

# PENGARUH CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM BULANAN TERHADAP STABILITAS LERENG

## (Studi Kasus : Desa Mangunharjo, Jatipurno, Wonogiri)

M. Zikry Tawakkal<sup>1)</sup>, Niken Silmi Surjandari<sup>2)</sup>, R. Harya Dananjaya<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: muh.zikry@gmail.com

### Abstract

Wonogiri is one of district in Central Java that the most of its territory is formed by the slopes or hills. Wonogiri has many hills area that landslides often occur. One of the causes of landslides are heavy rain or rain in the length period. The purposes of this study was to determine the effect of rainfall and slope angle to the slope stability. This research used maximum monthly rainfall data for 10 years between 2004 – 2013 and soil data were obtained from the soil samples test taken from the site. Green-Ampt Infiltration Method used to calculate the thickness of saturated soil which caused by the infiltration or rainwater. The duration rains that occur in a day taken during 4 hours. Slope stability is calculated by using an infinite slope method to obtain the value of the slopes safety factor (SF). The slope model uses a variation of angle 30°, 42°, 45°, and 60°. The result revealed that infiltration of rainwater have an effect on the slope stability. For all slope models, SF's values decreased after rainfall occurred. The decrease of SF's values is caused by increasing the load on the slope because of the infiltration of rainwater into the soil. The slope angle also have an effect on the slope stability. The greater slope angle the smaller of SF's value are obtained. The slope models with an angle 60° has a SF < 1 which indicates that the slopes are unstable.

**Key words:** Green-Ampt, infiltration, Infinite Slope, Landslide

### Abstrak

Wonogiri merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang sebagian besar wilayahnya berupa lereng atau perbukitan. Di banyak daerah perbukitan seperti Wonogiri bencana tanah longsor sering terjadi. Salah satu penyebab terjadinya tanah longsor adalah hujan lebat/hujan berkepanjangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh hujan dan kemiringan lereng terhadap stabilitas lereng. Penelitian ini menggunakan data hujan selama 10 tahun antara tahun 2004 – 2013 dan data tanah yang diperoleh dari uji sampel tanah yang diambil dilokasi penelitian. Metode Green-Ampt digunakan untuk menghitung besar tanah jenuh yang terjadi akibat adanya infiltrasi air hujan ( $H_{sat}$ ). Tebal tanah jenuh ini berperan sebagai beban tambahan pada lereng. Stabilitas lereng dihitung dengan menggunakan metode Lereng Tak Hingga (*infinite slope*) untuk memperoleh nilai faktor keamanan (SF) lereng. Model lereng menggunakan variasi kemiringan 30°, 42°, 45°, dan 60°. Dari hasil penelitian diketahui bahwa infiltrasi air akibat hujan berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Untuk semua model lereng, nilai SF menurun setelah hujan terjadi. Penurunan nilai SF ini disebabkan oleh bertambahnya beban pada lereng karena infiltrasi air hujan ke dalam tanah. Kemiringan lereng juga berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Semakin besar kemiringan suatu lereng semakin kecil nilai SF yang diperoleh. Model lereng dengan kemiringan 60° mempunyai nilai SF < 1 yang menunjukkan bahwa lereng tidak stabil.

**Kata kunci:** Green-Ampt, Infiltrasi, Infinite Slope, Longsor

### PENDAHULUAN

Kabupaten Wonogiri merupakan salah satu kabupaten di bagian selatan Jawa Tengah, yang sebagian wilayahnya merupakan dataran tinggi yang berupa lereng atau perbukitan. Di banyak daerah berbukit-bukit seperti di Kabupaten Wonogiri, longsor sering terjadi dan merupakan masalah yang perlu ditangani karena longsor merupakan salah satu bencana alam yang dapat menimbulkan korban jiwa dan kerugian material yang sangat besar. Sekitar 90% daerah di kabupaten Wonogiri masuk dalam kategori daerah rawan bencana longsor. Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir di Wonogiri tercatat telah terjadi longsor sebanyak 90 kejadian. Kebanyakan longsor lereng terjadi sesudah/selama hujan lebat atau hujan yang berkepanjangan. Melihat besarnya peran curah hujan terhadap terjadinya tanah longsor, maka penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan mengingat peristiwa tanah longsor ini semakin sering terjadi di Wonogiri terutama pada musim penghujan. Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng karena pengaruh hujan harian maksimum bulanan dengan variasi kemiringan lereng menggunakan Metode Lereng Tak Hingga (*Infinite Slope Method*). Dari penelitian ini diharapkan memperoleh hubungan antara Safety Factor (SF) dengan kemiringan lereng dan kemudian digunakan sebagai rujukan dalam mitigasi bencana longsor.

## METODE PENELITIAN

### Analisis Mekanika Tanah

Dari pengujian sampel tanah yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sebelas Maret diperoleh data properties tanah yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Properties Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Kadar Air ( $w$ )	%	51	40.12	28.99
Berat Isi Tanah Basah ( $\gamma_b$ )	kN/m <sup>3</sup>	14.028	14.421	13.832
Berat Jenis Tanah ( $G_s$ )	-	2.45	2.53	2.51
Kerikil	%	0	0	0
Pasir	%	4.58	14.15	10.60
Lempung dan Lanau	%	95.42	85.85	89.40
LL (Batas Cair)	%	45.93	42.00	42.84
PL (Batas Plastis)	%	23.20	32.53	34.42
PI (Indeks Plastisitas)	%	22.73	11.47	8.43
Jenis Tanah	-	CL	ML	ML
Kohesi ( $c$ )	kg/cm <sup>2</sup>	0.221	0.03	0.146
Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ )	°	20.22	39.98	41.03
Koef. Permeabilitas ( $k$ )	cm/detik	-	6.93 x 10 <sup>-5</sup>	-
Angka Pori ( $e$ )	-	1.587	1.412	1.296
Porositas ( $n$ )	-	0.613	0.585	0.564
Berat Isi Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	15.308	16.034	16.261
Berat Isi Tanah Kering ( $\gamma_d$ )	kN/m <sup>3</sup>	9.290	10.292	10.723
Derajat Kejuhan ( $S_r$ )	-	0.787	0.719	0.561
Kelembaban Tanah Awal ( $\theta_i$ )	-	0.483	0.421	0.317

### Analisis Hidrologi

Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan harian maksimum bulanan. Curah hujan harian maksimum bulanan adalah curah hujan terbesar yang terjadi pada satu hari tertentu pada satu bulan tertentu. Penelitian ini menggunakan data hujan yang diperoleh dari tiga stasiun hujan di DAS Keduang yaitu stasiun hujan Jatiroto, Jatirono, dan Ngadirojo. Data hujan yang digunakan adalah data hujan yang terjadi pada musim penghujan yaitu pada bulan Januari, Februari, Maret, April, November, dan Desember selama 10 tahun (2004 – 2013). Data hujan yang diperoleh dari stasiun penangkar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik dimana stasiun tersebut berada, karena pada DAS Keduang terdapat tiga stasiun hujan maka perlu menentukan hujan rerata pada daerah tersebut yang salah satunya dapat dilakukan dengan metode *Thiessen*. Berikut adalah Persamaan (1) untuk mengetahui besar hujan rerata :

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

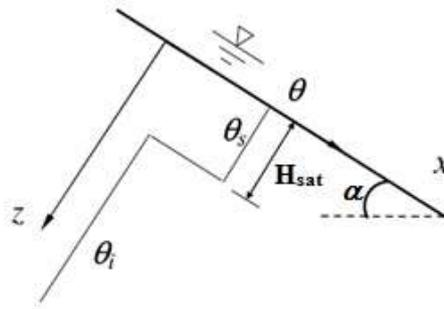
Dimana  $\bar{p}$  adalah hujan rerata daerah (mm/hari),  $p_1, p_2, \dots, p_n$  adalah hujan di stasiun 1, 2, ..., ke- $n$  (mm/hari),  $n$  adalah jumlah stasiun, dan  $A$  adalah luasan daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ...,  $n$ .

Penelitian ini membutuhkan curah hujan dalam jangka waktu pendek yaitu 4 jam, maka data hujan rerata yang diperoleh diubah menjadi data intensitas hujan dengan menggunakan metode Mononobe. Persamaan Mononobe dinyatakan oleh Persamaan (2) :

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

Dimana  $I$  adalah intensitas curah hujan untuk lama hujan  $t$  (mm/jam),  $t$  adalah lamanya curah hujan (jam), dan  $R_{24}$  adalah curah hujan maksimum selama 24 jam (mm).

Metode infiltrasi Green-Ampt pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui tebal tanah jenuh yang terjadi pada permukaan tanah akibat infiltrasi air hujan. Metode Green-Ampt menganggap terdapat batas yang jelas antara tanah yang memiliki kelembaban tertentu di bawah dan tanah jenuh di atasnya (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) :

$$kt \cos \alpha = F(t) - \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F(t) \cos \alpha}{\psi(\theta_s - \theta_i)} \right) \quad (3)$$

Dimana  $F(t)$  adalah infiltrasi kumulatif (cm),  $k$  adalah koefisien permeabilitas (cm/jam),  $t$  adalah lama hujan (jam),  $\alpha$  adalah sudut kemiringan lereng (derajat),  $\psi$  adalah suction (cm),  $\theta_s$  adalah kelembaban tanah jenuh ( $\theta_s = S_r \times n$ ), dan  $\theta_i$  adalah kelembaban tanah awal.

Untuk curah hujan stabil Persamaan (3) berubah menjadi Persamaan (4) :

$$k[t - (t_p - t_s)] \cos \alpha = F(t) - \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F(t) \cos \alpha}{\psi(\theta_s - \theta_i)} \right) \quad (4)$$

Menghitung waktu/lama hujan ( $t$ ) dengan menggunakan Persamaan (5), (6), dan (7) :

$$t = \frac{F(t)}{p \cos \alpha} \quad \text{untuk } F(t) < F_p \quad (5)$$

$$t = t_p \quad \text{untuk } F(t) = F_p \quad (6)$$

$$t = (t_p - t_s) + \frac{1}{k \cos \alpha} \left[ F(t) - \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F(t) \cos \alpha}{\psi(\theta_s - \theta_i)} \right) \right] \quad \text{untuk } F(t) > F_p \quad (7)$$

Dimana  $p$  adalah intensitas hujan (cm/jam),  $t_p$  adalah waktu yang dibutuhkan air untuk menggenang (jam), dan  $t_s$  adalah waktu sebelum infiltrasi mencapai  $F_p$  (jam).

Nilai  $t_p$  dan  $t_s$  dapat diketahui dari Persamaan (9) dan (10) :

$$F_p = \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\frac{p \cos \alpha}{k} - \cos \alpha} \quad (8)$$

$$t_p = \frac{F_p}{p \cos \alpha} \quad (9)$$

$$t_s = \frac{1}{k \cos \alpha} \left[ F_p - \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left( 1 + \frac{F_p \cos \alpha}{\psi(\theta_s - \theta_i)} \right) \right] \quad (10)$$

Dimana  $F_p$  adalah jumlah air yang terinfiltrasi sebelum air mulai menggenang di permukaan tanah (cm).

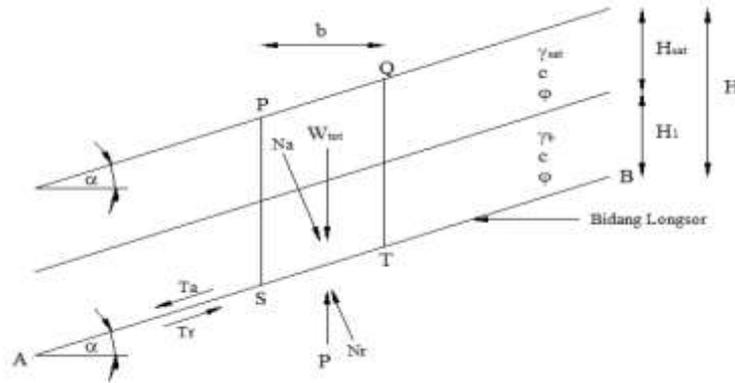
Tebal tanah jenuh dapat diketahui dengan Persamaan (11) :

$$H_{sat} = \frac{F(t)}{(\theta_s - \theta_i)} \quad (11)$$

Dimana  $H_{sat}$  adalah tebal tanah jenuh (m).

### Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng pada penelitian ini menggunakan metode Lereng Tak Hingga (*Infinite Slope*). Metode ini dipilih karena pada penelitian ini meneliti tentang kemungkinan potensi longsor dangkal yang terjadi di lokasi penelitian. Lereng tak hingga menganggap bidang longsor lereng berbentuk datar. Jika diambil elemen tanah sebesar  $b$ , gaya-gaya yang bekerja pada dua bidang vertikalnya mendekati sama, karena pada lereng tak hingga gaya-gaya yang bekerja di setiap bidangnya dapat dianggap sama (Hardiyatmo, 2012). Hasil akhir dari analisis ini adalah nilai faktor keamanan ( $SF$ ) dari masing-masing model lereng.



**Gambar 2.** Gaya Yang Bekerja Pada Analisis Stabilitas Lereng Metode Lereng Tak Hingga (*Infinite Slope*)

Faktor keamanan lereng ( $SF$ ) dapat diketahui dari Persamaan (12) dan (13) :  
 Untuk  $H > H_{sat}$

$$SF = \frac{c}{(\gamma_{sat} H_{sat} + \gamma_b (H - H_{sat})) \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \quad (12)$$

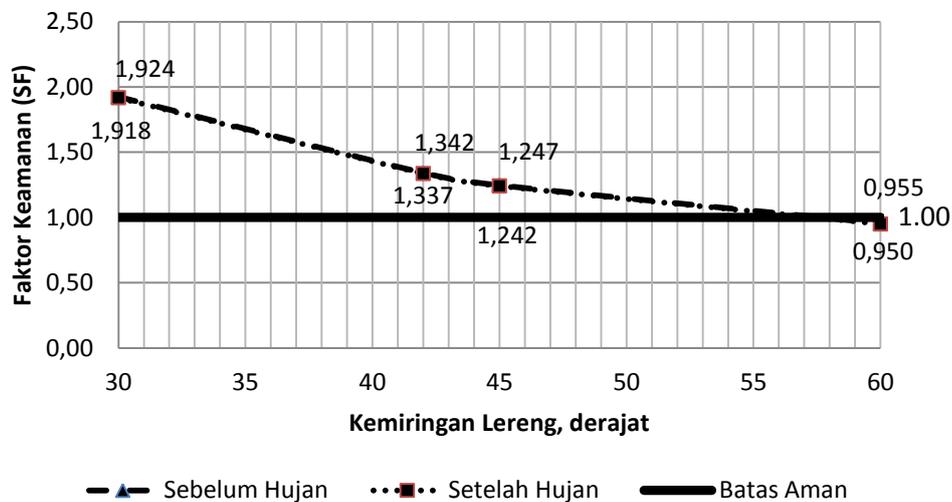
Untuk  $H \leq H_{sat}$

$$SF = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \quad (13)$$

Dimana  $SF$  adalah faktor keamanan,  $c$  adalah kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ ),  $\phi$  adalah sudut gesek dalam tanah (derajat),  $\alpha$  adalah sudut kemiringan lereng (derajat),  $\gamma_b$  adalah berat isi tanah basah ( $\text{kN/m}^3$ ),  $\gamma_{sat}$  adalah berat isi tanah jenuh ( $\text{kN/m}^3$ ),  $H$  adalah tebal tanah dari permukaan lereng sampai ke bidang longsor (m),  $H_t$  adalah tebal tanah asli (m),  $H_{sat}$  adalah tebal tanah jenuh (m)

### HASIL PENELITIAN

#### Hubungan Antara Faktor Keamanan ( $SF$ ) dengan Kemiringan Lereng



**Gambar 3.** Hubungan Antara Kemiringan Lereng Dengan Faktor Keamanan ( $SF$ )

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara nilai faktor keamanan ( $SF$ ) dengan kemiringan lereng. Pada kondisi sebelum hujan lereng memiliki nilai  $SF$  berturut-turut untuk kemiringan 30°, 42°, 45°, dan 60° adalah 1.924, 1.342, 1.247, dan 0.955. Sedangkan untuk kondisi setelah hujan terjadi penurunan nilai  $SF$  lereng. Pada kondisi setelah hujan lereng memiliki nilai faktor keamanan berturut-turut untuk kemiringan 30°, 42°, 45°, dan 60° adalah 1.918, 1.337, 1.242, dan 0.950. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa nilai  $SF$  menurun setelah terjadi hujan. Menurunnya nilai  $SF$  setelah hujan disebabkan oleh bertambahnya beban lereng karena adanya air yang terinfiltrasi ke dalam tanah sehingga lereng menjadi lebih berat dan meningkatkan potensi longsor pada lereng. Pada kondisi sebelum ataupun setelah hujan nilai  $SF$  lereng menurun seiring dengan bertambahnya kecuraman pada lereng. Pada hasil perhitungan  $SF$  yang diperoleh terlihat bahwa penurunan nilai  $SF$  terhadap kemiringan lereng sangat signifikan. Semakin besar kemiringan lereng semakin kecil nilai faktor keamanannya. Dari hasil analisis stabilitas lereng, model lereng dengan kemiringan 60° tidak stabil dan berpotensi terhadap longsor dangkal karena mempunyai nilai  $SF < 1$ , sementara untuk model lereng dengan kemiringan 30°, 42°, dan 45° masih dalam keadaan stabil karena nilai  $SF$  masih berada di atas batas aman ( $SF > 1$ ).

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan mengenai pengaruh curah hujan terhadap stabilitas lereng dapat diambil kesimpulan bahwa nilai  $SF$  lereng menurun setelah terjadi hujan. Air yang terinfiltrasi ke dalam tanah menyebabkan bertambahnya beban pada lereng dan meningkatkan potensi longsor pada lereng. Selain itu besar kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan ( $SF$ ) suatu lereng. Semakin besar kemiringan suatu lereng semakin kecil nilai faktor keamanannya. Faktor keamanan lereng yang kecil menunjukkan bahwa kestabilan lereng rendah.

## REKOMENDASI

1. Menambah waktu/lama hujan untuk mengetahui lebih jauh bagaimana pengaruhnya terhadap stabilitas lereng.
2. Perlu dilakukan uji infiltrasi di lapangan agar data yang diperoleh lebih akurat.
3. Perlu memperhitungkan tutupan lahan pada 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 R. Harya Dananjaya, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- Chen, Li et al. 2006. *Green-Ampt Infiltration Model For Sloping Surfaces*. Water Resources Research, 42, W07420, doi:10.1029/2005WR004468
- 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.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wanielista, Martin. 1997. *Hydrologi Water Quantity and Quality Control*. New York: John Willey and Sons Inc.