac{\theta(e^y) - \theta_s}{e^y} \theta'(e^y)} \quad (2.2)$$

Dimana,  $k_w$  adalah konduktivitas terhitung dari kadar air dan tekanan air pori negatif.  $k_{sat}$  adalah konduktivitas hidraulik terukur pada sampel tanah jenuh.  $\theta$  adalah *volumetric water content*.  $e$  adalah koefisien dasar logaritma.  $y$  adalah variabel yang dapat mewakili logaritma tekanan air pori.  $j$  adalah interval dari  $j$  ke  $N$ .  $i$  adalah nilai tekanan air pori negatif paling rendah.  $N$  adalah nilai tekanan air pori negatif paling tinggi.  $\Psi$  adalah *matric suction*.  $\theta_s$  adalah turunan pertama dari rumus.

### 2.3 Kestabilan Lereng tanah tak jenuh

Tekanan air pori negatif atau *matric suction* memiliki efek meningkatkan kekuatan geser tanah tak jenuh. Makadari itu dalam kestabilan lereng tanah tak jenuh penting untuk mempertimbangkan tambahan kekuatan geser karena *matric suction* (Gambo, 2011). Fredlund *et al*, (1978) mengembangkan persamaan kekuatan geser dari pada tanah tak jenuh yang mana termasuk menambahkan kekuatan geser karena *matric suction*. Dinyatakan dengan:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \theta' + (u_a - u_w) \tan \theta^b \quad (2.3)$$

Maka dari itu, faktor keamanan dari lereng tanah jenuh sebagian dapat digambarkan termasuk menambahkan kekuatan geser akibat *matric suction*. Dengan persamaan:

$$F = \frac{\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \theta' + (u_a - u_w) \tan \theta^b}{\gamma_{sat} H \cos(\alpha \cdot \sin \alpha)} \quad (2.4)$$

Dimana  $c'$  adalah kohesi efektif,  $\theta'$  adalah sudut gesek efektif,  $(\sigma_n - u_a)$  adalah jumlah tegangan normal,  $u_a$  adalah tekanan udara pori,  $u_w$  adalah tekanan air pori,  $(u_a - u_w)$  adalah *matric suction*,  $\theta^b$  sudut yang menunjukkan variasi penambahan kuat geser relatif terhadap tegangan hisap,  $\alpha$  adalah sudut lereng,  $H$  adalah tinggi lereng,  $\gamma$  adalah berat isi.

### 3.1 METODE

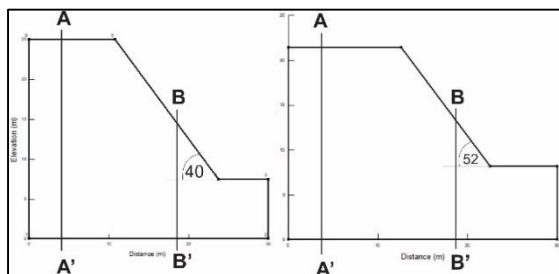
Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu pengolahan data sekunder hasil uji laboratorium berupa sifat fisik dan mekanik tanah, serta data curah hujan yang diperoleh dari stasiun terdekat dari lokasi penelitian, yaitu Stasiun Semarang Jaya milik Dinas PU (Pekerjaan Umum) Pengairan yang berlokasi di Semarang Jaya, Lampung Barat. Curah hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah curah hujan jam-jaman dalam kurun waktu 11 bulan mulai dari Februari 2018 – Mei 2018 dan Juli 2019 – Januari 2020 dengan harapan dapat merepresentasikan kondisi kering dan basah selama satu tahun di daerah penelitian.

#### 3.1 Parameter Tanah dan Geometri Lereng

Terdapat dua lereng yang dijadikan objek pada penelitian yaitu lereng L1 memiliki material tanah MH homogen (Tabel 3.1) dan geometri lereng dengan jarak horizontal 13 m, jarak vertikal 17 m, serta kemiringan lereng 40° (Gambar 3.2). Lereng L2 memiliki material tanah MH homogen (Tabel 3.1) dan geometri lereng memiliki jarak horizontal 8 m, jarak

vertikal 15 m, serta kemiringan lereng 52° (Gambar 3.2)

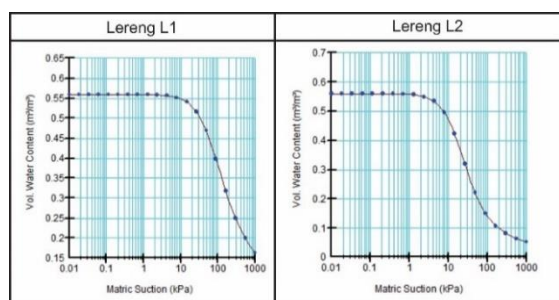
|                                 | Lereng L1 | Lereng L2 |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| $\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.55      | 1.56      |
| $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.223     | 1.2       |
| Berat Jenis (Gs)                | 2.7       | 2.96      |
| Vol Water Content               | 0.56      | 0.56      |
| Ksat                            | 5.54E-05  | 2.11E-07  |
| Jenis Tanah                     | MH        | MH        |
| Kohesi (kg/cm <sup>2</sup> )    | 0.23      | 0.1011    |
| Sudut Geser Dalam (°)           | 20.3      | 18.36     |



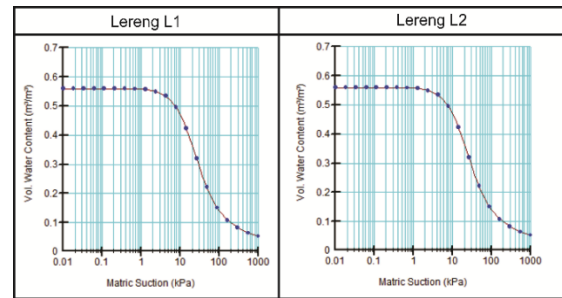
Gambar 3.2 Geometri lereng

Pada tanah jenuh sebagian, dibutuhkan fungsi *Soil water characteristic curve* (Gambar 3.3) untuk mengetahui dan memprediksi sifat tanah terhadap perubahan *matric suction* bisa dibuat dengan menggunakan fungsi metode estimasi.

dari Fredlund-Xing berupa jenis tanah dan *saturated water content* sebagai data masukan. Selain itu, fungsi *Hydraulic conductivity* (Gambar 3.4) juga dibutuhkan untuk memperkirakan nilai konduktivitas hidraulik tanah dalam keadaan jenuh sebagian terhadap nilai dari *matric suction* dengan memplotkan fungsi dari *matric suction* pada SWCC dan koefisien permeabilitas pada tanah jenuh ( $k_{sat}$ ).



Gambar 3.3 Kurva fungsi SWCC



Gambar 3.4 Kurva fungsi konduktivitas hidraulik.

### 3.2 Analisis Rembesan

Analisis rembesan dilakukan untuk mengetahui perubahan *matric suction* akibat infiltrasi hujan. Terdapat dua kondisi pada analisis rembesan, *steady state* dan *transient*. *steady state* untuk mendapatkan kondisi awal lereng sebelum dipengaruhi hujan, dan analisis *transient* untuk pemodelan lereng yang dipengaruhi hujan. Analisis rembesan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *finite elemen method* perangkat lunak *SEEP/W*.

### 3.3 Analisis Kestabilan Lereng

Data yang diperoleh dari analisis rembesan menggunakan perangkat lunak *SEEP/W* kemudian di ekspor kedalam *SLOPE/W* pada fitur *parent analysis* menggunakan *limit equilibrium method* untuk menghitung FS serta mengevaluasi pengaruh dari perubahan tekanan air pori terhadap kestabilan lereng.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Curah Hujan

Data curah hujan yang tersedia berupa data curah hujan jam – jaman , durasi hujan maksimum diketahui sebesar 10 jam, intensitas hujan yang sering terjadi adalah 10 mm/jam, intensitas hujan rata – rata adalah 42 mm/jam, serta intensitas hujan maksimum adalah 460 mm/jam. Untuk mengetahui pengaruh karakteristik hujan yang terjadi, maka akan digunakan enam kondisi dalam pemodelan hujan (Tabel 4.1).

| Model | Intensitas Curah Hujan                    | Durasi Hujan |
|-------|-------------------------------------------|--------------|
| I     | Tanpa Hujan                               | 0            |
| II    | Intensitas yang sering terjadi (10mm/jam) | 10 Jam       |
| III   | Intensitas rata – rata (43mm/jam)         | 10 Jam       |
| IV    | Intensitas maksimum (460mm/jam)           | 3 Jam        |
| V     | Intensitas yang sering terjadi (10mm/jam) | 168 Jam      |
| VI    | Intensitas rata – rata (43mm/jam)         | 120 Jam      |

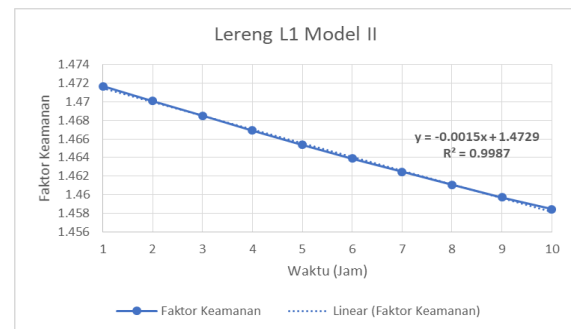
#### 4.2 Pengaruh Hujan terhadap Perubahan Tekanan Air Pori

Terdapat dua garis penampang pengamatan untuk profil tekanan pori (Gambar 3.2) Pengaruh variasi karakteristik hujan mulai dari Model II – Model VI (Lampiran A). Berdasarkan hasil simulasi numerik perubahan tekanan pori terbesar yang terjadi pada lereng L1 ditunjukkan pada Model VI dimana terjadi perubahan tekanan air pori hingga kedalaman 22 m yang ditinjau dari garis peninjauan A-A' dan Model IV hingga kedalaman 13 m yang ditinjau dari garis peninjauan B-B'.

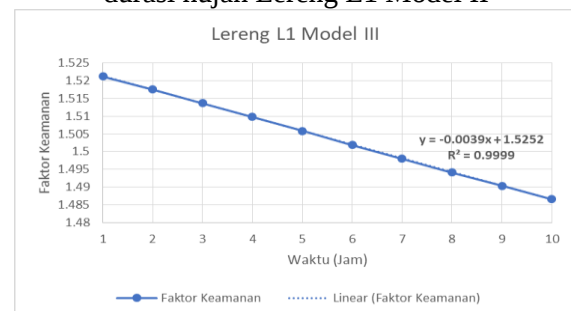
Sedangkan pada lereng L2 perubahan tekanan air pori terhadap kedalaman (Lampiran B) terbesar ditunjukkan oleh Model V dan Model VI dimana terjadi perubahan tekanan air pori hingga kedalaman 4 m yang ditinjau dari garis peninjauan A-A' dan Model IV dan Model VI terjadi perubahan tekanan air pori hingga kedalaman 13 m yang ditinjau dari garis peninjauan B-B'.

#### 4.3 Pengaruh Variasi Curah Hujan Terhadap Kestabilan Lereng

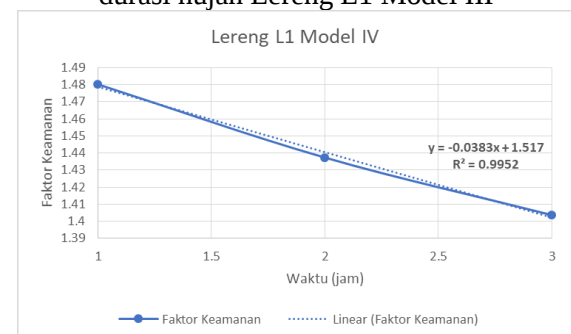
Berdasarkan hasil simulasi numerik kestabilan lereng L1, faktor keamanan terkecil mulai dari Model II – Model VI adalah sebesar 1.331 pada Model VI. Besarnya penurunan faktor keamanan lereng L1 sebesar 0.13-0.5.3% setiap jamnya (Model II) (Gambar 4.1), 0.4% setiap jamnya (Model III) (Gambar 4.2), 3-4% setiap jamnya (Model IV) (Gambar 4.3), 0.04-9% setiap harinya (Model V) (Gambar 4.4), dan 0.3-14% setiap harinya (Model VI) (Gambar 4.5). Secara umum hasil simulasi kestabilan lereng L1 memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.25, hal ini menunjukkan bahwa lereng L1 merupakan lereng yang stabil saat diberikan hujan dengan berbagai model intensitas hujan (Bowles,1979).



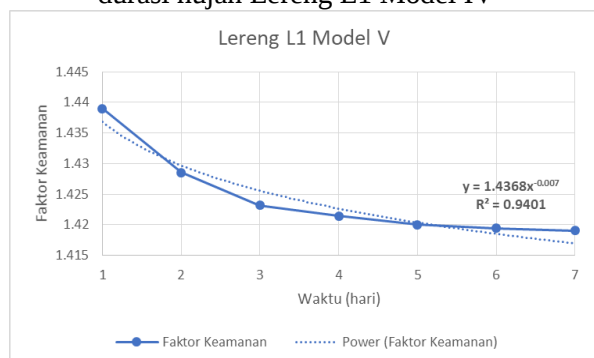
Gambar 4.1 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L1 Model II



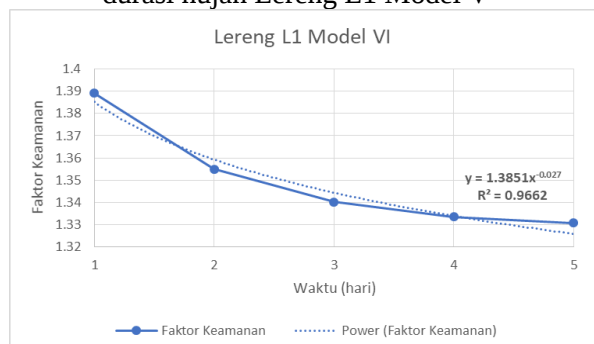
Gambar 4.2 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L1 Model III



Gambar 4.3 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L1 Model IV

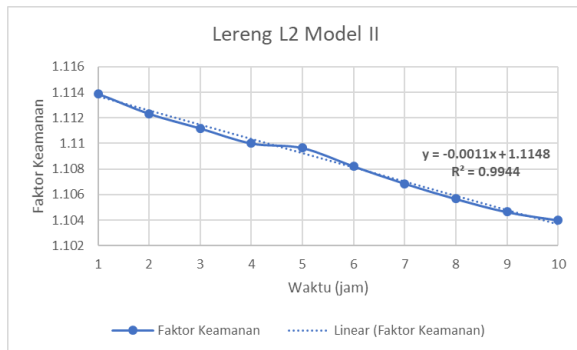


Gambar 4.4 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L1 Model V

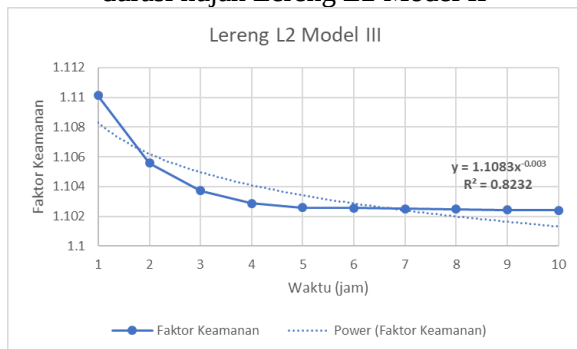


Gambar 4.5 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L1 Model VI

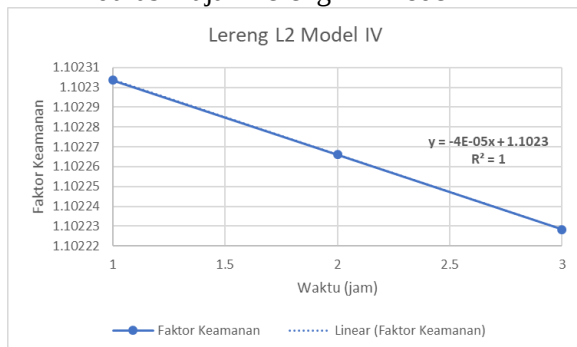
Berdasarkan hasil simulasi kestabilan lereng L2, faktor keamanan terkecil mulai dari Model II – Model VI adalah sebesar 1.092. Besarnya penurunan faktor keamanan sebesar 0.05-0.1% setiap jamnya (Model II) (Gambar 4.6), 0.0038-0.4% setiap jamnya (Model III) (Gambar 4.7), dan 0.0034-11% setiap jamnya (Model IV) (Gambar 4.8), 0.17-1.2% setiap harinya (Model V) (Gambar 4.9), dan 0.14-1.2% setiap harinya (Model VI) (Gambar 4.10). Secara umum hasil simulasi kestabilan lereng L2 memiliki nilai faktor keamanan antara 1.07 sampai 1.25, hal ini menunjukkan bahwa lereng L2 merupakan lereng yang kritis saat diberikan hujan dengan berbagai model intensitas hujan (Bowles, 1979).



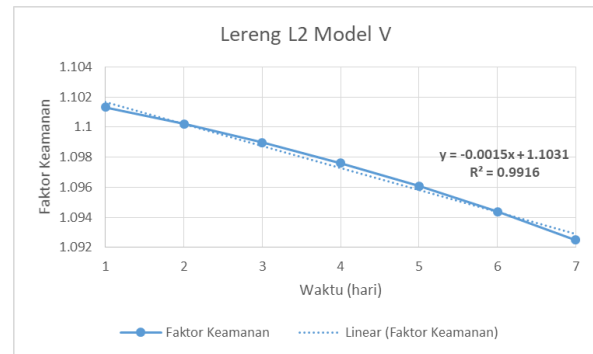
Gambar 4.6 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L2 Model II



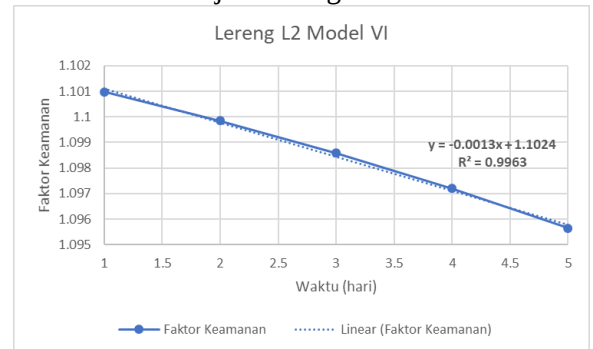
Gambar 4.7 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L2 Model III



Gambar 4.8 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L2 Model IV



Gambar 4.9 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L2 Model V



Gambar 4.10 Grafik faktor keamanan terhadap durasi hujan Lereng L2 Model VI

Dalam simulasi kedua lereng diatas, diketahui bahwa seiring dengan meningkatnya curah hujan akan menurunkan kestabilan lereng. Nilai dari kestabilan lereng pada kondisi kering (dengan intensitas rendah) dan kondisi basah (dengan intensitas tinggi), akan menghasilkan nilai, dan pengaruh terhadap kestabilan lereng. Dalam menentukan faktor keamanan lereng, suatu persamaan harus melibatkan faktor koreksi pada kondisi musim hujan (Zakaria dkk., 2015)

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik pada penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perubahan tekanan pori terhadap kedalaman yang disimulasikan pada lereng L1 lebih signifikan mempengaruhi perubahan tekanan pori dibandingkan pada lereng L2. Hal tersebut terjadi akibat perbedaan konduktivitas hidraulik dimana pada lereng L1 memiliki nilai konduktivitas hidraulik lebih besar dibandingkan dengan lereng L2.
2. Berdasarkan hasil simulasi kestabilan lereng L1 memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.25 yang dikategorikan dalam kategori aman, sedangkan pada lereng L2 memiliki nilai faktor keamanan antara 1.07 sampai 1.25 yang dikategorikan dalam kategori kritis.

Meningkatnya tekanan pori di permukaan diikuti dengan menurunnya nilai faktor keamanan yang disimulasikan pada lereng L1 mengakibatkan ketidakstabilan lereng yang tercermin melalui turunnya nilai faktor keamanan hingga 30.6%, sedangkan variasi hujan yang disimulasikan pada lereng L2 hanya mengakibatkan turunnya faktor keamanan sebesar 2%.

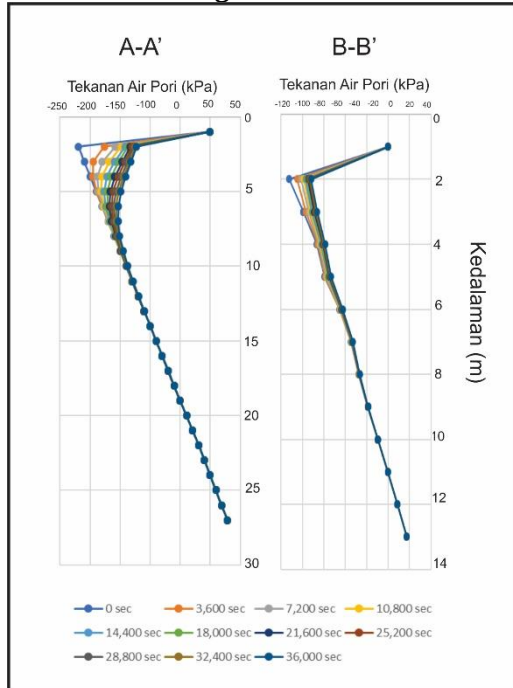
## DAFTAR PUSTAKA

- Akhbar, F.D., dan Muntohar, S. 2018. Model Prediksi Gerakan Tanah dengan Ambang Hujan. UYM
- Amin, T.C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W., 1993., Peta Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Bowles, J.E, 1979, *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGrawHill, Inc, USA
- Gafoer, S., Amin, T.C., dan Pardede, R., 1993. Peta Geologi Lembar Baturaja, Sumatera, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- Haruna, Gambo. 2012. *Influence of evaporation on transient suction distribution in unsaturated soil*. *International Journal of the Physical Sciences*. 7. 10.5897/IJPS11.1651.
- Fredlund, D.G. dan Xing, A. 1994. *Equations for the soil-water characteristic curve*, *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 521-532.
- Fredlund, Delwyn. 2006. *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - J GEOTECH GEOENVIRON ENG*. 132.10.1061/(ASCE)10900241(200 )132:3(286).
- Fredlund DG, Rahardjo H. 1993. *Soil Mechanics For Unsaturated Soils*. A Wiley-Interscience Publication: John Wiley & Sons, Inc., Toronto.
- Fredlund DG, Morgenstern NR, Widger A. 1978. *Shear strength of unsaturated soils*. *Can Geotech J* 15:313-321
- Krahn, John. 2004. *Stability modelling with SLOPE/W an engineering methodology*, *GEO-SLOPE/W International Ltd.*, Calgary, Canada, 394 hal.
- Krahn, John. 2012. *Seep modelling with SEEP/W an engineering methodology*, *GEO-SLOPE/W International, Ltd.*, Calgary, Canada, 199 hal.
- Peranić, Josip & Jagodnik, V & Arbanas, Zeljko. 2019. *Rainfall infiltration and stability analysis of an unsaturated slope in residual soil from flysch rock mass*. 10.32075/17ECSMGE-2019-0906.
- Priksawan, A. 2019. Pengaruh intensitas hujan terhadap kestabilan lereng tanah residual batuan vulkanik di daerah Kertamukti, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat (Studi Kasus: Lapak PLTM), Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Sagitaningrum, Fathiyah & Bahsan, Erly. 2017. *Parametric study on the effect of rainfall pattern to slope stability*. *MATEC Web of Conferences*. 101. 05005.10.1051/mateconf/201710105005.
- Smith, C.G. 2003. *Numerical Analysis of Infiltration Into Partially Saturated Soil Slopes*. Thesis submitted to the University of London.
- Sulis Seta Markhamah. 2013. Waspada Lonsor di Jalan Nasional Bukit Kemuning-Liwa di [tribunnews.com/regional/2013/02/15/waspada-longsor-di-jalan-nasional-bukit-kemuning-liwa](http://tribunnews.com/regional/2013/02/15/waspada-longsor-di-jalan-nasional-bukit-kemuning-liwa). Diakses pada tanggal 21 Januari 2020.
- Zufialdi ZAKARIA, Luthfan H. JIHADI, Zahra S. SABILA, Agus W. OSCAR, 2015, *Simulation of Slope Stability in the Dry and Rainy Season at Jatinangor, District of Sumedang, West Java, Proceedings of The 2nd International Conference Hanoigeo*, ISBN: 978-604-913-418-0, "Engineering Geology in Respond to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure", 27-28 November 2015, pp. 365-367

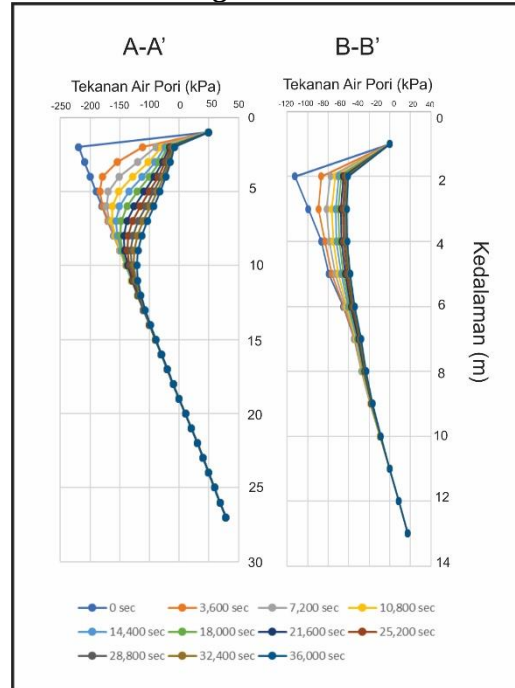
## LAMPIRRAN

### LAMPIRAN A Distribusi Tekanan Air Pori Lereng L1

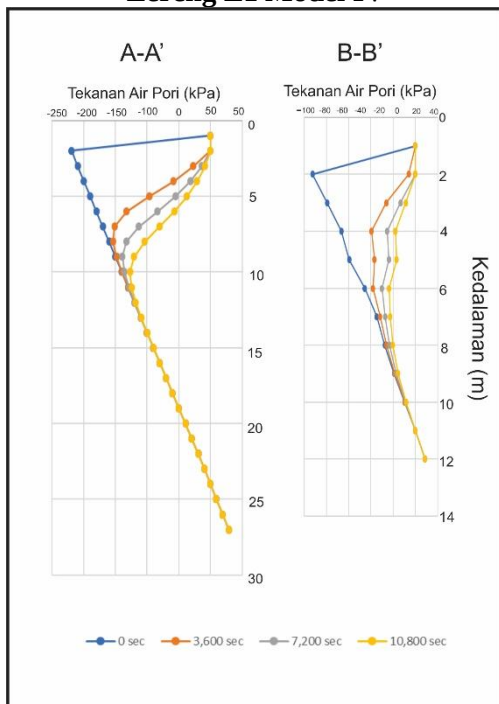
**Lereng L1 Model II**



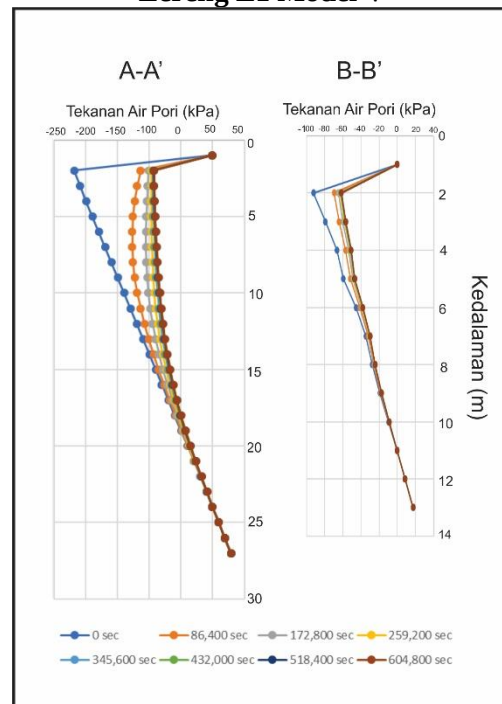
**Lereng L1 Model III**



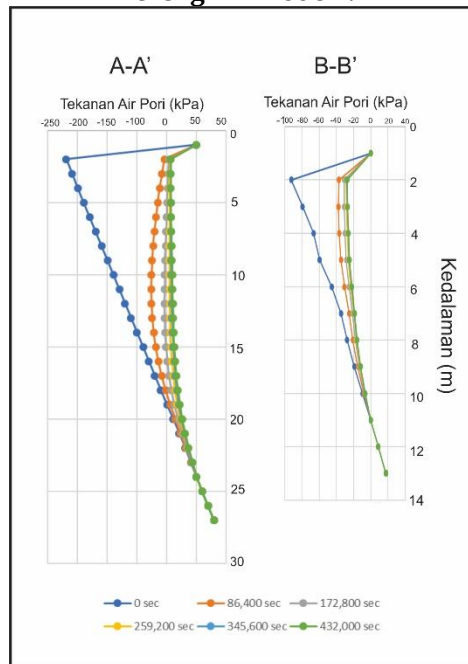
**Lereng L1 Model IV**



**Lereng L1 Model V**

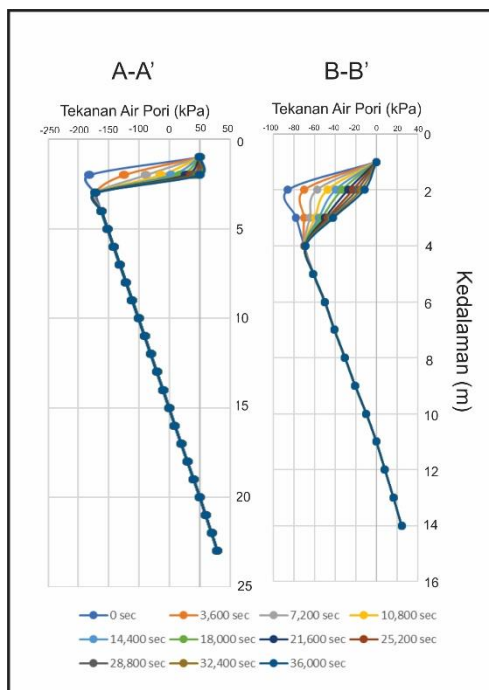


### Lereng L1 Model VI

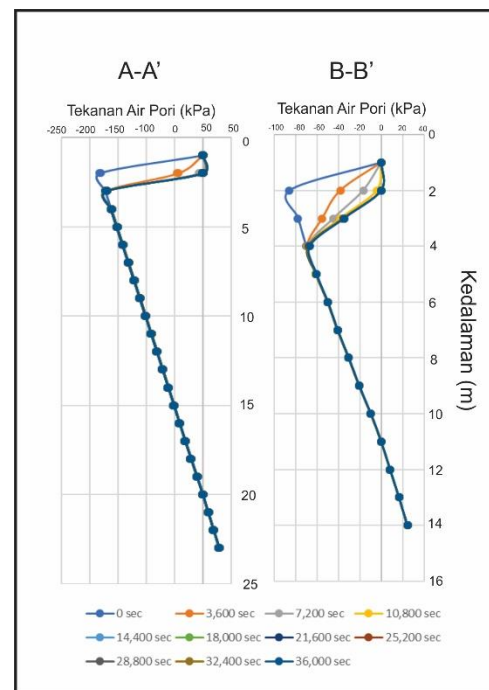


## LAMPIRAN B Distribusi Tekanan Air Pori Lereng L2

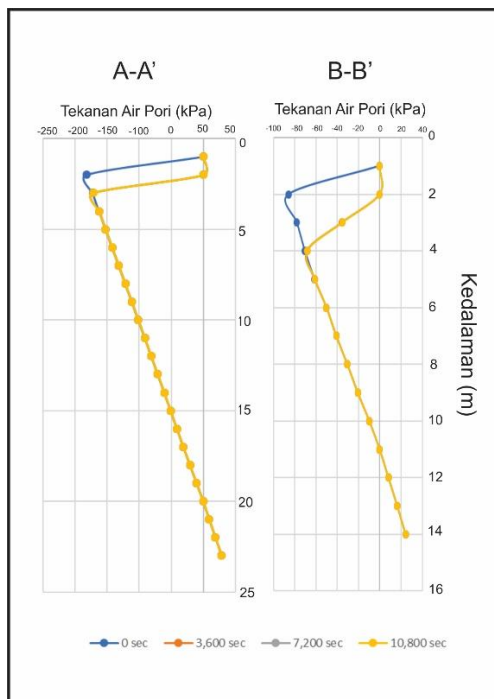
### Lereng L2 Model II



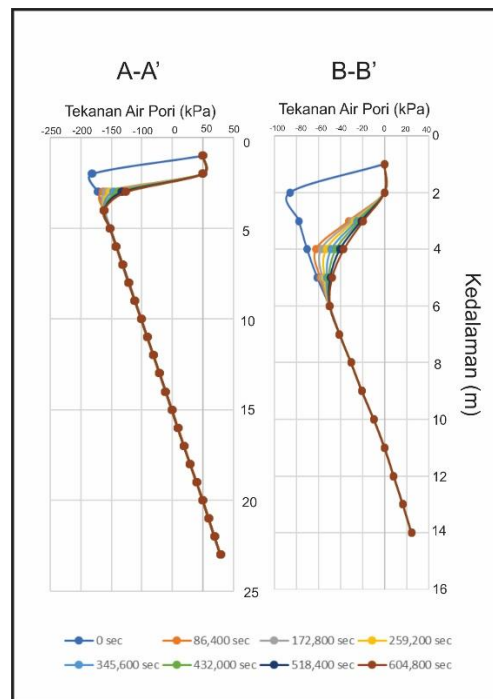
### Lereng L2 Model III



**Lereng L2 Model IV**



**Lereng L2 Model V**



**Lereng L2 Model VI**

