

# ANALISIS STABILITAS LERENG AKIBAT BEBAN HUJAN HARIAN MAKSIMUM BULANAN DAN BEBAN LALU LINTAS (Studi Kasus : Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri)

Desta Prabawa<sup>1)</sup>, Niken Silmi Surjandari<sup>2)</sup>, Noegroho Djarwanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Laboratorium Mekanika Tanah UNS, Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-647067 psw.219.

Email: desta.prabawa@gmail.com

## Abstract

Wonogiri is a region in Indonesia that its geographical conditions made up a lot of hills and slopes. The infrastructure above the slopes and the rainy season cause the burden increasingly heavy thus it's increase the potential of catastrophic landslide. This research aims to know the influence of maximum daily rainfall monthly loads and traffic loads against the stability of slopes in Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri. The rainfall data which is calculated as the slope load observed in wet months for a period of ten years from 2004-2013. Traffic load data based on the criteria of the road. Slope variations 30°, 45°, 60°, and the existing slope with visual observation 48°. Calculation of rainfall infiltration into the ground using Green-Ampt method. Slope stability analysis using Morgenstern-Price method with help of the software Slope/W. The result of slope stability with condition before rainfall at angles of 30°, 45°, 48°, and 60° produces safety factor (SF) are respectively 2.410, 1.67, 1.59, and 1.351. On the conditions after rainfall with heaviest loads show safety factor (SF) at an angle 30° is 2.215, at an angle 45° is 1.646, at an angle 48° is 1.563, and at an angle 60° is 1.317. Relationship between safety factor with years of analysis showed that the most critical SF took place in December 2007, while the average month over the past 10 years the most critical month occurred in February. Both of these conditions indicate safety factor (SF) above the critical SF 1.07 so the slopes are safe against the danger of landslides. Result of the analysis showed that rain, loads, and slopes influence decreasing safety factor (SF).

**Key words:** Green-Ampt, infiltration, safety factor, Slope/W, slope stability

## Abstrak

Wonogiri merupakan daerah di Indonesia yang kondisi geografisnya terdiri atas banyak bukit dan lereng. Infrastruktur diatas lereng dan musim penghujan menyebabkan beban semakin berat sehingga meningkatkan potensi terjadi bencana tanah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh hujan harian maksimum bulanan dan beban lalu lintas terhadap stabilitas lereng di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri. Data hujan yang dihitung sebagai beban lereng diamati pada bulan basah selama periode sepuluh tahun dari 2004 – 2013. Data beban lalu lintas didasarkan pada kriteria jalan. Variasi kemiringan lereng 30°, 45°, 60° dan kemiringan eksisting lereng dengan pengamatan visual 48°. Perhitungan infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam tanah menggunakan metode Green-Ampt. Analisa stabilitas lereng menggunakan metode Morgenstern-Price dengan bantuan program Slope/W. Hasil analisa stabilitas lereng dengan kondisi sebelum hujan pada sudut 30°, 45°, 48°, dan 60° menghasilkan angka keamanan (SF) berturut-turut yaitu 2.241, 1.67, 1.59, dan 1.351. Pada kondisi setelah hujan dengan pembebanan paling besar menunjukkan angka keamanan (SF) pada sudut 30° adalah 2.215, pada sudut 45° adalah 1.646, pada sudut 48° adalah 1.563, dan pada sudut 60° adalah 1.317. Hubungan angka keamanan dengan tahun analisis menunjukkan bahwa bulan yang paling kritis nilai SF terjadi pada bulan Desember 2007, sedangkan rerata bulan selama kurun waktu 10 tahun bulan paling kritis terjadi di bulan Februari. Kedua kondisi tersebut menunjukkan angka keamanan (SF) diatas SF kritis sebesar 1.07 sehingga lereng masih aman terhadap bahaya tanah longsor. Hasil analisa menunjukkan bahwa hujan, beban diatas lereng, dan kemiringan lereng berpengaruh terhadap penurunan angka keamanan (SF).

**Kata kunci:** angka keamanan, Green-Ampt, infiltrasi, Slope/W, stabilitas lereng

## PENDAHULUAN

Wonogiri merupakan daerah di Indonesia yang kondisi geografisnya terdiri atas banyak bukit dan lereng. Bencana alam yang sering terjadi di daerah lereng adalah tanah longsor. Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting karena menyangkut persoalan keamanan baik itu makhluk hidup ataupun benda mati. Analisa stabilitas lereng diperlukan untuk mengetahui nilai keamanannya. Melihat peranan penting beban bangunan dan curah hujan terhadap bencana longsor, penelitian ini sangat diperlukan untuk memperkirakan terjadinya bencana tanah longsor di musim penghujan pada lereng dengan kemiringan tertentu. Analisis hidrologi, curah hujan, beban luar (lalu lintas) dan stabiitas lereng yang disimulasikan dengan permodelan lereng dua dimensi diharapkan cukup akurat untuk memproyeksikan pengaruh beban luar dan curah hujan terhadap kejadian longsor di Desa Tambakmerang, Kecamatan Girimarto, Kabupaten Wonogiri yang merupakan lingkup DAS Keduang. Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng di DAS Keduang Wonogiri yang dipengaruhi oleh faktor hujan dan beban lalu-lintas dengan variasi sudut kemiringan lereng menggunakan metode Morgenstern-Price dengan bantuan *software Slope/W Geoslope 2007*.

## METODE PENELITIAN

### Analisis Mekanika Tanah

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sebelas Maret diperoleh hasil yang ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sampel Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Atas	Tengah	Bawah
$w$	%	34.08	37.27	28.01
$\gamma_b$	kN/m <sup>3</sup>	14.4158	13.9254	14.9061
$G_s$	-	2.48	2.49	2.47
Kerikill	%	8.67	0.43	1.37
Pasir	%	16.77	13.68	25.22
Lempung dan Lanau	%	74.57	85.88	73.42
LL	%	52.74	48.92	43.21
PL	%	40.14	31.99	28.70
IP	%	12.6	16.93	14.51
Klasifikasi Tanah	-	MH	ML	ML
$c$	kg/cm <sup>2</sup>	0.41	0.31	0.27
$\varphi$	...°	26.27	14.73	27.80
$k$	cm/detik		$1.9245 \times 10^{-5}$	
$e$	-	1.2628	1.4079	1.0809
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	16.2207	15.8750	16.7344
$\gamma_{dry}$	kN/m <sup>3</sup>	10.7516	10.1446	11.6445

### Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi yang dilakukan meliputi data hujan pada bulan basah yaitu bulan Januari, Februari, Maret, April, November, dan Desember selama sepuluh tahun dari 2004 sampai 2013 di tiga stasiun hujan DAS Keduang. Data hujan berupa data curah hujan harian yang diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta 1 Kabupaten Wonogiri. Perhitungan data hujan dari masing - masing stasiun hujan kemudian diubah menjadi hujan wilayah menggunakan metode Poligon Thiessen. Mencari koefisien Thiessen dengan cara membagi luasan stasiun hujan dengan luas total DAS. Hasil koefisien Thiessen DAS Keduang untuk Stasiun Ngadirojo, Jatisrono, dan Jatiroto dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Thiessen untuk Das Keduang, Wonogiri

Stasiun Hujan	Luas	Koef. Thiessen
Sta. Jatiroto	104.3654 km <sup>2</sup>	0.2479
Sta. Jatisrono	220.1695 km <sup>2</sup>	0.5230
Sta. Ngadirojo	96.4468 km <sup>2</sup>	0.2291
DAS Keduang	420.9817 km <sup>2</sup>	1

Perhitungan hujan wilayah dapat dilakukan dengan Persamaan [1] :

$$p = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots [1]$$

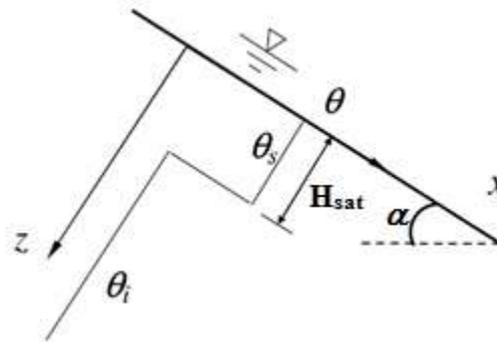
$p$  adalah hujan rerata daerah (mm/hari);  $p_1, p_2, \dots, p_n$  adalah hujan di stasiun 1, 2, ..., ke-n (mm/hari);  $n$  adalah jumlah stasiun; dan  $A$  adalah luasan daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n.

Penelitian menggunakan intensitas hujan dalam waktu 4 jam, maka hujan wilayah kemudian diubah menjadi intensitas hujan dengan rumus Mononobe yang diberikan di Persamaan [2] :

$$\dots\dots\dots [2]$$

$I$  adalah intensitas curah hujan (mm/jam);  $t$  adalah lamanya curah hujan (jam);  $m$  adalah tetapan ( ; dan  $R_{24}$  adalah curah hujan maksimum dalam 24 jam dalam bentuk hujan wilayah (mm).

Infiltrasi air hujan dan ketebalan tanah jenuh diperhitungkan menggunakan metode *Green-Ampt*. Li Chen dan Michael H Young memodifikasi metode *Green-Ampt* untuk bidang miring agar dapat digunakan pada lereng. Lihat Gambar 1.



Gambar 1. Infiltrasi Green-Ampt (Li Chen et.al, 2006)

Menurut Li Chen et.al (2006) berikut ini adalah bentuk sederhana dari persamaan Green-Ampt seperti ditunjukkan oleh Persamaan [3] :

$$kt \cos \alpha = F_p - \frac{\psi (\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F_p \cos \alpha}{\psi (\theta_s - \theta_i)} \right) \dots \dots \dots [3]$$

$F(t)$  adalah infiltrasi kumulatif (cm);  $k$  adalah koefisien permeabilitas (cm/jam);  $t$  adalah lama hujan (jam);  $\alpha$  adalah sudut kemiringan lereng ( $^\circ$ );  $\psi$  adalah suction (cm);  $\theta_s$  adalah kelembaban tanah jenuh; dan  $\theta_i$  adalah kelembaban tanah awal.

Untuk mencari kelembaban tanah jenuh ( $\theta_s$ ) menggunakan Persamaan [4] :

$$\theta_s = S \times n \dots \dots \dots [4]$$

$S$  adalah derajat kejenuhan (%); dan  $n$  adalah porositas (%)

Untuk kelembaban tanah awal ( $\theta_i$ ) menggunakan Persamaan [5] :

$$\theta_i = \frac{w}{\gamma_d} \dots \dots \dots [5]$$

$w$  adalah kadar air (%);  $\gamma_d$  adalah berat volume kering (gr/cm<sup>3</sup>);  $\gamma_w$  adalah berat jenis air

Untuk curah hujan stabil Persamaan [2] berubah menjadi Persamaan [6] :

$$k t - F_p - t_s \cos \alpha = F_p - \frac{\psi (\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F_p \cos \alpha}{\psi (\theta_s - \theta_i)} \right) \dots \dots [6]$$

Jumlah air yang terinfiltrasi sebelum air mulai menggenang di permukaan tanah /  $F_p$  (cm) dapat dicari menggunakan Persamaan [7] :

$$F_p = \frac{\psi (\theta_s - \theta_i)}{\frac{p \cos \alpha}{k} - \cos \alpha} \dots \dots \dots [7]$$

$p$  adalah intensitas hujan (cm/jam)

Sedangkan waktu yang diperlukan air untuk menggenang /  $t_p$  (jam) menggunakan Persamaan [8] :

$$t_p = \frac{F_p}{p \cos \alpha} \dots \dots \dots [8]$$

Dan  $t_s$  adalah waktu sebelum infiltrasi mencapai  $F_p$  dicari menggunakan Persamaan [9] :

$$t_s = \frac{1}{k \cos \alpha} \left[ F_p - \frac{\psi (\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F_p \cos \alpha}{\psi (\theta_s - \theta_i)} \right) \right] \dots \dots \dots [9]$$

Menghitung waktu/lama hujan ( $t$ ) dengan menggunakan Persamaan [10], [11], dan [12] :

$$t = \frac{F \cdot \bar{r}}{p \cos \alpha} \text{ untuk } F(t) < Fp \dots \dots \dots [10]$$

$$t = t_p \text{ untuk } F(t) = Fp \dots \dots \dots [11]$$

$$t = t_p - t_s + \frac{1}{k \cos \alpha} \left[ F \cdot \bar{r} - \frac{\psi \cdot \theta_s - \theta_i}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F \cdot \bar{r} \cos \alpha}{\psi \cdot \theta_s - \theta_i} \right) \right] \dots [12]$$

Ketebalan tanah jenuh /  $H_{sat}$  (cm) dapat diketahui menggunakan Persamaan [13] :

$$H_{sat} = \frac{F \cdot \bar{r}}{\theta_s - \theta_i} \dots \dots \dots [13]$$

**Beban Hidup (Beban Kendaraan)**

Beban hidup yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng pada kasus ini di Desa Tambakmerang, Girimarto diperoleh dari beban kendaraan. Menurut DPU besarnya beban setiap kendaraan berbeda menurut fungsinya hal ini seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Harian (LHR)	Lintas Rata-rata	Beban Lalu Lintas (kN/m <sup>2</sup> )
Primer	Arteri	Semua		15
	Kolektor	>10.000		15
		<10.000		12
Sekunder	Arteri	>20.000		15
		<20.000		12
	Kolektor	>6.000		12
		<6.000		10
	Lokal	>500		10
		<500		10

Berdasarkan lokasi penelitian, jalan yang menjadi beban bagi lereng merupakan jalan lokal sekunder. Beban lalu lintas yang digunakan untuk permodelan lereng sesuai dengan data yang ada sebesar 10 kN/m<sup>2</sup>.

**Analisis Stabilitas Lereng**

Analisis stabilitas lereng metode Morgenstern-Price menggunakan bantuan perangkat lunak *Slope/w* yang merupakan sub-program dari Geoslope. *Slope/w* merupakan perumusan yang menggabungkan dua persamaan faktor keamanan yaitu gaya keseimbangan dan momen irisan. Berdasarkan pemakaian persamaan gaya antar irisan, faktor keamanan untuk semua metode dapat ditentukan dengan menggunakan dua persamaan tersebut. Hasil akhir dari analisis ini akan diperoleh nilai faktor aman atau *safety factor* untuk variasi sudut lereng pada bulan basah selama 10 tahun terakhir. Untuk lebih menjelaskan alur pada proses penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang disajikan dalam Gambar 2.

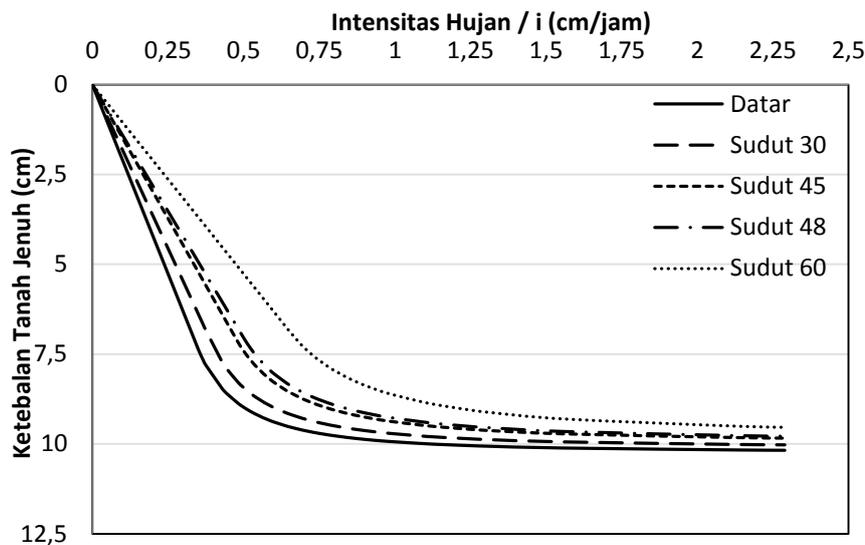


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## HASIL PENELITIAN

### Hubungan Intensitas Hujan dengan Ketebalan Tanah Jenuh

Intensitas hujan mempengaruhi ketebalan tanah jenuh, selain intensitas hujan sudut dari lereng itu sendiri juga mempengaruhi ketebalan tanah jenuh.. Berikut Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara intensitas hujan dengan ketebalan tanah jenuh.

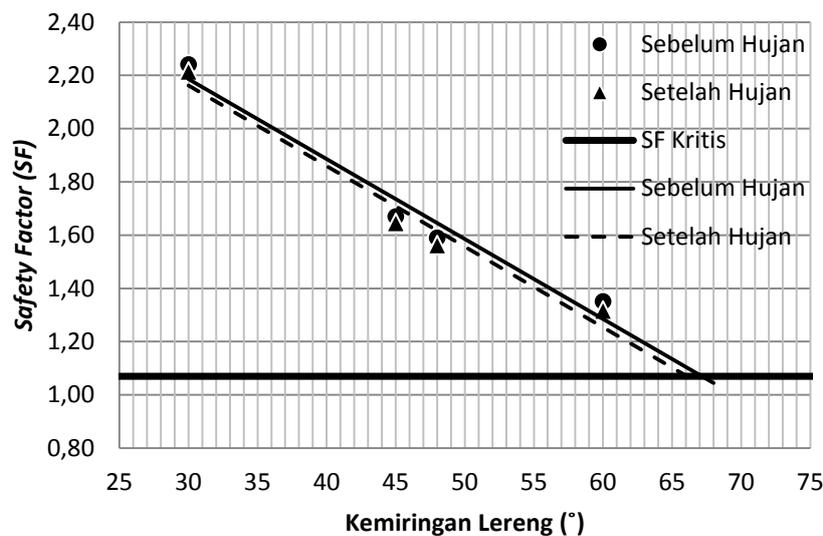


Gambar 3. Hubungan antara Intensitas Hujan dengan Ketebalan Tanah Jenuh

Grafik menunjukkan perbedaan ketebalan tanah jenuh pada tiap sudut lereng, hal ini disebabkan karena semakin curam lereng maka semakin banyak air yang melimpas dan tidak terserap ke dalam tanah. Grafik juga menunjukkan pengaruh intensitas hujan, semakin besar intensitas hujan semakin besar ketebalan tanah jenuhnya. Garis yang menunjukkan ketebalan tanah jenuh menunjukkan gejala asimtot. Asimtot adalah gejala dimana garis dalam grafik cenderung lurus dan tidak terjadi perubahan yang signifikan. Setelah intensitas hujan 0,6 cm/jam garis yang menunjukkan ketebalan tanah jenuh melengkung dan membentuk garis lurus. Hal ini memberitahukan bahwa setelah intensitas hujan 0,6 cm/jam ketebalan tanah jenuh cenderung stabil atau tidak terjadi peningkatan secara signifikan. Ketebalan tanah jenuh yang tidak menunjukkan gejala peningkatan walaupun intensitas hujan membesar disebabkan oleh faktor tanah itu sendiri seperti porositas, nilai permeabilitas dan faktor hidrologi. Faktor hidrologi yang dimaksud yaitu laju infiltrasi air dalam tanah yang semakin lama semakin kecil dan tanah yang sudah tidak bisa menyerap air hujan. Banyak air hujan yang melimpas dan tidak masuk ke dalam tanah, oleh karena itu semakin besar intensitas hujan semakin banyak pula yang melimpas.

### Hubungan Kemiringan Lereng dengan *Safety Factor*

Semakin curam kemiringan lereng semakin kecil pula nilai *safety factor* nya. Hal ini sudah tidak dapat dipungkiri lagi. Berikut Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara *safety factor* dengan kemiringan lereng.



Gambar 4. Hubungan antara *Safety Factor* dengan Kemiringan Lereng

Berdasarkan Gambar 4 semakin besar sudut kemiringan lereng, baik kondisi sebelum hujan dan setelah hujan sama – sama terjadi penurunan nilai SF. Titik-titik lingkaran dan kotak pada grafik menunjukkan kemiringan lereng yang berbeda yaitu 30°, 45°, 48°, dan 60°. Kondisi sebelum hujan nilai SF berturut-turut 30° yaitu 2,241, 45° yaitu 1,67, 48° yaitu 1,59, dan 60° yaitu 1,351. Kondisi setelah hujan nilai SF berturut-turut 30° yaitu 2,215, 45° yaitu 1,646, 48° yaitu 1,563, dan 60° yaitu 1,317. Kondisi setelah hujan ini kondisi dimana ketebalan tanah jenuh paling besar yaitu 10 cm dengan intensitas hujan 2,9 cm/jam. Ditarik garis regresi linier menunjukkan bahwa lereng dengan kondisi setelah hujan baru akan terjadi longsor saat kemiringan lereng 66°. Hasil analisis dari kedua kondisi tersebut dan dalam berbagai variasi sudut masih belum melewati SF kritis sebesar 1,07 dalam 10 tahun terakhir 2004–2013. Sehingga diproyeksikan untuk tahun–tahun berikutnya lereng masih aman dan bahaya tanah longsor belum akan terjadi.

### SIMPULAN

Intensitas hujan tidak menjadi faktor utama besar kecilnya ketebalan tanah jenuh. Selain intensitas, penentuan ketebalan tanah jenuh dipengaruhi oleh parameter tanah seperti porositas, kadar air, dan nilai permeabilitas. Semakin tebal tanah jenuhnya semakin besar beban yang ditimbulkan, sehingga menyebabkan penurunan nilai *safety factor*. Penurunan nilai *safety factor* bergantung pula dengan kemiringan lereng, semakin curam lereng semakin kecil nilai *safety factor*. Stabilitas lereng di Desa Tambakmerang, Kecamatan Girimarto, Kabupaten Wonogiri yang termasuk lingkup DAS Keduang mengalami penurunan akibat adanya beban lalu lintas dan infiltrasi air hujan. Infiltrasi air hujan harian maksimum bulanan menyebabkan tanah bagian atas menjadi jenuh dan berat tanah bertambah. Lereng yang terbebani oleh beban tanah jenuh dan beban lalu lintas mengalami penurunan nilai *safety factor*. Hubungan *safety factor* dengan tahun analisis menunjukkan bahwa dalam berbagai variasi sudut 30°, 45°, 48°, dan 60° secara keseluruhan nilai SF tidak ada yang lebih kecil dari nilai SF kritis 1,07, sehingga lereng aman terhadap longsor.

### REKOMENDASI

1. Perhitungan infiltrasi dapat dilakukan dengan pengujian di lapangan secara langsung agar diperoleh data yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan pengembangan metode infiltrasi yang dapat menggabungkan parameter mekanika tanah dan parameter hidrologi.
3. Perlu adanya pengembangan dalam mendapatkan parameter-paramter uji lab seperti nilai permeabilitas dan *suction head*.
4. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan permodelan secara fisik di laboratorium untuk mengetahui pengaruh infiltrasi terhadap stabilitas lereng.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih pertama ditujukan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya. Selanjutnya kepada Dr. Niken Silmi Surjandari, S.T., M.T. dan Ir. Noegroho Djarwanti, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- Avicenna, Andi Khaliva. 2015. *Indeks Kekeringan Hidrologi di Das Keduang Berdasarkan Metode Flow Duration Curve (FDC)*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Chen, L., and M. H. Young. 2006. *Green-Ampt infiltration model for sloping surfaces*. Water Resour. Res. 42.
- Fachrudin. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Pengaruh Hujan Bulanan Maksimum Menggunakan Metode Bishop Disederhanakan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Green, W.H. and G. Ampt. 1911. *Studies of soil physics, part I – the flow of air and water through soils*. J. Ag. Sci. 4:1-24
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo. Hary Christady. 2012. *Tanah Longsor & Erosi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Rohmat. Dede, 2009. *Tipikal Kuantitas Infiltrasi Menurut Karakteristik Laban*. Jurnal Forum Geografi.
- Widayanto, Janu. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Di DAS Tirtomoyo Wonogiri Akibat Hujan 2 Hari Berurutan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Widyo H, Hawin. 2014. *Pengaruh Hujan 2 harian Terhadap Stabilitas Lereng Di DAS Tirtomoyo Wonogiri*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.