

# PENGARUH HUJAN HARIAN MAKSIMUM BULANAN TERHADAP STABILITAS LERENG DI DAS KEDUANG WONOGIRI (Studi Kasus : Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri)

Muhammad Bithriq Yusyfa <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: bithrique@student.uns.ac.id

## Abstract

Wonogiri is a regency located in the south of Central Java which has hilly characteristics. The hilly regions in Wonogiri has unstable slopes that is easy to slide. The probability of the landslide will increase when wet season is coming. Considering the massive effect of rainfall due to landslide, this research has an aim to know wet months that can increase the landslide potentation because of daily month rainfall loads at a certain existing slope point and the other slope models with certain declivity. This research analyze the effect of daily month rainfall on the slope stability at a existing slope condition profile and some slope declivity variations using Fellenius method. Rainfall data that used is the rainfall data on wet month including January, February, March, April, November, and December in ten years periods from 2004 – 2013. Soil parameters that used is the results of the undisturbed sample tests which directly taken from Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri and tested at Soil Mechanics Laboratory UNS. The slope variation is 30°, 45°, 60° and existing slope with visual observation 48°. The calculation of rainfall infiltration uses Green-Ampt method. Slope stability analysis uses Fellenius method. The slope stability analysis that is done in before rain condition results safety factor (SF) respectively at angles of 30°, 45°, 48°, and 60° is 2.1823, 1.6638, 1.5934, and 1.3649. While in after rain condition with the haviest rainfall loads, the slope stability analysis results safety factor (SF) respectively at angles of 30°, 45°, 48°, and 60° is 2.1628, 1.6480, 1.5749, and 1,3534. Both of that conditions result safety factor (SF) above the minimum stable slope SF 1.25, so that slopes are safe againts being slide. That analysis results show that slope and maximum daily month rainfall loads has big effects on safety factor (SF).

**Key words:** slope stability, Fellenius, infiltration, Green-Ampt, safety factor

## Abstrak

Wonogiri adalah sebuah kabupaten yang berada di sebelah selatan Jawa Tengah dengan karakteristik daerah yang berbukit-bukit. Daerah perbukitan di Wonogiri tersebut memiliki lereng-lereng yang labil sehingga mudah mengalami longsor. Kemungkinan terjadinya longsor akan semakin meningkat saat musim hujan dengan adanya beban air hujan. Melihat dari besarnya pengaruh curah hujan terhadap kelongsoran, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bulan-bulan basah yang dapat menyebabkan peningkatan potensi longsor akibat beban hujan harian maksimum pada satu titik lereng eksisting dan pemodelan lereng lain dengan kemiringan tertentu. Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng dengan pengaruh hujan maksimum pada satu kondisi profil lereng eksisting dan beberapa variasi kemiringan lereng dengan menggunakan metode Fellenius. Data hujan yang digunakan adalah data hujan pada bulan basah, yaitu Januari, Februari, Maret, April, November, dan Desember selama periode sepuluh tahun dari 2004 – 2013. Parameter tanah yang digunakan adalah hasil uji *undisturbed sample* tanah yang diambil langsung dari Desa Tambakmerang, Kecamatan Girimarto, DAS Keduang, Wonogiri dan diuji di Laboratorium Mekanika Tanah UNS. Variasi kemiringan lereng 30°, 45°, 60° dan kemiringan eksisting lereng dengan pengamatan visual 48°. Perhitungan infiltrasi air hujan pada lereng menggunakan metode Green-Ampt. Analisa stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius. Analisis stabilitas lereng yang dilakukan pada kondisi sebelum hujan menghasilkan nilai *safety factor* (SF) berturut-turut untuk sudut 30°, 45°, 48°, dan 60° adalah 2.1823, 1.6638, 1.5934, 1.3649. Sedangkan pada kondisi setelah hujan dengan beban hujan terbesar analisis stabilitas lereng menghasilkan nilai *safety factor* (SF) berturut-turut untuk sudut 30°, 45°, 48°, dan 60° adalah 2.1628, 1.6480, 1.5749, 1,3534. Kedua kondisi tersebut menghasilkan nilai *safety factor* (SF) yang lebih besar dari batas minimum SF lereng stabil 1.25, sehingga diketahui bahwa lereng tersebut aman terhadap longsor. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa sudut kemiringan lereng dan beban hujan harian maksimum bulanan sangat mempengaruhi nilai *safety factor* (SF).

**Kata kunci:** stabilitas lereng, Fellenius, infiltrasi, Green-Ampt, angka keamanan

## PENDAHULUAN

Wonogiri adalah sebuah kabupaten yang berada di sebelah selatan Jawa Tengah dengan karakteristik daerah yang berbukit-bukit. Daerah perbukitan di Wonogiri tersebut memiliki lereng-lereng yang labil sehingga mudah mengalami longsor. Kemungkinan terjadinya longsor akan semakin meningkat saat musim hujan dengan adanya beban air hujan. Melihat dari besarnya pengaruh curah hujan terhadap kelongsoran, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bulan-bulan basah yang dapat menyebabkan peningkatan potensi longsor akibat beban hujan harian maksimum pada satu titik lereng eksisting dan pemodelan lereng lain dengan kemiringan tertentu. Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng di DAS Keduang Wonogiri yang dipengaruhi oleh hujan harian maksimum bulanan dengan menggunakan pemodelan lereng dua dimensi pada beberapa variasi sudut kemiringan lereng

menggunakan metode Fellenius. Penelitian ini diharapkan dapat menampilkan hasil yang akurat mengenai simulasi pengaruh hujan harian maksimum pada stabilitas lereng di DAS Keduang, sehingga lebih jauh lagi hasil tersebut dapat digunakan sebagai bahan rujukan Badan Nasional Penanggulangan Bencana dalam pemetaan daerah rawan bencana longsor serta bisa digunakan untuk mengetahui potensi sedimen pada DAS Keduang.

## METODE PENELITIAN

### Analisis Mekanika Tanah

Data parameter tanah merupakan hasil uji langsung *undisturbed sample* yang diambil langsung di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri yang kemudian diuji di Laboratorium Mekanika Tanah UNS. Hasil dari pengujian tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sampel Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
$w$	%	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/jam		0,0693	
$e$	-	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

Sampel 1, Sampel 2, dan Sampel 3 berturut adalah sampel tanah yang diambil pada puncak lereng, tubuh lereng, dan dasar lereng.

### Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan pada data hujan harian maksimum bulanan setiap bulan basah yaitu, Januari, Februari, Maret, April, November, dan Desember. Data hujan diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta 1 Wonogiri pada Stasiun Jatiroto, Jatisrono, dan Ngadirojo. Data hujan tersebut kemudian diolah menjadi hujan wilayah dengan menggunakan metode Poligon Thiessen dengan terlebih dahulu menghitung koefisien Thiessen yang didapatkan dari perbandingan luas cakupan dari masing-masing stasiun hujan dengan luas DAS Keduang secara keseluruhan. Hasil perhitungan koefisien Thiessen ditampilkan 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] :

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

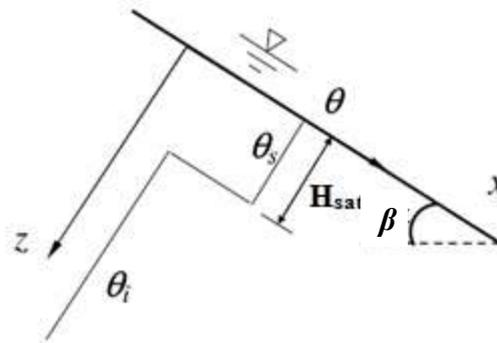
$p$  adalah hujan rerata daerah (mm/hari);  $p_1, p_2, \dots, p_n$  adalah hujan di stasiun 1, 2, ..., ke- $n$  (mm/hari);  $n$  adalah jumlah stasiun; dan  $A$  adalah luasan daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ...,  $n$ .

Data hujan wilayah kemudian diubah menjadi data intensitas hujan dengan menggunakan metode Mononobe dan durasi hujan dalam waktu 4 jam. Rumus Mononobe yang digunakan ditampilkan pada Persamaan [2] :

$$I = \frac{R_{24}}{t} \left( \frac{t}{24} \right)^m \quad [2]$$

$I$  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] :

$$kt \cos \beta = F t - \frac{\Psi (\theta_s - \theta_i)}{\cos \beta} \ln \left( 1 + \frac{F t \cos \beta}{\Psi (\theta_s - \theta_i)} \right) \quad [3]$$

$F(t)$  adalah infiltrasi kumulatif (cm);  $k$  adalah koefisien permeabilitas (cm/jam);  $t$  adalah lama hujan (jam);  $\beta$  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] :

$$\theta_s = S n \quad [4]$$

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

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

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

$w$  adalah kadar air (%);  $\gamma_d$  adalah berat volume kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ );  $\gamma_w$  adalah berat jenis air

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

$$k [t - t_p - t_s] \cos \beta = F t - \frac{\Psi (\theta_s - \theta_i)}{\cos \beta} \ln \left( 1 + \frac{F t \cos \beta}{\Psi (\theta_s - \theta_i)} \right) \quad [6]$$

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

$$F_p = \frac{\Psi (\theta_s - \theta_i)}{\frac{p \cos \beta}{k} - \cos \beta} \quad [7]$$

$p$  adalah intensitas hujan (cm/jam)

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

$$t_p = \frac{F_p}{p \cos \beta} \quad [8]$$

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

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

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

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

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

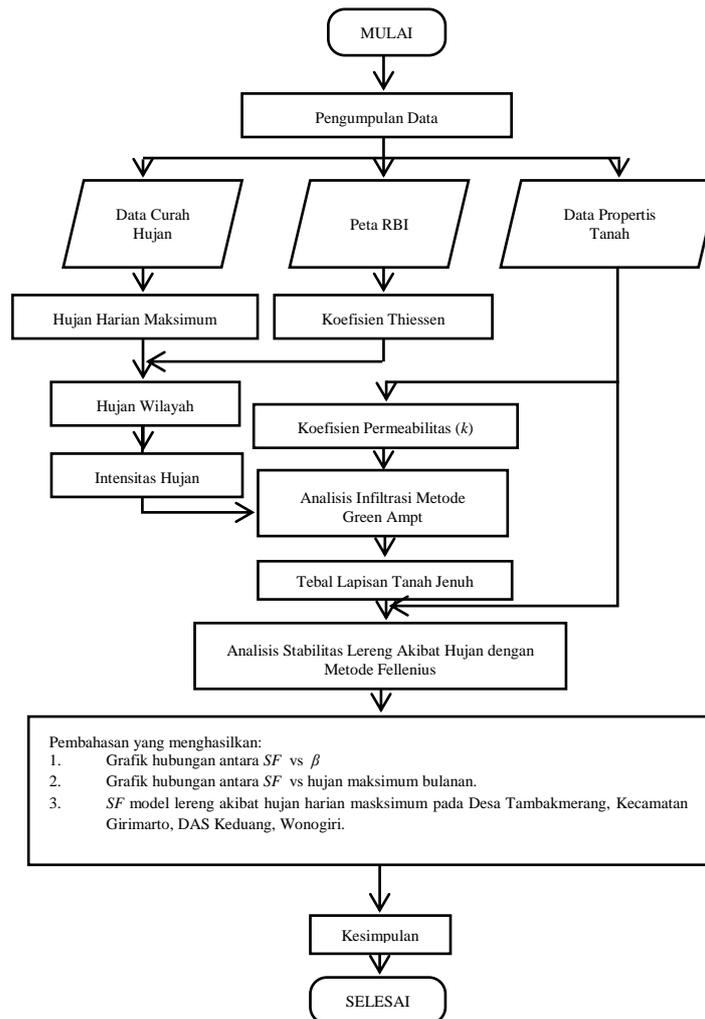
$$t = t_p - t_s + \frac{1}{k \cos \beta} \left[ F t - \frac{\psi \theta_s - \theta_i}{\cos \beta} \ln \left( 1 + \frac{F t \cos \beta}{\psi \theta_s - \theta_i} \right) \right] \dots\dots [12]$$

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

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

**Analisis Stabilitas Lereng**

Analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Fellenius. Metode tersebut memperhitungkan gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dengan metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan.. 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.

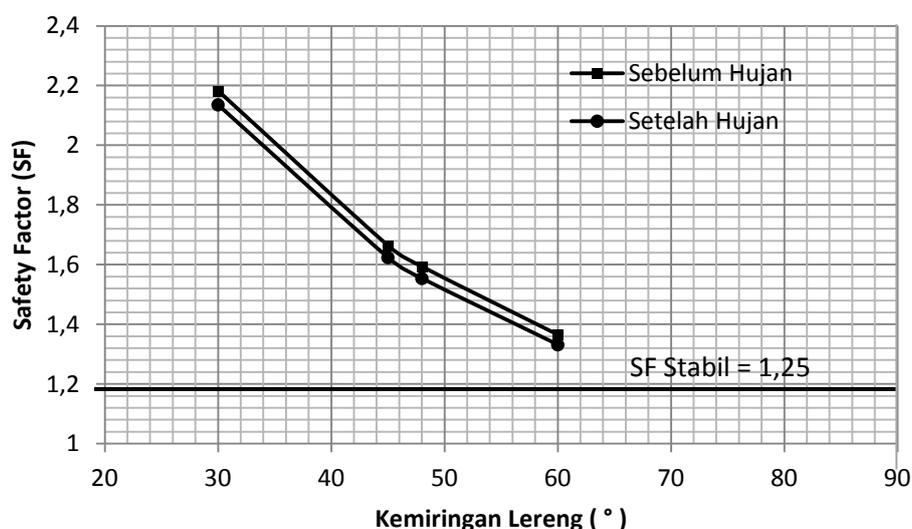


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## HASIL PENELITIAN

### Hubungan Kemiringan Lereng dengan *Safety Factor*

Berikut Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara *safety factor* dengan kemiringan lereng.



Gambar 3. Hubungan antara *Safety Factor* dengan Kemiringan Lereng

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan lereng maka semakin kecil *safety factor* (*SF*) yang terjadi, baik pada kondisi sebelum maupun setelah hujan. Hal tersebut terjadi karena dengan adanya peningkatan sudut kemiringan lereng mengakibatkan momen pendorong pada lereng meningkat sedangkan momen penahan pada lereng menurun, sehingga kestabilan lereng akan terganggu. Titik-titik lingkaran dan kotak pada grafik menunjukkan kemiringan lereng yang berbeda yaitu 30°, 45°, 48°, dan 60°. Analisis stabilitas lereng yang dilakukan pada kondisi sebelum hujan menghasilkan nilai *safety factor* (*SF*) berturut-turut untuk sudut 30°, 45°, 48°, dan 60° adalah 2.1823, 1.6638, 1.5934, 1.3649. Sedangkan pada kondisi setelah hujan dengan beban hujan terbesar analisis stabilitas lereng menghasilkan nilai *safety factor* (*SF*) berturut-turut untuk sudut 30°, 45°, 48°, dan 60° adalah 2.1628, 1.6480, 1.5749, 1.3534. Hasil analisis dari kedua kondisi tersebut dan dalam berbagai variasi sudut menghasilkan *SF* lebih dari 1,25, yang merupakan batas minimum nilai *SF* lereng yang dikatakan stabil. Sehingga diproyeksikan untuk tahun-tahun berikutnya lereng masih aman dan bahaya tanah longsor belum akan terjadi.

## SIMPULAN

Hubungan antara *safety factor* dengan kemiringan lereng adalah semakin curam (semakin besar sudut lereng) sebuah lereng akan menyebabkan semakin menurunnya *safety factor* dari lereng. Hal tersebut terjadi karena dengan adanya peningkatan sudut kemiringan lereng mengakibatkan momen pendorong pada lereng meningkat sedangkan momen penahan pada lereng menurun, sehingga kestabilan lereng akan terganggu. Dari hasil analisis stabilitas lereng dari kedua kondisi, sebelum dan sesudah hujan, serta dalam berbagai variasi sudut dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut stabil dan aman terhadap longsor. Sehingga diproyeksikan untuk tahun-tahun berikutnya lereng masih aman dan bahaya tanah longsor belum akan terjadi.

## REKOMENDASI

1. Perhitungan infiltrasi dapat dilakukan dengan pengujian di lapangan dengan pipa pengamatan agar diperoleh data infiltrasi yang lebih akurat dan dapat diketahui ada atau tidaknya muka air tanah.
2. Perlu dilakukan pengembangan dengan durasi hujan yang lebih lama, seperti hujan dua harian atau tiga harian.
3. Perlu adanya pengembangan dalam mendapatkan parameter uji lab terutama nilai permeabilitas dan *suction head* yang lebih akurat.
4. Pada penelitian ini menganggap bahwa nilai  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser dalam) tidak terpengaruh dengan adanya infiltrasi air hujan. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui pengaruh infiltrasi hujan terhadap nilai  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser dalam).
5. 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 Khalifa. 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.
- 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.
- Hutomo, Hawin W. 2014. *Pengaruh Hujan 2 harian Terhadap Stabilitas Lereng Di DAS Tirtomoyo Wonogiri*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Soenarmo, S. H., I. A. Sadisun, dan E. Saptohartono. 2008. *Kajian Awal Pengaruh Intensitas Curah Hujan Terhadap Pendugaan Potensi Tanah Longsor Berbasis Spasial di Kabupaten Bandung, Jawa Barat*. Jurnal Geoaplika (2008) Volume 3, Nomor 3
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Widayanto, Janu. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Di DAS Tirtomoyo Wonogiri Akibat Hujan 2 Hari Berurutan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.