

ANALISIS STABILITAS LERENG DI KECAMATAN WINDUSARI KABUPATEN MAGELANG MENGGUNAKAN SOFTWARE GEOSLOPE/W DAN MODEL EMPIRIS

Vidia Gholiyati, Arizzka Yanuar Adi Pradana, Dwi Sat Agus Yuwana

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116
E-mail : vidia.gholiyati@students.untidar.ac.id

Intisari

Tanah longsor merupakan bencana alam yang biasanya terjadi pada daerah dengan kontur berbukit dan berlereng. Kabupaten Magelang merupakan kawasan rawan bencana tanah longsor salah satunya di Kecamatan Windusari, sehingga perlu adanya analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng di Kecamatan Windusari tepatnya di Desa Windusari dan Desa Balesari akan menghasilkan FK yang diperoleh dari perhitungan empiris dan *software Geoslope/W* menggunakan metode *Fellenius* dan *Simplified Bishop*. Data yang diperlukan adalah tinggi lereng (H), kemiringan lereng (θ), berat volume tanah (γ), kohesi tanah (c), sudut gesek dalam (ϕ). Hasil analisis menunjukkan FK terkecil saat kondisi tanah jenuh ($n < 1,3$), sehingga lereng berpotensi longsor. Perhitungan empiris menggunakan metode *Fellenius* diperoleh FK 0,828; 0,902; 0,905; 0,861; 0,977; 1,247, menggunakan metode *Simplified Bishop* diperoleh FK 0,916; 0,934; 0,927; 0,901; 0,977; 1,298. Analisis *software Geoslope/W* diperoleh FK 0,730; 0,853; 0,703; 1,081; 0,941; 1,200 dengan metode *Fellenius*, FK 0,495; 0,632; 0,727; 0,416; 0,886; 0,924 dengan metode *Simplified Bishop*. Hasil analisis menunjukkan FK *software Geoslope/W* lebih kritis dibanding FK perhitungan empiris dengan rata-rata perbedaan 0,250. Perbedaan disebabkan karena *software Geoslope/W* menggunakan metode Radius and Grid yang dapat mendeteksi ratusan pusat lingkaran longsor dengan FK paling kritis, sedang perhitungan empiris hanya menggunakan pengujian trial error dengan rumus yang ditentukan.

Kata kunci : Faktor Keamanan, *Geoslope/W*, Tanah Longsor

Abstract

Landslides are natural disasters that usually occur in areas hilly and marbled contours. Magelang is a landslide prone area, Windusari sub-district is one of them, so there needs analysis of slope stability. Analysis of slope stability in Windusari sub-district precisely in Windusari village and Balesari village, produce FS obtained from empirical models and *Geoslope/W* software using *Fellenius* and *Simplified Bishop* method. The required data are height (H), slope (s), unit weight (γ), cohesion (c), the friction angle (ϕ). The results of analysis showed the smallest FS when saturated soil conditions ($n < 1.3$), so the slopes are potentially landslides. Empirical models using *Fellenius* method obtained FS 0.828; 0.902; 0.905; 0.861; 0.977; 1.247, with *Simplified Bishop* method obtained F 0.916; 0.934; 0.927; 0.901; 0.977; 1.298. Analysis of *Geoslope/W* software obtained FS 0.730; 0.853; 0.703; 1.081; 0.941; 1.200 by *Fellenius* method, and FS 0.495; 0.632; 0.727; 0.416; 0.886; 0.924 by *Simplified Bishop* method. The analysis showed FS of *Geoslope/W* software is more critical than FS of empirical models with an average difference of 0.250. The difference is because *Geoslope/W* software uses Radius and Grid that can detect hundreds of slip surface with the most critical FS, while empirical models only use determined trial error formula.

Keywords: *Geoslope/W*, Landslide, Safety Factor

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Magelang secara geografis merupakan dataran tinggi yang berbentuk 'basin'

(cekungan) dengan dikelilingi gunung-gunung (Merapi, Merbabu, Andong, Telomoyo, Sumbing) dan pegunungan Menoreh. Ketinggian wilayahnya antara 153-3065 mdpl dengan rata-rata ketinggian 360 mdpl. Berdasarkan data Bappeda dan

Litbangda Kabupaten Magelang (2017), Kabupaten Magelang memiliki kawasan rawan bencana alam. Edi Susanto (12/2019), Kepala BPBD Kabupaten Magelang menyatakan bahwa pada wilayah Kabupaten Magelang, terdapat 17 kecamatan dari total 21 kecamatan yang masuk dalam kategori rawan gerakan tanah atau tanah longsor.

Kecamatan Windusari merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Magelang yang terletak di kaki Gunung Sumbing bagian tenggara dengan potensi tanah longsor yang cukup tinggi setelah Kecamatan Kaliangkrik (Syarafina dkk, 2017). Data sensus BPS Kabupaten Magelang (2018), menyatakan bahwa Kecamatan Windusari merupakan daerah perbukitan yang berada pada ketinggian 450 - 3200 mdpl dengan kemiringan sedang 15° - 30° . Jumlah data curah hujan mencapai 2563 mm/tahun dengan 115 hari hujan pada tahun 2018.

BPS Kabupaten Magelang (2018), menyatakan dalam data sensus bencana alam bahwa dalam kurun waktu tiga tahun terakhir, terdapat 13 desa di Kecamatan Windusari yang telah mengalami bencana tanah longsor. Desa Balesari,

Desa Windusari dan Desa Kembangkuning merupakan desa daerah perbukitan atau lereng yang memiliki potensi tanah longsor paling tinggi. Sedang desa yang berada pada daerah dataran namun memiliki potensi longsor yang paling tinggi adalah Desa Gondangrejo, meskipun berada pada daerah dataran namun didesa tersebut sering mengalami tanah longsor tiap tahunnya.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat disimpulkan bahwa Kecamatan Windusari memiliki potensi terjadi longsor cukup tinggi, sehingga diperlukan kajian untuk mengetahui keamanan tanah terhadap longsor di Kecamatan Windusari. Kajian analisis stabilitas lereng merupakan salah satu cara untuk mengetahui lereng dalam kondisi rawan atau aman terhadap bahaya longsor. Kajian analisis stabilitas akan menghasilkan angka keamanan tanah terhadap longsor yang didasarkan pada parameter yang telah ditentukan. Analisis stabilitas lereng terhadap potensi longsor di Kecamatan Windusari akan dilakukan dengan matematis menggunakan metode *Fellenius* dan metode *Simplified Bishop* dengan software *GeoSlope W (Geostudio 2018)*.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 – Gambar 1.6.



Gambar 1.1 Lereng Windusari I



Gambar 1.2 Lereng Windusari II



Gambar 1.3 Lereng Windusari III



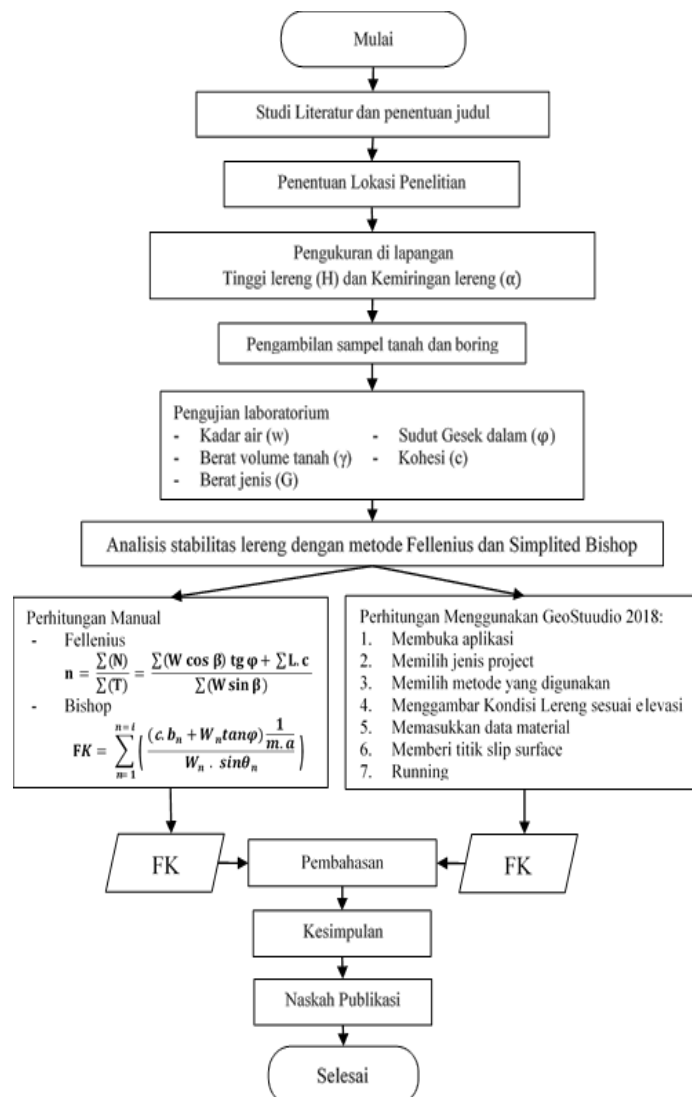
Gambar 1.4 Lereng Balesari I



Gambar 1.5 Lereng Balesari II

Gambar 1.6 Lereng Balesari III

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data parameter lereng

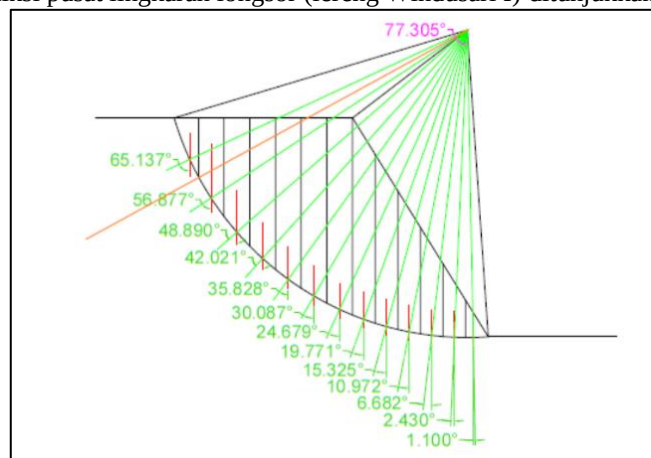
Data parameter yang didapatkan dari penelitian ini yaitu data pengukuran lapangan dan data pengujian laboratorium. Hasil data parameter yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Parameter Lereng

Data	Sat	Lokasi					
		Windusari			Balesari		
		I	II	III	I	II	III
θ	(°)	58,09	57,29	57,37	60,131	60,07	54,66
H	(m)	8,471	6,105	6,122	10,96	9,643	7,802
w	(%)	32,749	33,481	35,382	29,201	31,894	31,59
γ_b	(gr/cm ³)	1,662	1,613	1,625	1,653	1,628	1,632
γ_k	(gr/cm ³)	1,255	1,208	1,201	1,28	1,235	1,24
γ_{sat}	(gr/cm ³)	1,828	1,835	1,857	1,824	1,86	1,877
G		2,501	2,481	2,521	2,481	2,48	2,633
ϕ	(°)	24,256	23,95	21,24	28,002	21,24	31,612
c	(ton/m ²)	1,24	1,13	1,38	1,44	2,23	1,97

3.2 Analisis stabilitas lereng dengan perhitungan manual

Analisis stabilitas lereng dengan perhitungan manual didapat dari prediksi bentuk longsor yang akan terjadi. Contoh hasil prediksi pusat lingkaran longsor (lereng Windusari I) ditunjukkan pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8 Pusat Lingkaran Longsor Lereng Windusari I

Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual ditunjukkan pada Tabel 1.2.

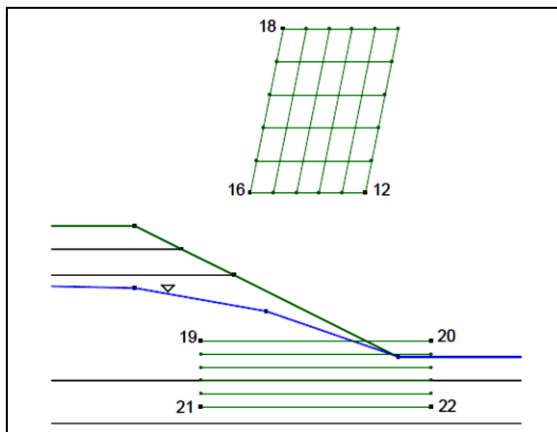
Tabel 1.2 Hasil Analisis secara Manual

Lokasi		Windusari								
		I			II			III		
Kondisi tanah		γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Angka Keamanan	Fellenius	1,51	1,312	0,828	1,663	1,456	0,902	1,724	1,462	0,905
	Bishop	1,555	1,367	0,916	1,701	1,503	0,934	1,744	1,492	0,927
Lokasi		Balesari								
		I			II			III		
Kondisi tanah		γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Angka Keamanan	Fellenius	1,495	1,376	0,861	1,873	1,596	0,977	2,324	2,056	1,247
	Bishop	1,521	1,413	0,901	1,869	1,604	0,993	2,394	2,135	1,298

3.3 Analisis stabilitas lereng dengan software geoslope/w

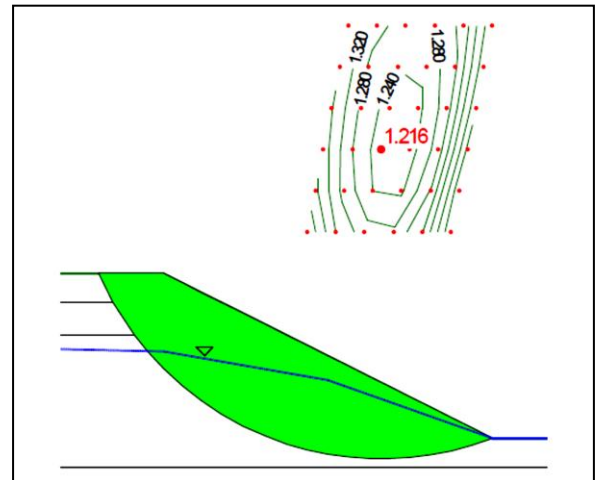
Analisis stabilitas lereng dengan software *Geoslope/W* dilakukan dengan input data model kuat geser *Mohr-Coloumb*, yang terdiri antara lain; kohesi tanah (Kn/m^3), sudut gesek dalam ($^\circ$), dan berat jenis tanah (Kn/m^3), serta dengan menggambar sketsa penampang melintang lereng yang akan dilakukan analisis. Kemudian melakukan running yang sudah tersedia dalam software tersebut untuk mendapatkan hasil analisis pada lereng yang diteliti.

Penentuan uji coba titik pusat longsor yang disediakan oleh software *Slope/W* yaitu dengan metode *Radius and Grid*. Titik pusat longsor melekat pada rumus keseimbangan batas paling awal dan teknik menentukan titik pusat longsor telah menjadi patokan dalam jenis analisis ini. Variasi luas uji coba titik pusat longsor dapat ditentukan dengan kisi pusat lingkaran yang ditentukan dan rentang radius yang ditentukan, pada software *Slope/W* prosedur ini yang disebut metode *Radius and Grid*.



Gambar 1.9 Metode *Radius and Grid* untuk Menentukan Titik Pusat Longsor

Grid di atas lereng adalah kisi pusat rotasi. Setiap titik kisi adalah pusat lingkaran untuk uji coba *Slip*. Contoh gambar di atas terdapat 36 (6×6) titik kisi atau pusat lingkaran. Uji coba pusat lingkaran longsor ditentukan dengan garis radius. Garis ditentukan oleh empat sudut dari sebuah kotak. Dalam contoh di atas, empat sudut adalah 19 (kiri atas), 21 (kiri bawah), 22 (kanan bawah) dan 20 (kanan atas). Contoh di atas ada lima kenaikan membuat jumlah total garis radius sama dengan 6, sehingga *Slope/W* akan menghitung faktor keamanan untuk 216 (36×6) uji coba pusat lingkaran longsor.

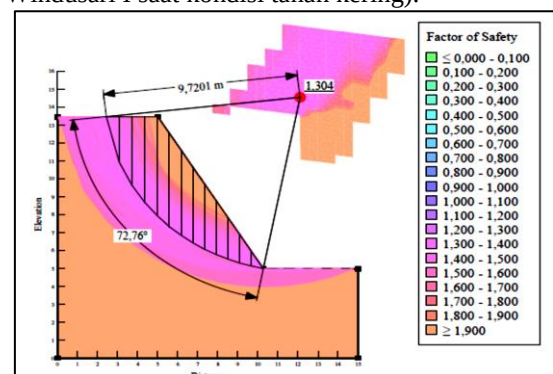


Gambar 1.10 Garis Kontur Faktor Keamanan pada *Grid*

Gambar 1.10 di atas merupakan gambaran hasil uji coba titik pusat lingkaran longsor yang sempurna di mana kontur yang dihasilkan penuh di dalam grid dengan nilai faktor keamanan paling kritis terdapat pada bagian tengah *Grid*. Kondisi yang terjadi pada Gambar 1.10 tidak sering tercapai, sebenarnya nilai angka keamanan yang muncul pada *Grid* setelah dilakukan analisis hanya sedikit dan tidak dapat membentuk kontur secara sempurna.

Cara efektif dalam menentukan nilai angka keamanan paling kritis yang dihasilkan software *Geoslope/W* adalah dengan melakukan beberapa kali uji coba hingga titik paling kritis pusat lingkaran longsor berada ditengah *Grid*. Uji coba yang dilakukan yaitu dengan menggambar dan menentukan letak *Grid* sehingga titik pusat longsor paling kritis terdapat pada *Grid* bagian tengah. Jika angka keamanan yang muncul paling kritis sudah berada di bagian tengah *Grid*, maka dapat dianggap angka keamanan yang muncul adalah angka keamanan paling kritis pada analisis tersebut.

Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan software *Geoslope/W* akan menampilkan gambar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.11 (sebagai contoh hasil analisis pada Lereng Windusari I saat kondisi tanah kering).



Gambar 1.11 Hasil Running Software *Geoslope/W*

Untuk keseluruhan hasil analisis stabilitas lereng dengan *software Geoslope/W* ditunjukkan pada Tabel 1.3.

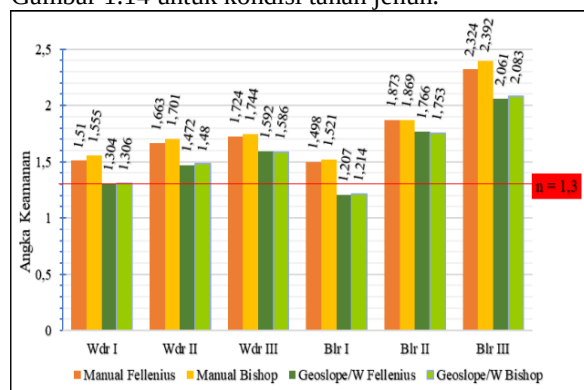
Tabel 1.3 Hasil Analisis *Software Geoslope/W*

Lokasi		Windusari								
		I			II			III		
Kondisi tanah		γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Angka Keamanan	Fellenius	1,304	1,067	0,73	1,472	1,232	0,853	1,592	1,302	0,948
	Bishop	1,306	1,082	0,495	1,48	1,244	0,632	1,586	1,3	0,727

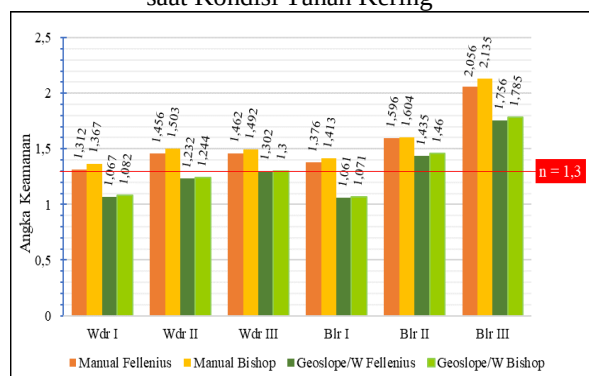
Lokasi		Balesari								
		I			II			III		
Kondisi tanah		γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Angka Keamanan	Fellenius	1,207	1,061	0,703	1,766	1,435	1,081	2,061	1,756	1,2
	Bishop	1,214	1,071	0,416	1,753	1,46	0,886	2,083	1,785	0,924

3.4 Grafik Nilai Angka Keamanan

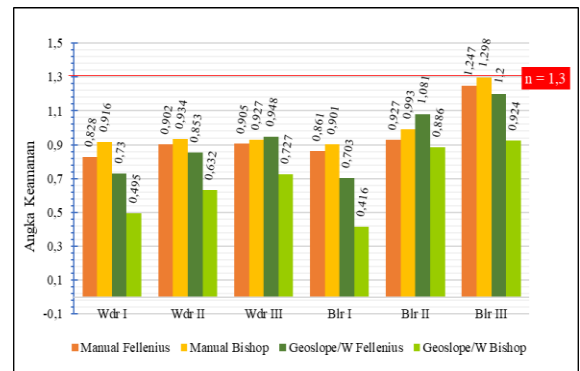
Berdasarkan analisis stabilitas lereng diatas, dapat dibuat grafik nilai angka keamanan untuk tiap kondisi tanah dengan dua perhitungan dan dua metode. Grafik nilai angka keamanan dapat dilihat pada Gambar 1.12 untuk kondisi tanah kering, Gambar 1.13 untuk kondisi tanah basah dan Gambar 1.14 untuk kondisi tanah jenuh.



Gambar 1.12 Diagram Angka Keamanan Lereng saat Kondisi Tanah Kering



Gambar 1.13 Diagram Angka Keamanan Lereng saat Kondisi Tanah Basah

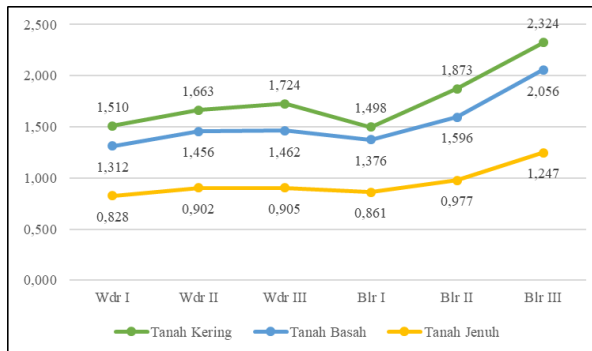


Gambar 1.14 Diagram Angka Keamanan Lereng saat Kondisi Tanah Jenuh

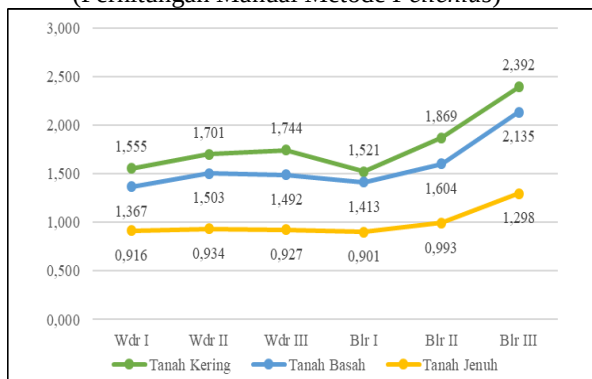
Grafik nilai angka keamanan menunjukkan bahwa hasil analisis stabilitas lereng pada enam lereng di wilayah Kecamatan Windusari, memiliki potensi longsor terlebih saat musim hujan. Dapat diketahui analisis stabilitas lereng menggunakan *software Geoslope/W* menghasilkan nilai angka keamanan pada kondisi kritis ($n < 1,3$) saat kondisi tanah basah dan tanah jenuh, sedangkan dengan analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual menghasilkan nilai angka keamanan pada kondisi kritis ($n < 1,3$) hanya pada saat kondisi tanah jenuh.

3.5 Pengaruh kondisi tanah, sudut gesek dalam, dan kohesi lereng terhadap angka keamanan

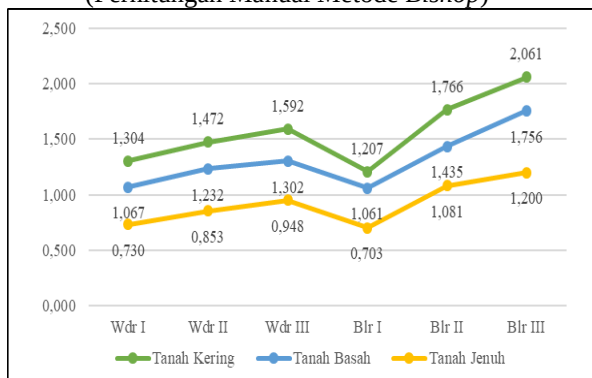
Hasil angka keamanan pada suatu lereng sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu antara lain: berat volume tanah (kondisi tanah), sudut gesek dalam, dan kohesi tanah pada lereng tersebut. Adapun pengaruh kondisi tanah, sudut gesek dalam, dan kohesi terhadap nilai angka keamanan dijelaskan pada Gambar 1.15, Gambar 1.16, Gambar 1.17 dan Gambar 1.18.



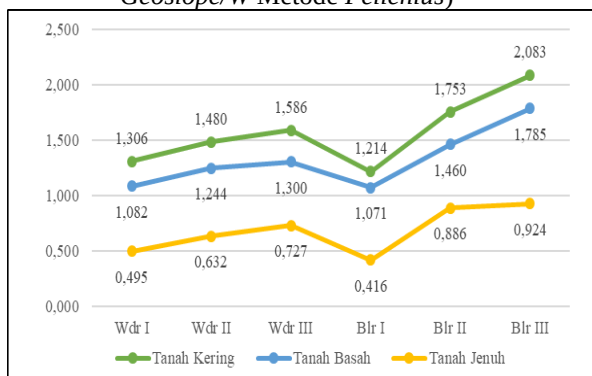
Gambar 1.15 Grafik Angka Keamanan
(Perhitungan Manual Metode Fellenius)



Gambar 1.16 Grafik Angka Keamanan
(Perhitungan Manual Metode Bishop)



Gambar 1.17 Grafik Angka Keamanan (Software Geoslope/W Metode Fellenius)



Gambar 1.18 Grafik Angka Keamanan (Software Geoslope/W Metode Bishop)

Berdasarkan Grafik di atas, dapat diketahui dari perbedaan tiap warna bahwa nilai angka

keamanan paling tinggi dihasilkan saat kondisi tanah kering, kemudian turun saat kondisi tanah basah dan nilai angka keamanan paling rendah dihasilkan saat kondisi tanah jenuh.

Kondisi tanah kering memiliki angka keamanan tertinggi dikarenakan gaya yang bekerja pada lereng tidak terpengaruh oleh kandungan air. Kondisi tanah basah memiliki angka keamanan lebih kecil dibanding kondisi tanah kering karena gaya berat yang bekerja pada lereng terpengaruh oleh kandungan air yang menambah nilainya. Kondisi tanah jenuh memiliki angka keamanan yang paling kecil dibanding kondisi tanah kering dan kondisi tanah basah. Hal ini terjadi karena gaya berat bertambah sehingga gaya pelongsor dan gaya normal juga bertambah, tetapi gaya normal berkurang karena air yang terkandung dalam tanah mengurangi nilai kohesi dan sudut geser.

Selain pengaruh dari kondisi tanah, faktor lain yang mempengaruhi angka keamanan adalah sudut gesek dalam dan kohesi tanah. Hasil perolehan data parameter lereng, menunjukkan bahwa semakin besar sudut gesek dalam dan kohesi pada suatu lereng maka semakin besar pula nilai angka keamanan lereng tersebut, sebagai contoh dari grafik di atas hasil analisis Lereng Balesari III memiliki nilai angka keamanan lebih besar dibanding dengan nilai angka keamanan lereng lain, hal ini dikarenakan pengaruh sudut gesek dalam dan kohesi pada Lereng Balesari III lebih besar dibandingkan dengan lereng yang lain (dapat dilihat pada Tabel 1.1).

3.6 Validitas Angka Keamanan

Validitas angka keamanan berdasarkan analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual dan *software Geoslope/W* diperoleh dari perbedaan atau selisih hasil analisis stabilitas lereng dengan perhitungan manual dan dengan *software Geoslope/W*. Validitas angka keamanan ditunjukkan pada Tabel 1.4 – Tabel 1.7.

Tabel 1.4 Validitas Angka Keamanan Metode *Fellenius* (Windusari)

Lokasi	Windusari								
	I			II			III		
Kondisi tanah	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Manual	1,51	1,312	0,828	1,663	1,456	0,902	1,724	1,462	0,905
<i>Geoslope/W</i>	1,304	1,067	0,73	1,472	1,232	0,853	1,592	1,302	0,948
Perbedaan	0,206	0,245	0,098	0,191	0,224	0,049	0,132	0,16	0,043

Tabel 1.5 Validitas Angka Keamanan Metode *Fellenius* (Balesari)

Lokasi	Balesari								
	I			II			III		
Kondisi tanah	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Manual	1,495	1,376	0,861	1,873	1,596	0,977	2,324	2,056	1,247
<i>Geoslope/W</i>	1,207	1,061	0,703	1,766	1,435	1,081	2,061	1,756	1,2
Perbedaan	0,288	0,315	0,158	0,107	0,161	0,104	0,263	0,3	0,047

Tabel 1.6 Validitas Angka Keamanan Metode *Simplified Bishop* (Windusari)

Lokasi	Windusari								
	I			II			III		
Kondisi tanah	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Manual	1,555	1,367	0,916	1,701	1,503	0,934	1,744	1,492	0,927
<i>Geoslope/W</i>	1,306	1,082	0,495	1,48	1,244	0,632	1,586	1,3	0,727
Perbedaan	0,249	0,285	0,421	0,221	0,259	0,302	0,158	0,192	0,2

Tabel 1.7 Validitas Angka Keamanan Metode *Simplified Bishop* (Balesari)

Lokasi	Balesari								
	I			II			III		
Kondisi tanah	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}	γ_k	γ_b	γ_{sat}
Manual	1,521	1,413	0,901	1,869	1,604	0,993	2,394	2,135	1,298
<i>Geoslope/W</i>	1,214	1,071	0,416	1,753	1,46	0,886	2,083	1,785	0,924
Perbedaan	0,307	0,342	0,485	0,116	0,144	0,107	0,311	0,35	0,374

Berdasarkan hasil perbedaan stabilitas lereng di atas, analisis stabilitas lereng menggunakan *software Geoslope/W* menghasilkan nilai angka keamanan yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan perhitungan manual.

Hasil perbedaan antara analisis menggunakan *software Geoslope/W* dengan hasil analisis secara manual adalah 0,250, hal ini dikarenakan pada *software Geoslope/W* terdapat menu perintah *Radius ang Grid* yang berfungsi mendeteksi ratusan lingkaran longsor dengan kondisi paling kritis. Sedangkan analisis dengan perhitungan empiris hanya dapat memprediksi pusat lingkaran longsor sesuai dengan rumus trial error dengan keterbatasan. Sehingga terbukti bahwa perhitungan menggunakan *software Geoslope/W* memiliki ketelitian yang lebih akurat dibanding menggunakan perhitungan manual.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah data parameter tanah yang berpengaruh terhadap analisis stabilitas lereng adalah tinggi lereng (H), kemiringan lereng (θ), berat volume tanah (γ), kadar air (w), kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ). Angka keamanan yang diperoleh pada masing-masing lereng menggunakan perhitungan manual diperoleh hasil $n > 1,30$ saat kondisi tanah kering dan tanah basah, sedangkan $n < 1,30$ saat kondisi tanah jenuh. Angka keamanan yang diperoleh pada masing-masing lereng menggunakan *software Geoslope/W 2018* diperoleh hasil dengan $n > 1,30$ saat kondisi tanah kering, sedangkan $n < 1,30$ saat kondisi tanah basah dan tanah jenuh. Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual dan *software Geoslope/W 2018* dengan metode *Fellenius* dan metode *Simplified Bishop* menunjukkan bahwa semua lereng yang telah dilakukan penelitian memiliki potensi longsor terutama saat musim hujan dengan kondisi tanah jenuh atau kenyang air

dengan nilai angka keamanan $>1,30$. Analisis menggunakan perhitungan manual dengan menggunakan *software Geoslope/W 2018* menghasilkan angka keamanan dengan perbedaan berkisar antara 0,160-0,300. Hal ini menunjukkan bahwa analisis menggunakan *software Geoslope/W 2018* lebih teliti dibanding analisis secara manual.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian diolah dari:

1. laporan skripsi penulis (Universitas Tidar, 2021)

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ir. Dwi Sat Agus Yuwana, M.T. selaku dosen pembimbing I dan Arizzka Yanuar Adi Pradana selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adipradana, A.,Y., dkk., 2017, “Analisis Stabilitas Lereng di Kaki Gunung Sumbing”, *Reviews in Civil Engineering*. 1(1): 8-12.
- Hardiyatmo, H., 2012, *Tanah Longsor dan Erosi*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hendarsin, S., L., 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Imbar, E., R., B., dkk., 2019, “Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Slope/W Dan Geostructural”, *Jurnal Tekno*, 17(72): 59-64.
- Kecamatan Windusari dalam Angka, 2019, BPS Kabupaten Magelang.
- Muntohar, A., 2010, *Tanah Longsor*, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Surendro, B., 2015, *Mekanika Tanah*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Toha, M., T., dkk., 2019, *Pseudo-static slope stability analysis around the landslide at railway tunnel, South Sumatera, Indonesia*, Sriwijaya international Conference on Science, Engineering, and Technology.