

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

Demarda Kalimanto¹⁾, Niken Silmi Surjandari²⁾, Raden Harya Dananjaya³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

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

Email: kalimantodemarda@gmail.com

Abstract

Wonogiri Regency is located in Central Java. In this location has instable slopes condition due to the topography is the mountainous. Rainfall and infrastructure cause the increase of load so that the potential for landslides is increase. This research aims to determine the effect of maximum monthly rainfall and traffic load on the stability of slopes at Mangunharjo, Jatipurno, Wonogiri. The rainfall data is applied as the slope loads in the rainy season, i.e. January, February, March, April, November, and December for a period of ten years from 2004 - 2013. The research simulate the slope models with the variations in slope angle, i.e. 30°, 42°, 45°, and 60°. The infiltration models are using the Green-Ampt method. Slope stability was analyzed using finite element method. From the results, the slope stability for both conditions (before and after the rainfall) are decrease. Due to the rainfall, the load, and the increase of slope angle, the safety factor (SF) is decrease. The slopes with an angle of 60° yield the safety factor (SF) lower than critical safety factor (SF) which is equal 1.25, so that the slopes with an angle of 60° are instable condition.

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

Abstrak

Kabupaten Wonogiri jika ditinjau dari pemetaan tanah merupakan salah satu kota di Jawa Tengah yang memiliki potensi longsor tinggi dikarenakan memiliki kenampakan tanah berbentuk lereng dan perbukitan. Kemiringan tanah, curah hujan dan infrastruktur diatas tanah 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 Mangunharjo, Jatipurno, 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 asli lereng yaitu 42°. Perhitungan infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam tanah menggunakan metode Green-Ampt. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *finite element*. Hasil analisis stabilitas lereng dengan kondisi sebelum hujan dan setelah hujan terjadi penurunan. Penurunan nilai faktor keamanan diakibatkan adanya hujan, beban diatas lereng, dan kemiringan lereng. Pada kemiringan 60° menunjukkan nilai faktor keamanan (SF) dibawah SF kritis sebesar 1,25 sehingga lereng dengan kemiringan sudut 60° memiliki potensi untuk tanah longsor.

Kata kunci: faktor keamanan, Green-Ampt, infiltrasi, stabilitas lereng

PENDAHULUAN

Kabupaten Wonogiri jika ditinjau dari pemetaan tanah merupakan salah satu kota di Jawa Tengah yang memiliki potensi longsor tinggi terutama di sepanjang DAS Keduang dengan kenampakan tanahnya berbentuk lereng dan rawan terjadi longsor pada saat musim hujan. Faktor kemiringan tanah, curah hujan dan kondisi batuan di bagian bawah ikut mempengaruhi terjadinya longsor. Melihat peran curah hujan terhadap bencana tanah longsor cukup tinggi, maka penelitian ini penting dilakukan mengingat bencana tanah longsor memakan banyak korban jiwa dan materi. Penerapan langkah-langkah meminimalan resiko akibat kelongsoran harus didahului dengan penentuan lokasi rawan longsor yaitu di sepanjang DAS Keduang, Wonogiri. Analisis hidrologi, infiltrasi tanah, stabilitas lereng dan besarnya curah hujan yang dimodelkan dalam sebuah simulasi stabilitas lereng diharapkan dapat digunakan untuk memperhitungkan dampak curah hujan dan beban lalu lintas terhadap kejadian longsor di DAS Keduang, Wonogiri. 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 finite element dengan bantuan *software Plaxis*.

METODE PENELITIAN

Analisis Mekanika Tanah

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

Tabel 1. Data Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Kadar Air (w)	%	51	40.12	28.99
Berat Isi Tanah Basah (γ_b)	kN/m ³	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 ²	0.221	0.03	0.146
Sudut Gesek Dalam (ϕ)	°	20.22	39.98	41.03
Koef. Permeabilitas (k)	cm/detik	-	6.93×10^{-5}	-
Angka Pori (e)	-	1.587	1.412	1.296
Porositas (n)	-	0.613	0.585	0.564
Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat})	kN/m ³	15.308	16.034	16.261
Berat Isi Tanah Kering (γ_d)	kN/m ³	9.290	10.292	10.723
Kandungan Air Tanah Awal (θ_i)	-	0.483	0.421	0.317
Kandungan Air Tanah Jenuh (θ_s)	-	0.613	0.585	0.564

Analisis Hidrologi

Hujan Daerah

Hujan daerah yang dihitung meliputi data hujan pada bulan basah yaitu bulan Januari, Februari, Maret, April, November, dan Desember dari tahun 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 rerata daerah menggunakan metode Poligon 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 .

Metode Mononobe

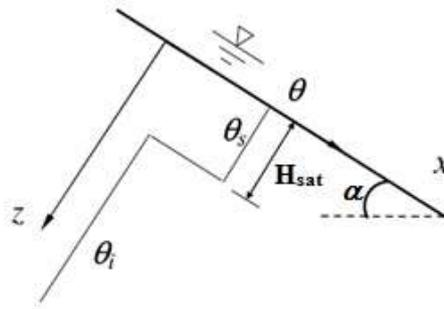
Penelitian ini menghitung curah hujan dalam jangka waktu pendek yaitu 4 jam, maka data hujan rerata yang diperoleh diubah menjadi data intensitas hujan dengan menggunakan metode Mononobe. Persamaan Mononobe ditunjukkan pada Persamaan (2):

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

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 Green-Ampt

Metode Green-Ampt menurut Li Chen dan Michael H. Young (2006) pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui infiltrasi air tanah yang terjadi. Dalam pendekatan ini, Green-Ampt mengemukakan istilah tebal tanah jenuh (*wetting front*) yaitu suatu batas yang jelas antara tanah yang mempunyai kelembaban tertentu di bawah dengan tanah jenuh di atasnya (Gambar 1).



Gambar 1. Infiltrasi Green-Ampt (Li Chen dan Michael H. Young, 2006)

Tahapan awal dari persamaan Green-Ampt menurut Li Chen dan Michael H. Young (2006) adalah menghitung nilai jumlah air yang terinfiltrasi sebelum air mulai menggenang di permukaan tanah (F_p) seperti ditunjukkan pada Persamaan (3) :

$$F_p = \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\frac{p \cos \alpha}{k} - \cos \alpha} \quad (3)$$

Dimana F_p adalah jumlah air yang terinfiltrasi sebelum air mulai menggenang di permukaan tanah (cm), p adalah intensitas hujan (cm/jam), k adalah koefisien permeabilitas (cm/jam), t adalah lama hujan (jam), α adalah sudut kemiringan lereng ($^\circ$), ψ adalah suction (cm), θ_s adalah kandungan air tanah jenuh dan θ_i adalah kelembaban tanah awal.

Tahapan berikutnya yaitu menghitung t_p dan t_s menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5) :

$$t_p = \frac{F_p}{p \cos \alpha} \quad (4)$$

$$t_s = \frac{1}{k \cos \alpha} \left[F_p - \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left(1 + \frac{F_p \cos \alpha}{\psi(\theta_s - \theta_i)} \right) \right] \quad (5)$$

Dimana t_p adalah *time of ponding* (jam), dan t_s adalah waktu sebelum infiltrasi mencapai F_p (jam).

Tahapan selanjutnya yaitu menghitung waktu/lama hujan (t) dengan menggunakan Persamaan (6), (7), dan (7) :

$$t = \frac{F(t)}{p \cos \alpha} \quad \text{untuk } F(t) < F_p \quad (6)$$

$$t = t_p \quad \text{untuk } F(t) = F_p \quad (7)$$

$$t = (t_p - t_s) + \frac{1}{k \cos \alpha} \left[F(t) - \frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{\cos \alpha} \ln \left(1 + \frac{F(t) \cos \alpha}{\psi(\theta_s - \theta_i)} \right) \right] \quad \text{untuk } F(t) > F_p \quad (8)$$

Dimana $F(t)$ adalah infiltrasi kumulatif (cm)

Setelah mendapatkan $F(t)$ lalu dapat menghitung tebal tanah jenuh dengan Persamaan (9) :

$$Z_f = \frac{F(t)}{(\theta_s - \theta_i)} \quad (9)$$

Dimana Z_f adalah tebal tanah jenuh (cm).

Beban Hidup (Beban Kendaraan)

Beban hidup yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng pada kasus ini di Desa Mangunharjo, Jatipurno, Wonogiri diperoleh dari beban kendaraan. Menurut DPU besarnya beban setiap kendaraan berbeda menurut fungsinya hal ini seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
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	

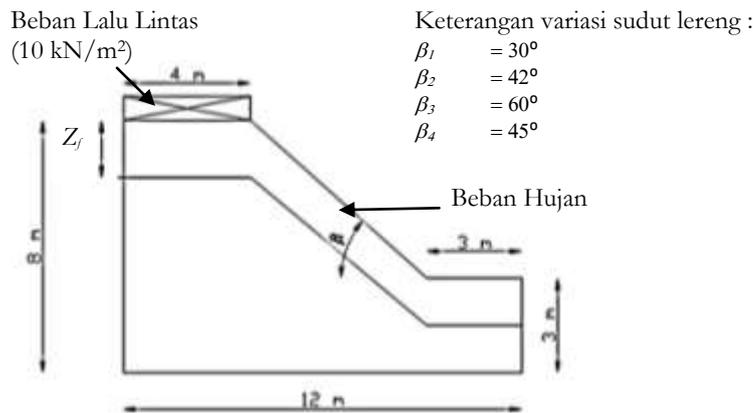
Sumber: Dinas Pekerjaan Umum, 2002b, Panduan Geoteknik 4 No Pt T-10-2002-B.

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/m².

Analisis Stabilitas Lereng

Pemodelan Lereng

Pada Gambar 2 terdapat sketsa pemodelan lereng dengan beban hujan dan beban lalu lintas. Beban hujan diasumsikan dengan tebal tanah jenuh (Z_j) pada tubuh lereng, dan beban lalu lintas berada di puncak lereng dengan lebar dan klasifikasi jalan sesuai dengan kondisi asli. Profil lereng disimulasikan dengan gambar autocad dua dimensi sesuai dengan keadaan sebenarnya.



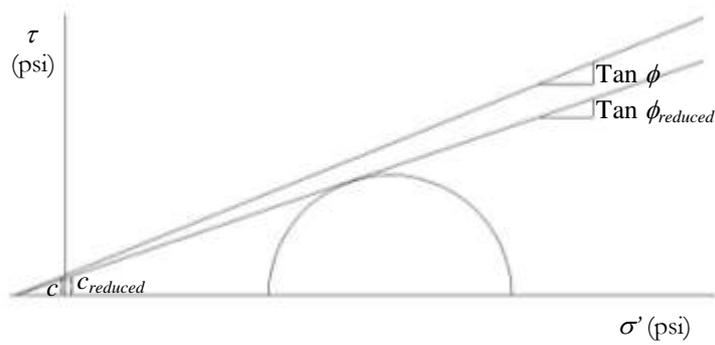
Gambar 2. Sketsa Lereng dengan Beban Hujan dan Beban Lalu Lintas

Metode Finite Element

Analisis stabilitas lereng pada penelitian ini menggunakan metode finite element dengan bantuan *software Plaxis*. Menurut Gouw Tjie Liong (2012) dalam metode elemen hingga atau metode finite element, tidak dilakukan asumsi bidang longsor. Faktor keamanan dicari dengan mencari bidang lemah pada struktur lapisan tanah. Faktor keamanan didapatkan dengan cara mengurangi nilai kohesi c dan sudut geser dalam tanah, ϕ , secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan. Nilai faktor keamanan kemudian dihitung pada Persamaan (10) sebagai berikut:

$$\sum MSF = \frac{c}{c_{reduced}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{reduced}} \quad (10)$$

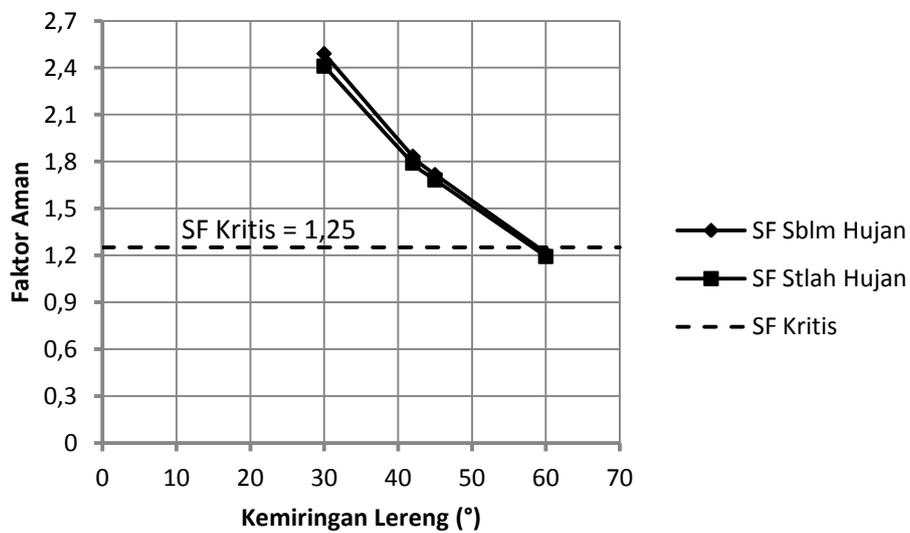
Dimana $\sum MSF$ adalah faktor keamanan, nilai $c_{reduced}$ dan $\phi_{reduced}$ adalah nilai c dan ϕ terendah yang didapat pada saat program *plaxis* mengatakan tanah mengalami keruntuhan (*soil body collapse*). Proses perhitungan ini dalam diagram keruntuhan Mohr diilustrasikan pada Gambar 3. Dalam program *plaxis* metode ini disebut "*Phi-c reduction*".



Gambar 3. Proses Perhitungan Faktor Keamanan dalam Metode Finite Element (Gouw Tjje Liong, 2012)

HASIL PENELITIAN

Semakin curam kemiringan lereng, semakin kecil nilai faktor keamanan. Berikut Gambar 4. menunjukkan grafik hubungan antara faktor keamanan dengan kemiringan lereng.



Gambar 4. Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Kemiringan Lereng

Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan bahwa kondisi lereng ini dengan nilai faktor aman pada sudut 30°; 42°; 45°; dan 60° berturut-turut yaitu 2,41; 1,79; 1,68; dan 1,19. Pada kondisi asli lereng yaitu pada kemiringan 42° cukup aman. Namun pada sudut kemiringan 60°, nilai faktor aman dibawah nilai faktor aman kritis yang dinyatakan Bowles (1989) disebutkan bahwa nilai faktor keamanan 1,07 sampai dengan 1,25 mengindikasikan bahwa lereng pernah terjadi longsor atau kritis. Dari hasil ini kondisi stabilitas lereng semakin menurun dengan bertambahnya kecuraman lereng sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan nilai stabilitas lereng tergantung dari besar kemiringan lereng tersebut. Penurunan nilai faktor aman pada kondisi setelah hujan disebabkan oleh bertambahnya beban lereng akibat dari terinfiltrasinya air hujan ke dalam tanah.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai analisis pemodelan lereng akibat beban hujan dan beban lalu lintas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada sudut kemiringan 60° nilai faktor aman dibawah nilai faktor aman kritis yang mengindikasikan bahwa lereng pernah terjadi longsor atau kritis.
2. Beban tambahan pada lereng dan faktor kemiringan lereng mengakibatkan nilai faktor aman pada stabilitas lereng menurun.

REKOMENDASI

1. Perhitungan infiltrasi yang terjadi perlu diverifikasi dengan pengujian infiltrasi di lapangan agar diperoleh data yang lebih akurat.

2. Penelitian ini menganggap parameter tanah yang tidak diketahui di lapangan disetarakan dengan rekomendasi tabel, oleh karena itu pada penelitian selanjutnya perlu mencermati parameter tanah agar sesuai dengan kondisi asli.
3. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengembangan metode yang dapat menggabungkan parameter mekanika tanah dan parameter hidrologi.

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 H I, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Bowles, E.J. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Chen, Li dan Michael H. Young. 2006. *Green-Ampt Infiltration Model For Sloping Surfaces*. Water Resources Research, 42, W07420, doi:10.1029/2005WR004468.
- Dinas Pekerjaan Umum, 2002b, *Panduan Geoteknik 4 No Pt T-10-2002-B*.
- Liong, Gouw Tjie. 2012. *Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method*. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.