



Evaluasi Kestabilan Lereng Berdasarkan Karakteristik Geologi, Sifat Fisik dan Mekanik Tanah, Daerah Menoreh, Jawa Tengah

Evaluation of Slope Stability Based on Geological Characteristics, Physical and Mechanical Properties of Soil, Menoreh Area, Central Java

P. E. R. Sipayung^{*}, Purwanto, A. Subandrio

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jalan Padjadjaran (SWK 104) Condongcatur, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55283

^{*}Corresponding Author: putriestersipayung@gmail.com

Article Info:

Received: 23-08-2022

Accepted: 08-11-2022

Kata kunci: kestabilan lereng, sifat fisik tanah, sifat mekanik tanah

Keywords: slope stability, soil physical properties, soil mechanical properties

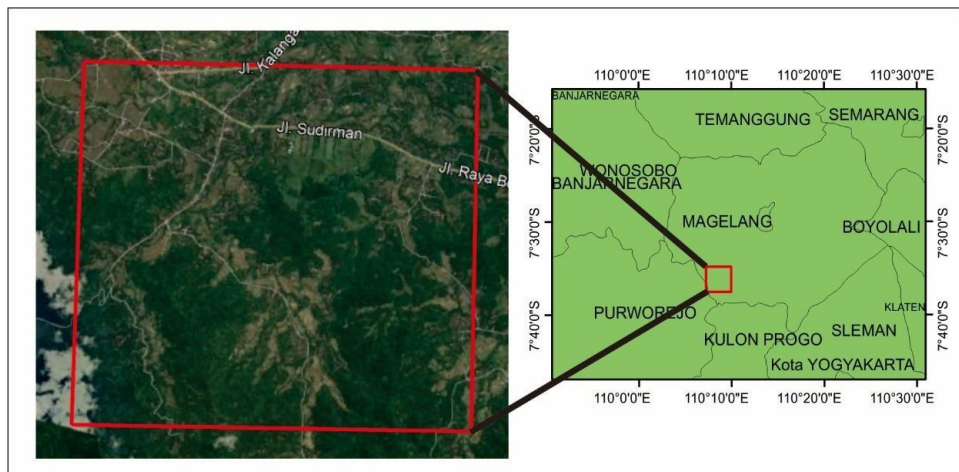
Abstrak: Informasi kestabilan lereng sangat penting untuk mengetahui daerah yang termasuk dalam zona rawan gerakan tanah. Desa Menoreh dan sekitarnya yang terletak di Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah merupakan zona rawan gerakan tanah menengah – tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kestabilan lereng di Desa Menoreh dan sekitarnya berdasarkan karakteristik geologi, sifat fisik dan mekanik tanah. Metode yang digunakan meliputi perhitungan nilai Faktor Keamanan (FK) dan bobot tertimbang indikator gerakan tanah. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada enam buah lereng, yaitu Lereng 1 dan 2 di Desa Paripurno merupakan lereng stabil dengan nilai FK masing-masing 1.308 dan 1.41, Lereng 3 di Desa Ngadiharjo merupakan lereng kritis dengan nilai FK 1.137, Lereng 4 dan 5 di Desa Kalirejo merupakan lereng labil dengan nilai FK 0.841 dan 1.05, serta Lereng 6 di Desa Kalirejo merupakan lereng stabil dengan nilai FK 1.371. Lereng yang disusun oleh lapukan satuan lava andesit lebih stabil dibandingkan lapukan satuan breksi andesit dan intrusi andesit. Semakin besar nilai sifat fisik tanah, slope, dan tinggi lereng, maka kestabilan lereng akan menurun. Sebaliknya, semakin besar nilai sifat mekanik tanah maka kestabilan lereng semakin meningkat.

Abstract: Information of slope stability is very important to know the area that is included in the ground movement prone zone. Menoreh Village and its surrounding area is located in Salaman District, Magelang Regency, Central Java, is a medium to high ground movement prone zone. The purpose of this study is to evaluate slope stability in Menoreh Village and its surrounding area based on geological characteristics, physical and mechanical properties of soil. The method is used includes the calculation of Safety Factor (SF) and the weighted ground motion indicator. Slope stability analysis was done on six slopes, namely Slope 1 and 2 in Paripurno Village are stable slopes with SF 1.308 and 1.41, Slope 3 in Ngadiharjo Village is a critical slope with SF 1.137, Slope 4 and 5 in Kalirejo Village are unstable slopes with SF 0.841 and 0.105, and Slope 6 in Kalirejo Village is a stable slope with SF 1.371. The slope is composed by weathered andesite lava is more stable than weathered andesite breccia and andesite intrusion. Increasing the value of physical properties, slope, and height of slope, will decrease the slope stability. Otherwise, increasing the value of mechanical properties will increase slope stability.

1. Pendahuluan

Kajian penyelidikan gerakan tanah di Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang oleh Badan Geologi tahun 2020 dan kajian tanah longsor Kabupaten Magelang oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Magelang tahun 2018 menyebutkan bahwa Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang merupakan salah satu wilayah yang termasuk dalam zona merah atau daerah rawan gerakan tanah menengah - tinggi. BPBD Magelang mencatat bahwa sebanyak 112 kejadian gerakan tanah tersebar di banyak desa pada Kecamatan Salaman dalam kurun waktu mulai tahun 2015 – 2018. Desa Kalirejo, Desa Ngargoretno, Desa Krasak, Desa Menoreh dan Desa Paripurno merupakan lokasi dengan tingkat kejadian gerakan tanah yang tinggi yaitu sebanyak 4 sampai 8 kejadian gerakan tanah di tahun 2019 (BPBD Magelang, 2019).

Adanya informasi tentang kestabilan lereng sangat penting untuk mengetahui apakah suatu daerah termasuk dalam zona rawan gerakan tanah atau tidak, sehingga upaya mitigasi dapat dilakukan untuk mengurangi dan mencegah dampak dari gerakan tanah. Oleh karena itu, penelitian yang berjudul “Evaluasi Kestabilan Lereng Berdasarkan Karakteristik Geologi, Sifat Fisik dan Mekanik Tanah, Daerah Menoreh, Jawa Tengah” menjadi sangat penting dilakukan untuk memberikan informasi mengenai daerah-daerah yang berpotensi terjadinya gerakan tanah. Lokasi penelitian terletak di Daerah Menoreh dan sekitarnya, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis berada pada koordinat $7^{\circ} 37' 31,94''$ sampai $7^{\circ} 34' 49,46''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ} 7' 14,13''$ sampai $110^{\circ} 9' 57,62''$ Bujur Timur. Secara administratif, berbatasan dengan Kabupaten Purworejo di sebelah Barat, Kecamatan Borobudur di sebelah Timur, Kecamatan Mertoyudan di sebelah Utara, dan Kecamatan Samigaluh Kulonprogo di sebelah Selatan (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian yang terletak di desa Menoreh dan sekitarnya, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah

2. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif, yaitu dengan menghitung nilai Faktor Keamanan (FK) lereng dan nilai bobot tertimbang. Perhitungan nilai FK didasarkan pada Metode Janbu atau yang dikenal dengan Metode Janbu Sederhana (*Metode Janbu Simplified*) menggunakan *software Slide 6.0*. Metode ini dapat digunakan pada permukaan longsor berbentuk *circular* dan *non circular* (Amri dkk, 2021). Metode Janbu memperhitungkan gaya normal antar irisan dan juga gaya gesek antar irisan secara horizontal, tetapi gaya gesek secara vertikal diasumsikan nol (Janbu, 1954). Bidang longsor pada metode ini ditentukan berdasarkan zona lemah yang terdapat pada massa batuan atau tanah. Sedangkan perhitungan nilai bobot tertimbang didasarkan pada Permen PU No.22/PRT/M/2007 tentang penentuan zona kerawanan gerakan tanah tipe C. Nilai bobot tertimbang diperoleh melalui perkalian antara bobot indikator dengan bobot penilaian. Adapun tingkat kerawanan gerakan tanah berdasarkan total nilai bobot tertimbang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Tingkat kerawanan gerakan tanah menurut Permen PU No.22/PRT/M/2007

Kriteria Zona Kerawanan Gerakan Tanah	Total Nilai Bobot Tertimbang
Potensi Kerawanan Gerakan Tanah Tingkat Tinggi	2.40 - 3.00
Potensi Kerawanan Gerakan Tanah Tingkat Sedang	1.70 - 2.39
Potensi Kerawanan Gerakan Tanah Tingkat Rendah	1.00 - 1.69

2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diambil, diamati, dan diukur langsung di lokasi penelitian. Adapun data yang diambil yaitu berupa sampel tanah sebanyak 6 buah dari total 6 lereng yang dianalisis. Sampel tanah tersebut diperlukan untuk mendapatkan parameter sifat fisik tanah (meliputi kadar air dan berat isi) dan parameter sifat mekanik tanah (kohesi dan sudut geser dalam) melalui uji laboratorium (**Tabel 2**). Sedangkan data yang diamati dan diukur langsung di lokasi penelitian yaitu berupa data jenis material penyusun lereng dan data geometri dari ke-6 lereng (meliputi panjang sisi miring, tinggi lereng, panjang lereng, dan *slope*) (**Tabel 3**).

Tabel 2. Data sifat fisik dan sifat mekanik tanah yang diperoleh melalui uji laboratorium

Nomor Lereng	Sifat Fisik Tanah		Sifat Mekanik Tanah	
	Berat isi (kN/m ³)	Kadar Air	Sudut geser (o)	Kohesi (Kpa)
Lereng 1	16,92	24.042	17,76	24
Lereng 2	15,37	23.264	21,3	27
Lereng 3	16,88	23.083	16,97	23
Lereng 4	18,76	29.884	13,64	20
Lereng 5	18,17	27.848	14,16	21
Lereng 6	15,6	22.056	18,01	25

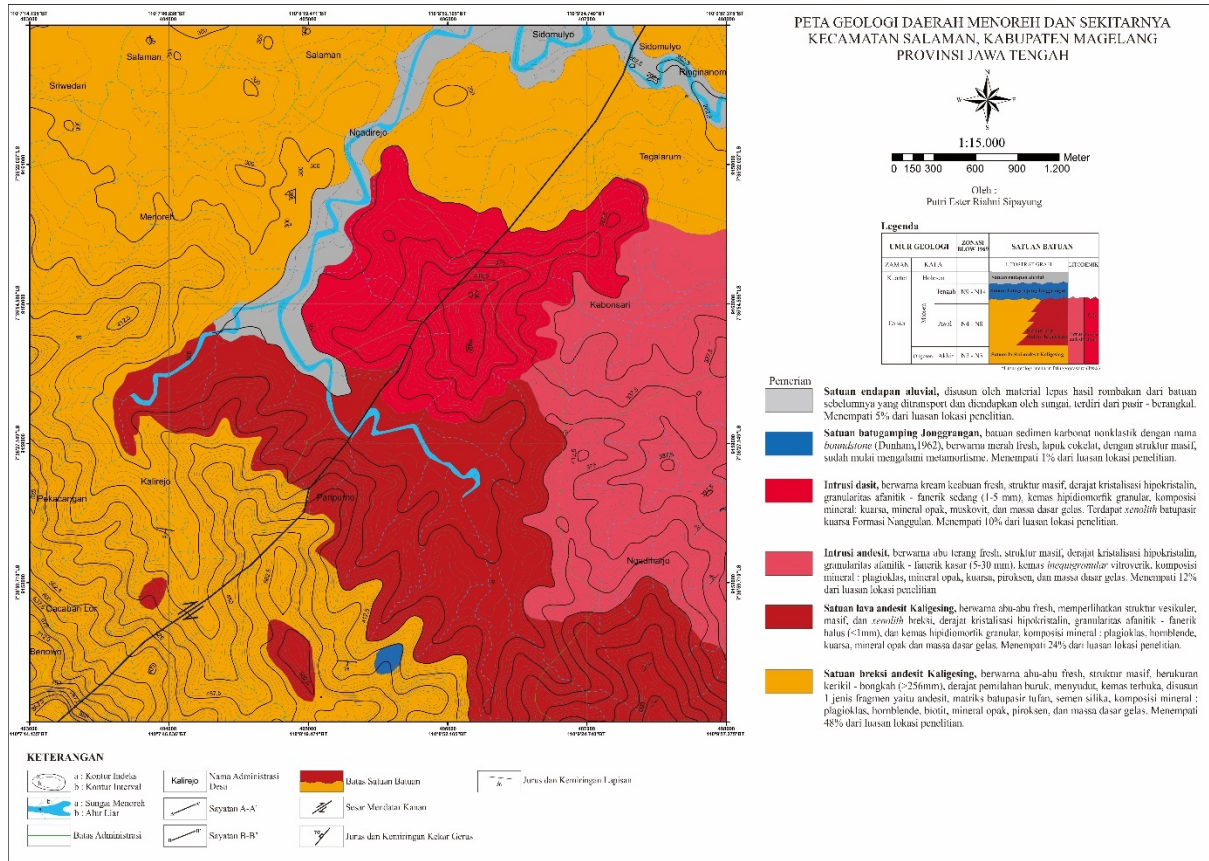
Tabel 3. Data jenis material penyusun lereng dan data geometri dari ke-6 lereng tanah

Nomor Lereng	Material Penyusun	Panjang Sisi Miring (m)	Tinggi Lereng (m)	Panjang Lereng (m)	Slope (o)
Lereng 1	Lapukan lava andesit	6.5	6.5	12	72
Lereng 2	Lapukan lava andesit	4.6	4.26	9	68
Lereng 3	Lapukan intrusi andesit	9.4	9.03	16	74
Lereng 4	Lapukan breksi andesit	11.6	11.25	18	76
Lereng 5	Lapukan breksi andesit	6	5.9	11	80
Lereng 6	Lapukan lava andesit	6.5	6.18	12	79

3. Hasil dan Pembahasan

3.2 Kondisi Geologi Daerah Menoreh dan Sekitarnya

Berdasarkan hasil pemetaan geologi yang dilakukan, pada daerah penelitian ditemukan 6 satuan batuan, mulai dari yang paling muda yaitu satuan endapan aluvial, satuan batugamping Jonggrangan, intrusi dasit, intrusi andesit, satuan lava andesit Kaligesing, dan satuan breksi andesit Kaligesing (**Gambar 2**).



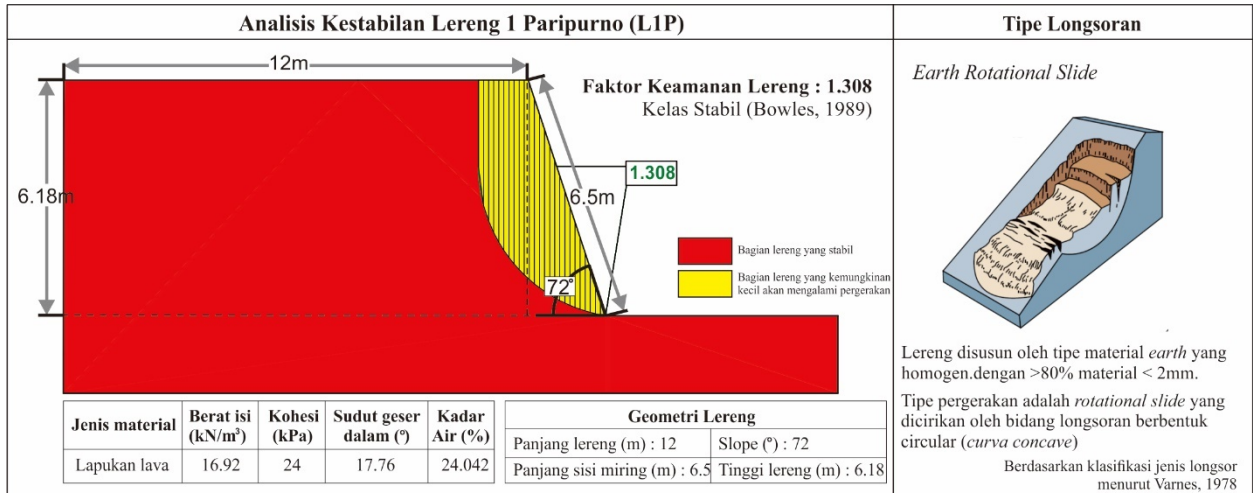
Gambar 2. Kondisi geologi daerah Menoreh dan sekitarnya

3.2 Analisis Kestabilan Lereng

Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan lereng pada 6 buah lereng tanah di lokasi yang berbeda-beda. Keenam lereng tersebut menarik untuk dilakukan analisis lebih mendalam karena berada di sekitar jalan, fasilitas publik, rumah dan juga pemukiman warga. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa terdapat 20 titik lokasi yang mengalami gerakan tanah pada daerah penelitian.

3.2.1 Analisis Kestabilan Lereng 1

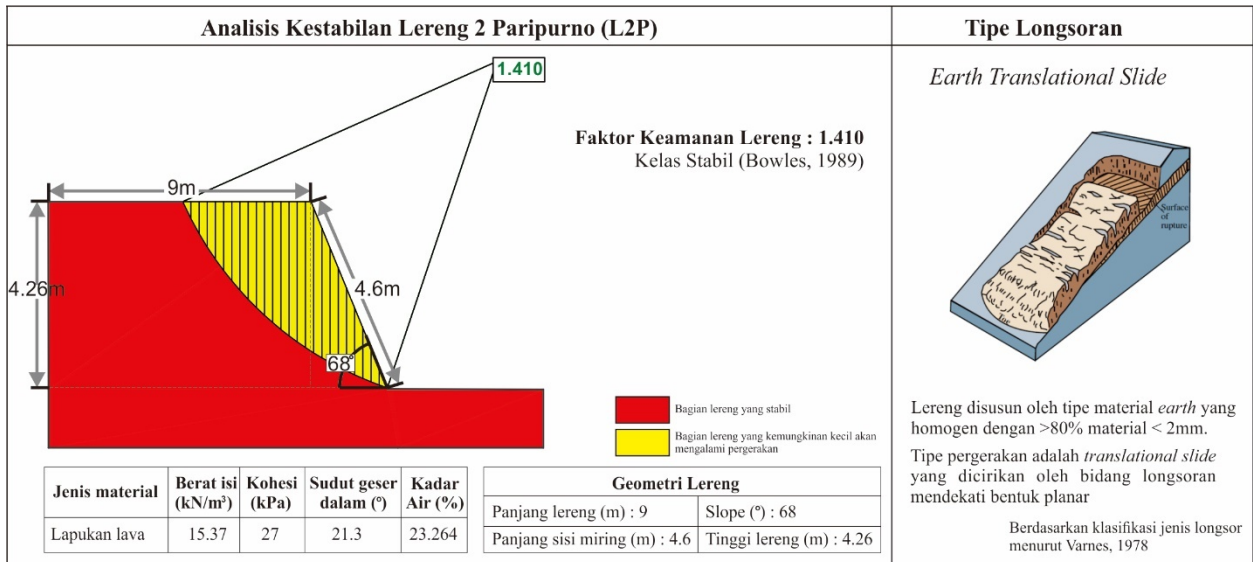
Lereng 1 berada di Desa Paripurno, Kecamatan Salaman, Jawa Tengah dengan koordinat x : 405419, y : 9157955. Berdasarkan analisis kestabilan lereng menggunakan software *Slide 6.0* dengan metode Janbu diperoleh nilai faktor keamanan (FK) lereng sebesar 1.308 (Gambar 3). Mengacu pada klasifikasi Bowles (1989), FK 1.308 termasuk dalam kelas lereng stabil (longsoran jarang terjadi) dengan tipe longsoran *earth rotational slide* (Varnes, 1978).



Gambar 3. Hasil analisis kestabilan lereng 1 dengan metode Janbu, diperoleh nilai FK sebesar 1.308 yang termasuk kelas lereng stabil

3.2.2 Analisis Kestabilan Lereng 2

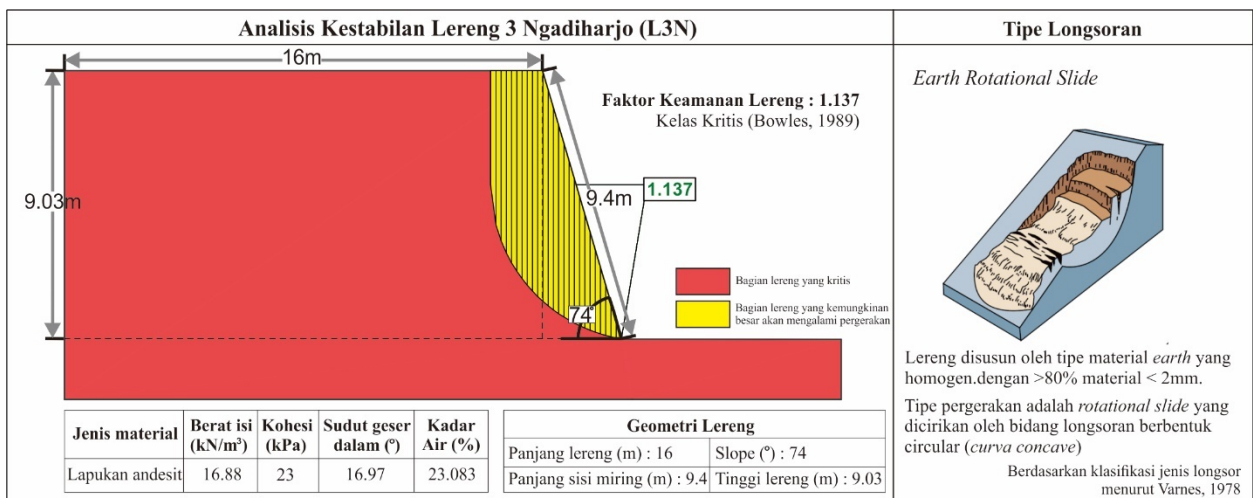
Lereng kedua berada di Desa Paripurno, Kecamatan Salaman, Jawa Tengah dengan koordinat x : 406190, y : 9157664. Berdasarkan analisis kestabilan lereng menggunakan software *Slide 6.0* dengan metode Janbu diperoleh nilai FK lereng sebesar 1.41 (**Gambar 4**). Mengacu pada klasifikasi Bowles (1989), FK 1.41 termasuk dalam kelas lereng stabil (longsoran jarang terjadi) dengan tipe longsoran *earth translation slide* (Varnes, 1978).



Gambar 4. Hasil analisis kestabilan lereng 2 dengan metode Janbu, diperoleh nilai FK sebesar 1.41 yang termasuk kelas lereng stabil

3.2.3 Analisis Kestabilan Lereng 3

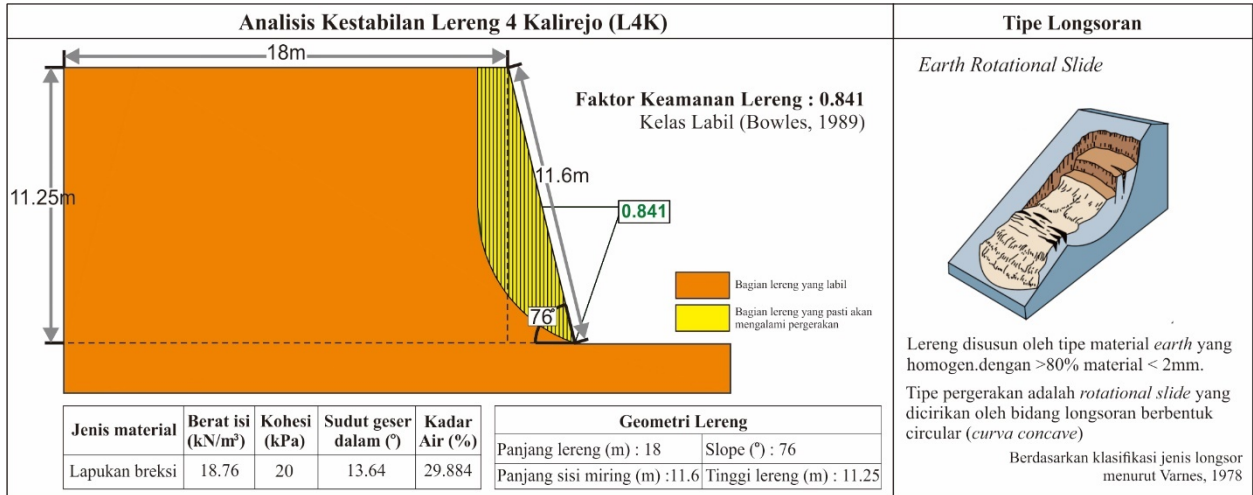
Lereng ketiga berada di Desa Ngadiharjo, Kecamatan Salaman, Jawa Tengah dengan koordinat x : 407909, y : 9159332. Berdasarkan analisis kestabilan lereng menggunakan software *Slide 6.0* dengan metode Janbu diperoleh nilai FK sebesar 1.137 (**Gambar 5**). Mengacu pada klasifikasi Bowles (1989), FK 1.137 termasuk dalam kelas lereng kritis (longsoran pernah terjadi), dengan tipe longsoran *earth rotational slide* (Varnes, 1978).



Gambar 5. Hasil analisis kestabilan lereng 3 dengan metode Janbu, diperoleh nilai FK sebesar 1.137 yang termasuk kelas lereng kritis

3.2.4 Analisis Kestabilan Lereng 4

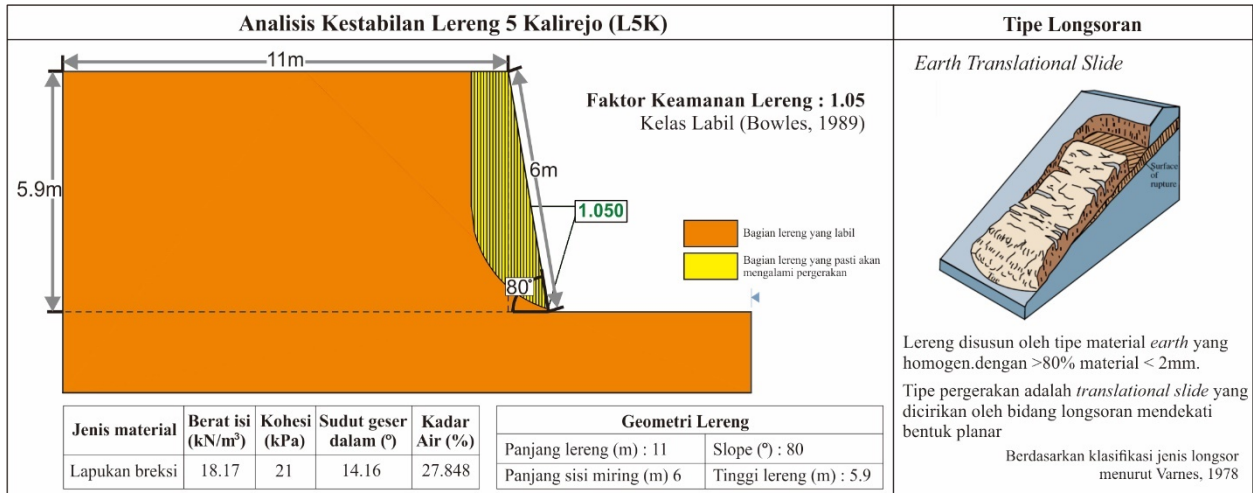
Lereng keempat berada di Desa Kalirejo, Kecamatan Salaman, Jawa Tengah dengan koordinat x : 403673, y : 9158747. Berdasarkan analisis kestabilan lereng menggunakan software *Slide 6.0* dengan metode Janbu diperoleh nilai FK sebesar 0.841 (**Gambar 6**). Mengacu pada klasifikasi Bowles (1989), FK 0.841 termasuk dalam kelas lereng labil (longsoran sering terjadi) dengan tipe longsoran *earth rotational slide* (Varnes, 1978).



Gambar 6. Hasil analisis kestabilan lereng 4 dengan metode Janbu, diperoleh nilai FK sebesar 0.841 yang termasuk kelas lereng labil

3.2.5 Analisis Kestabilan Lereng 5

Lereng kelima berada di Desa Kalirejo, Kecamatan Salaman, Jawa Tengah dengan koordinat x : 404262, y : 9157379. Berdasarkan analisis kestabilan lereng menggunakan software *Slide 6.0* dengan metode Janbu diperoleh nilai FK sebesar 1.05 (**Gambar 7**). Mengacu pada klasifikasi Bowles (1989), FK 1.05 termasuk dalam kelas lereng labil (longsoran sering terjadi) dengan tipe longsoran *earth rotational slide* (Varnes, 1978).

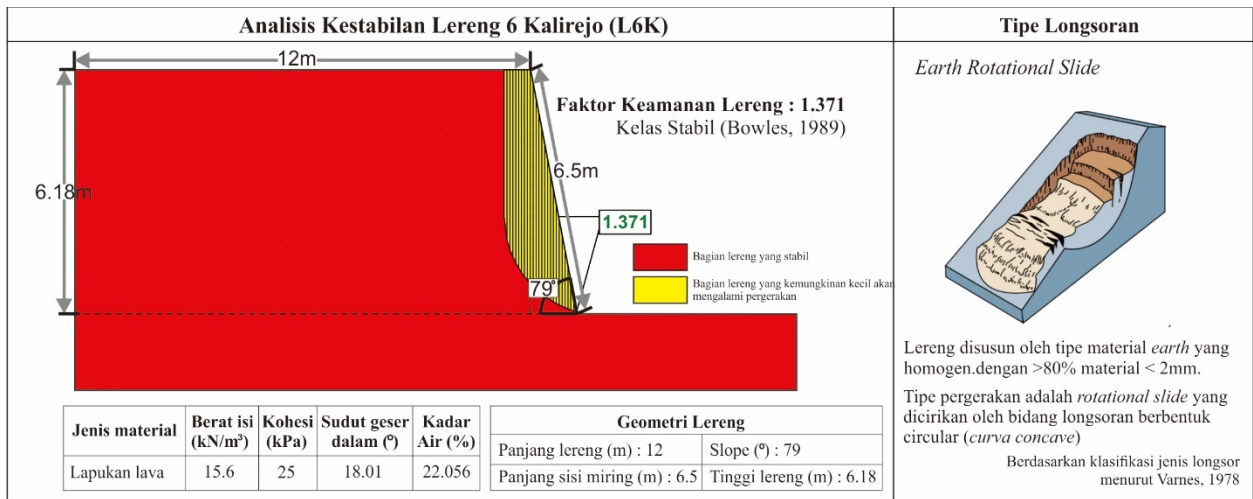


Gambar 7. Hasil analisis kestabilan lereng 5 dengan metode Janbu, diperoleh nilai FK sebesar 1.05 yang termasuk kelas lereng labil

3.2.6 Analisis Kestabilan Lereng 6

Lereng keenam berada di Desa Kalirejo, Kecamatan Salaman, Jawa Tengah dengan koordinat x : 404707, y : 9159383. Berdasarkan analisis kestabilan lereng menggunakan software *Slide 6.0* dengan metode Janbu diperoleh nilai FK sebesar 1.371 (**Gambar 8**). Mengacu pada klasifikasi Bowles (1989), FK

1.371 termasuk dalam kelas lereng stabil (longsoran jarang terjadi) dengan tipe longsoran *earth translational slide* (Varnes, 1978).



Gambar 8. Hasil analisis kestabilan lereng 6 dengan metode Janbu, diperoleh nilai FK sebesar 1.371 yang termasuk kelas lereng stabil

3.3 Evaluasi Kestabilan Lereng Berdasarkan Karakteristik Geologi

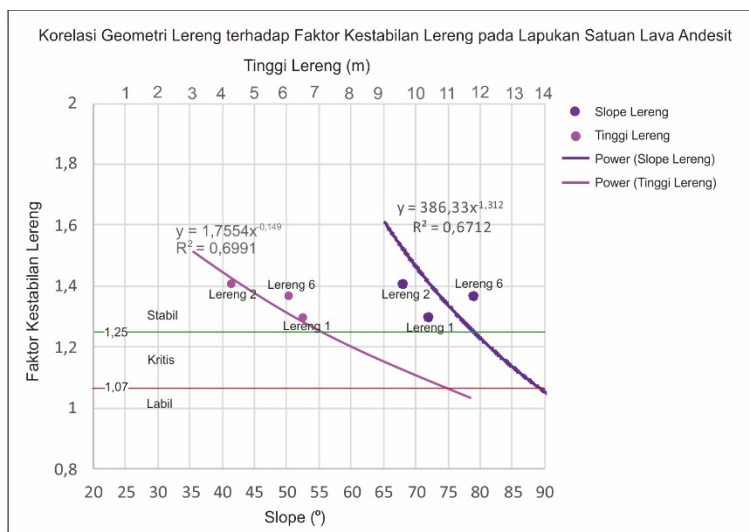
Karakteristik geologi yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah satuan batuan, *slope*, dan tinggi lereng.

3.3.1 Satuan Batuan

Secara berurutan, satuan batuan penyusun lereng mulai dari yang paling stabil adalah lapukan lava andesit Kaligesing, lapukan intrusi andesit, dan lapukan breksi andesit Kaligesing.

3.3.1.1 Satuan lava andesit Kaligesing

Pada satuan lava andesit Kaligesing dilakukan analisa kestabilan lereng pada tiga buah lereng, yaitu Lereng 1, 2 dan 6. Korelasi geometri lereng pada satuan lava andesit Kaligesing terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam bentuk grafik (**Gambar 9**). Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 9**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 4**), diketahui bahwa lereng dengan kelas stabil apabila memiliki tinggi < 7 m dan slope < 79°. Sedangkan lereng dengan kelas kritis apabila memiliki tinggi 7 – 11 m dan slope 80 – 88°, dan lereng dengan kelas labil apabila memiliki tinggi > 11 m dan slope > 88°.



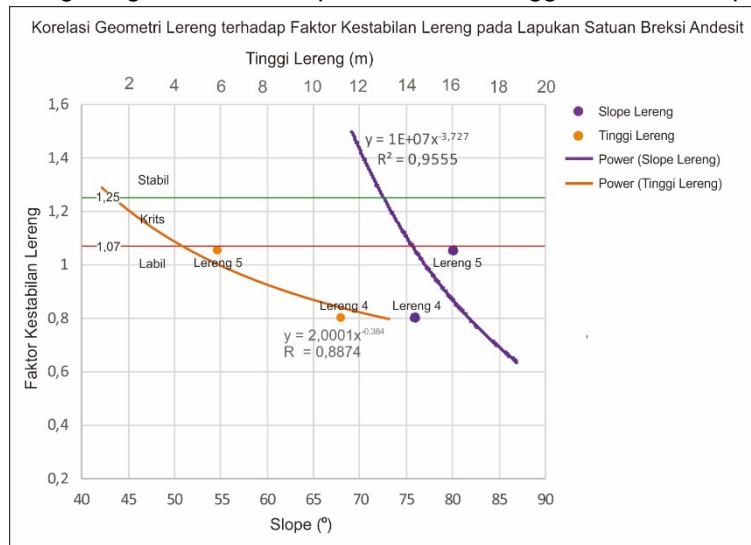
Gambar 9. Korelasi geometri lereng terhadap faktor kestabilan lereng pada lapukan satuan lava andesit

Tabel 4. Nilai FK, Xt dan Xs berdasarkan kelas kestabilan lereng pada lapukan satuan lava andesit

Nilai FK (Bowles,1989)	Kelas	Tinggi Lereng Xt (m)	Slope Xs (°)
< 1,07	Labil	> 11	> 88
1,07 - 1,25	Kritis	7 - 11	80 - 88
> 1,25	Stabil	< 7	< 79

3.3.1.2 Satuan breksi andesit Kaligesing

Pada satuan breksi andesit Kaligesing dilakukan analisa kestabilan lereng yaitu pada Lereng 4 dan 5. Korelasi geometri lereng pada satuan breksi andesit Kaligesing terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam bentuk grafik (**Gambar 10**). Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 10**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 6**), diketahui bahwa lereng dengan kelas stabil apabila memiliki tinggi < 2 m dan slope < 73°. Sedangkan lereng dengan kelas kritis apabila memiliki tinggi berkisar 2 - 4 m dan slope 73 - 76°, dan lereng dengan kelas labil apabila memiliki tinggi > 4 m dan slope > 76°.



Gambar 10. Korelasi geometri lereng terhadap faktor kestabilan lereng pada lapukan satuan breksi andesit Kaligesing

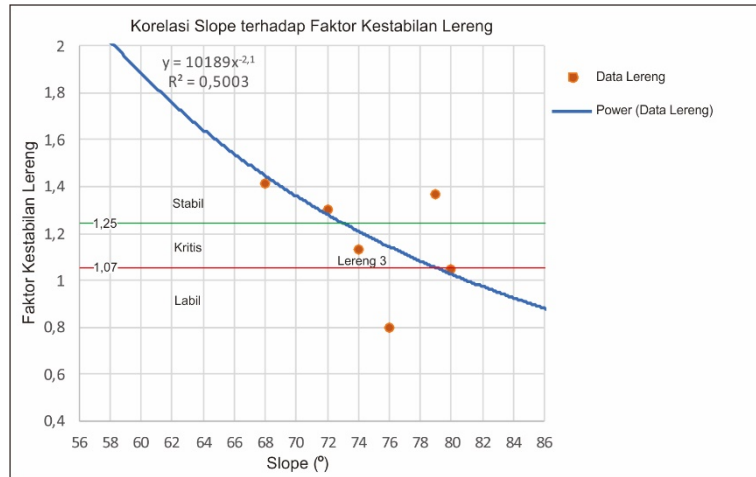
Tabel 6. Nilai FK, Xt dan Xs berdasarkan kelas kestabilan lereng pada lapukan satuan breksi andesit

Nilai FK (Bowles,1989)	Kelas	Tinggi Lereng Xt (m)	Slope Xs (°)
< 1,07	Labil	> 4	> 76
1,07 - 1,25	Kritis	2 - 4	73 - 76
> 1,25	Stabil	< 2	< 73

3.3.2 Slope

Korelasi *slope* pada keenam lereng terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam grafik dengan persamaan $y = 10189x-2,1$ dan $R^2 = 0,5003$ pada **Gambar 11**. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa nilai *slope* yang besar akan memperkecil faktor kestabilan lereng, dan sebaliknya apabila semakin kecil nilai *slope* maka nilai faktor kestabilan lereng akan meningkat. Besarnya pengaruh *slope* terhadap faktor kestabilan lereng dinyatakan dalam $R^2 = 0,5003$ yang berarti bahwa *slope* mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap faktor kestabilan lereng.

Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 11**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 7**), diketahui bahwa nilai *slope* > 79° menghasilkan FK < 1,07 dengan kelas lereng labil, nilai *slope* 73 - 79° menghasilkan FK berkisar 1,07 - 1,25 dengan kelas lereng kritis, dan *slope* < 73° menghasilkan FK > 1,25 dengan kelas lereng stabil.



Gambar 11. Korelasi *slope* terhadap faktor kestabilan lereng pada keseluruhan lereng

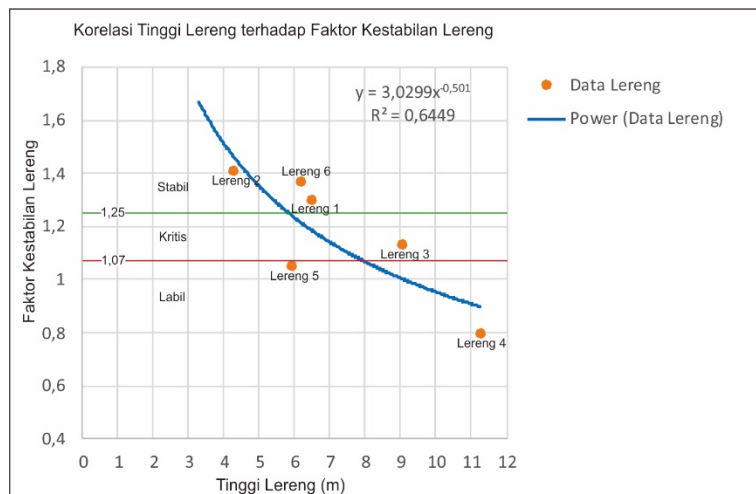
Tabel 7. Nilai FK lereng berdasarkan *slope* pada keseluruhan lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK) (Bowles, 1991)	Kelas	Slope (°)
< 1,07	Labil	> 79
1,07 - 1,25	Kritis	73 - 79
> 1,25	Stabil	< 73

3.3.3 Tinggi Lereng

Korelasi tinggi lereng pada keenam lereng terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam grafik dengan persamaan $y = 3,0299x^{-0,501}$ dan $R^2 = 0,6449$ pada **Gambar 12**. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa nilai tinggi lereng yang besar akan memperkecil faktor kestabilan lereng, dan sebaliknya apabila semakin kecil nilai tinggi lereng maka nilai faktor kestabilan lereng akan meningkat. Besarnya pengaruh tinggi lereng terhadap faktor kestabilan lereng dinyatakan dalam $R^2 = 0,6449$ yang berarti bahwa tinggi lereng mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap faktor kestabilan lereng.

Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 12**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 8**), diketahui bahwa nilai tinggi lereng > 8 meter menghasilkan FK < 1,07 dengan kelas lereng labil, nilai tinggi lereng 6 – 8 meter menghasilkan FK berkisar 1,07 - 1,25 dengan kelas lereng kritis, dan tinggi lereng < 6 meter menghasilkan FK > 1,25 dengan kelas lereng stabil.



Gambar 12. Korelasi tinggi lereng terhadap faktor kestabilan lereng pada keseluruhan lereng

Tabel 8. Nilai FK lereng berdasarkan tinggi lereng pada keseluruhan lereng

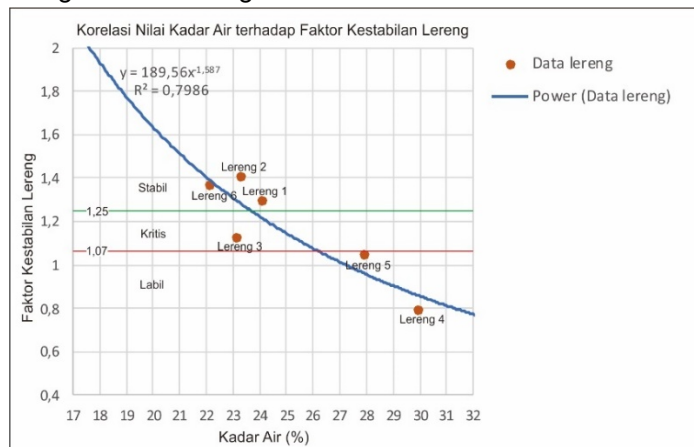
Nilai Faktor Keamanan (FK) (Bowles, 1991)	Kelas	Tinggi Lereng (m)
< 1,07	Labil	> 8
1,07 - 1,25	Kritis	6 - 8
> 1,25	Stabil	< 6

3.4 Evaluasi Kestabilan Lereng Berdasarkan Sifat Fisik Tanah

3.4.1 Kadar Air

Pengujian kadar air di laboratorium mengikuti SNI 1966:2008. Korelasi kadar air pada keenam lereng terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam grafik dengan persamaan $y = 189,56x - 1,587$ dan $R^2 = 0,7986$ (**Gambar 13**). Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa peningkatan kadar air akan memperkecil faktor kestabilan lereng, dan apabila kadar air semakin menurun maka nilai faktor kestabilan lereng akan meningkat. Besarnya pengaruh kadar air terhadap faktor kestabilan lereng dinyatakan dalam $R^2 = 0,7986$ yang berarti bahwa kadar air berpengaruh besar terhadap faktor kestabilan lereng.

Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 13**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 9**), diketahui bahwa nilai kadar air > 26% menghasilkan FK < 1,07 dengan kelas lereng labil, nilai kadar air 24 - 26% menghasilkan FK berkisar 1,07 - 1,25 dengan kelas lereng kritis, dan nilai kadar air < 24% menghasilkan FK > 1,25 dengan kelas lereng stabil.



Gambar 13. Korelasi kadar air terhadap faktor kestabilan lereng pada keseluruhan lereng

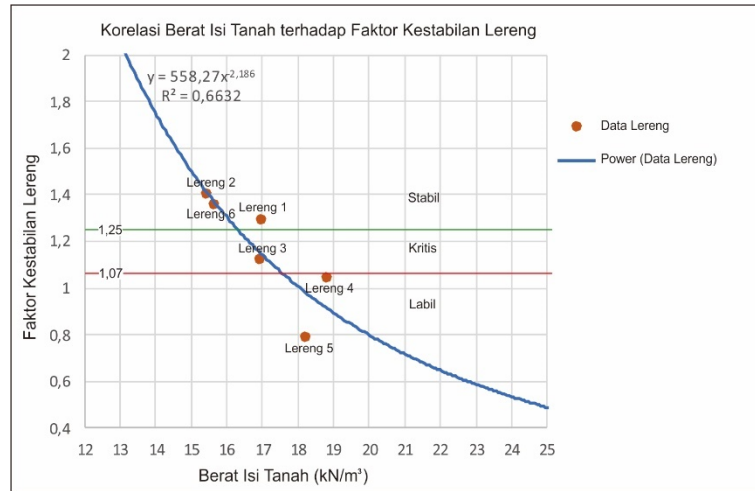
Tabel 9. Nilai FK lereng berdasarkan kadar air lereng pada keseluruhan lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK) (Bowles, 1989)	Kelas	Kadar Air (%)
< 1,07	Labil	> 26
1,07 - 1,25	Kritis	24 - 26
> 1,25	Stabil	< 24

3.4.2 Berat Isi Tanah

Pengujian berat isi tanah di laboratorium mengikuti SNI 03-3637-1994. Korelasi berat isi tanah pada keenam lereng terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam bentuk grafik dengan persamaan $y = 558,27x - 2,186$ dan $R^2 = 0,6632$ (**Gambar 14**). Berdasarkan grafik tersebut, diketahui bahwa peningkatan berat isi tanah akan memperkecil faktor kestabilan lereng, dan sebaliknya apabila berat isi tanah semakin kecil maka faktor kestabilan lereng akan meningkat. Besarnya pengaruh berat isi tanah terhadap faktor kestabilan lereng dinyatakan dalam $R^2 = 0,6632$ yang berarti bahwa berat isi tanah mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap faktor kestabilan lereng.

Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 14**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 10**), diketahui bahwa nilai berat isi tanah > 17 kN/m³ menghasilkan FK < 1,07 dengan kelas lereng labil, nilai berat isi tanah 17 kN/m³ menghasilkan FK berkisar 1,07 - 1,25 dengan kelas lereng kritis, dan nilai berat isi tanah < 17 kN/m³ menghasilkan FK > 1,25 dengan kelas lereng stabil.



Gambar 14. Korelasi berat isi tanah terhadap faktor kestabilan lereng pada keseluruhan lereng

Tabel 10. Nilai FK lereng berdasarkan berat isi tanah pada keseluruhan lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK) (Bowles, 1989)	Kelas	Berat Isi Tanah (kN/m ³)
< 1,07	Labil	> 17
1,07 - 1,25	Kritis	17
> 1,25	Stabil	< 17

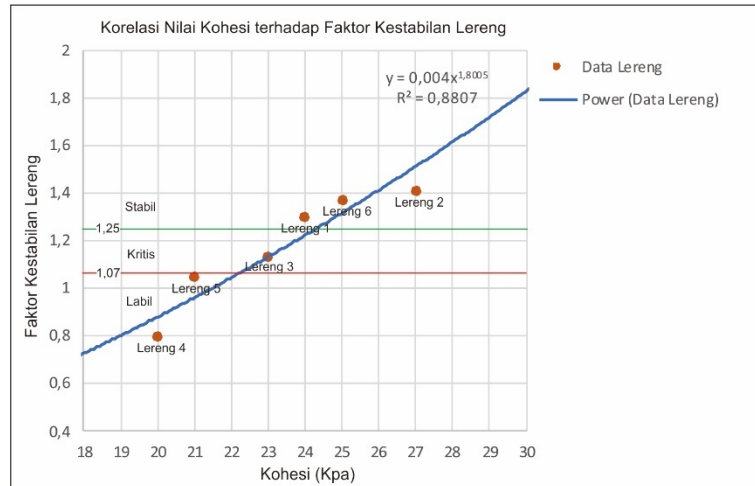
3.5 Evaluasi Kestabilan Lereng Berdasarkan Sifat Mekanik Tanah

Salah satu pengujian yang dapat dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik tanah adalah uji geser langsung (*direct shear test*). Uji geser langsung dipilih pada penelitian ini karena sangat cocok dengan jenis tanah penyusun lereng yang cenderung bersifat *non kohesif* (kepasiran). Uji geser langsung yang dilakukan di laboratorium mengikuti SNI 3420:2016. Adapun parameter yang dihasilkan dari uji geser langsung adalah tegangan normal, nilai kohesi, dan sudut geser dalam yang merupakan fungsi dari kuat geser tanah.

3.5.1 Kohesi

Korelasi kohesi pada keenam lereng terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam grafik dengan persamaan $y = 0,044x^{1,8005}$ dan $R^2 = 0,8807$ (Gambar 15). Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa peningkatan kohesi akan memperbesar faktor kestabilan lereng, dan sebaliknya apabila nilai kohesi semakin mengecil maka nilai faktor kestabilan lereng akan menurun. Besarnya pengaruh kohesi terhadap faktor kestabilan lereng dinyatakan dalam $R^2 = 0,8807$ yang berarti bahwa kohesi mempunyai pengaruh yang besar terhadap faktor kestabilan lereng.

Berdasarkan grafik korelasi (Gambar 15) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (Tabel 11), diketahui bahwa nilai kohesi < 23 Kpa menghasilkan FK < 1,07 dengan kelas lereng labil, nilai kohesi 23 – 24 Kpa menghasilkan FK berkisar 1,07 - 1,25 dengan kelas lereng kritis, dan nilai kohesi > 24 Kpa menghasilkan FK > 1,25 dengan kelas lereng stabil.



Gambar 15. Korelasi nilai kohesi terhadap faktor kestabilan lereng pada keseluruhan lereng

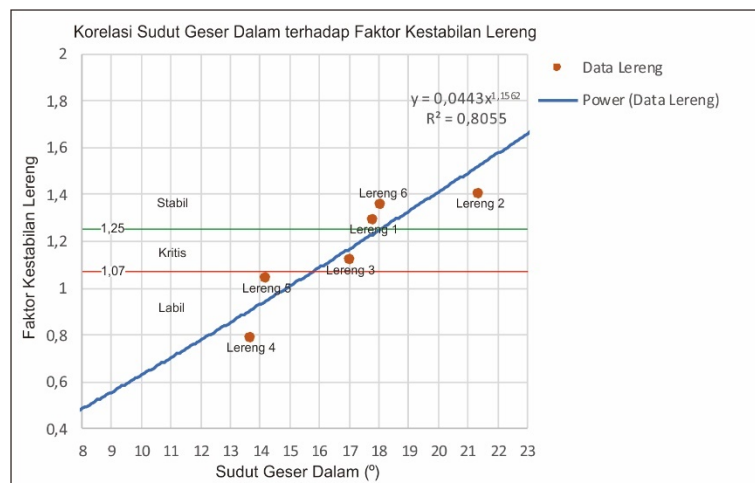
Tabel 11. Nilai FK lereng berdasarkan kohesi pada keseluruhan lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK) (Bowles, 1989)	Kelas	Kohesi (Kpa)
< 1,07	Labil	< 23
1,07 - 1,25	Kritis	23 - 24
> 1,25	Stabil	> 24

3.5.2 Sudut Geser Dalam

Korelasi sudut geser dalam pada keenam lereng terhadap faktor kestabilan lereng disajikan dalam bentuk grafik dengan persamaan $y = 0,0443x^{1,1562}$ dan $R^2 = 0,8055$ (**Gambar 16**). Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa nilai sudut geser dalam yang besar akan meningkatkan faktor kestabilan lereng, dan sebaliknya apabila nilai sudut geser dalam semakin mengecil maka nilai faktor kestabilan lereng akan menurun. Besarnya pengaruh sudut geser dalam terhadap faktor kestabilan lereng dinyatakan dalam $R^2 = 0,8055$ yang berarti bahwa sudut geser dalam mempunyai pengaruh yang besar terhadap faktor kestabilan lereng.

Berdasarkan grafik korelasi (**Gambar 16**) dengan mengacu pada klasifikasi Bowles, 1989 (**Tabel 12**), diketahui bahwa nilai sudut geser dalam $< 16^\circ$ menghasilkan FK $< 1,07$ dengan kelas lereng labil, nilai sudut geser dalam berkisar $16 - 18^\circ$ menghasilkan FK berkisar $1,07 - 1,25$ dengan kelas lereng kritis, dan nilai sudut geser dalam $> 18^\circ$ menghasilkan FK $> 1,25$ dengan kelas lereng stabil.



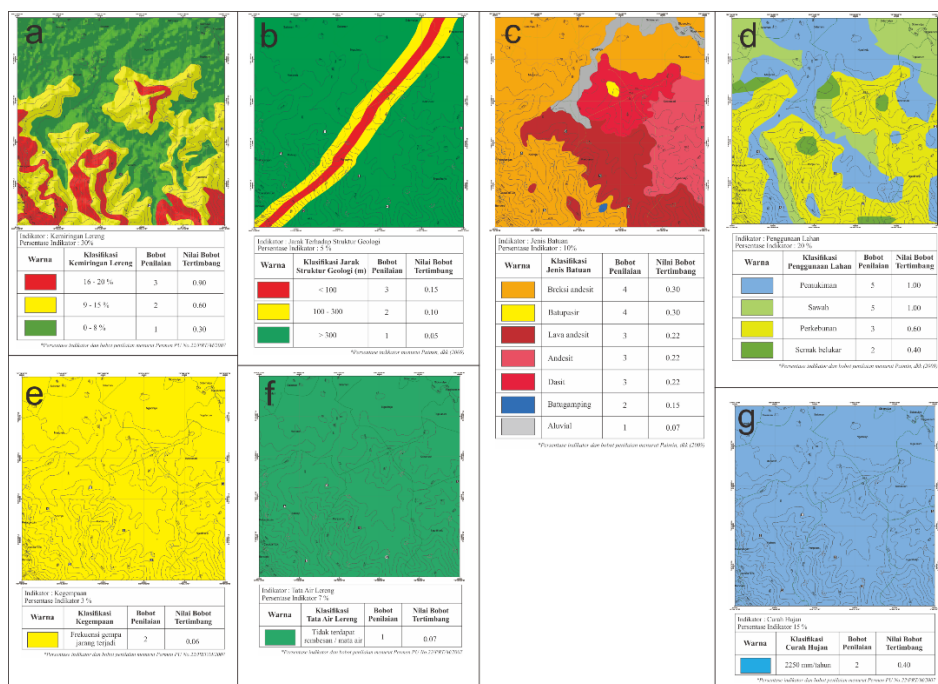
Gambar 16. Korelasi nilai sudut geser dalam terhadap faktor kestabilan lereng pada keseluruhan lereng

Tabel 12. Nilai FK lereng berdasarkan sudut geser dalam pada keseluruhan lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK) (Bowles, 1989)	Kelas	Sudut Geser Dalam (°)
< 1,07	Labil	< 16
1,07 - 1,25	Kritis	16 - 18
> 1,25	Stabil	> 18

3.6 Zona Kerawanan Gerakan Tanah Daerah Menoreh dan Sekitarnya

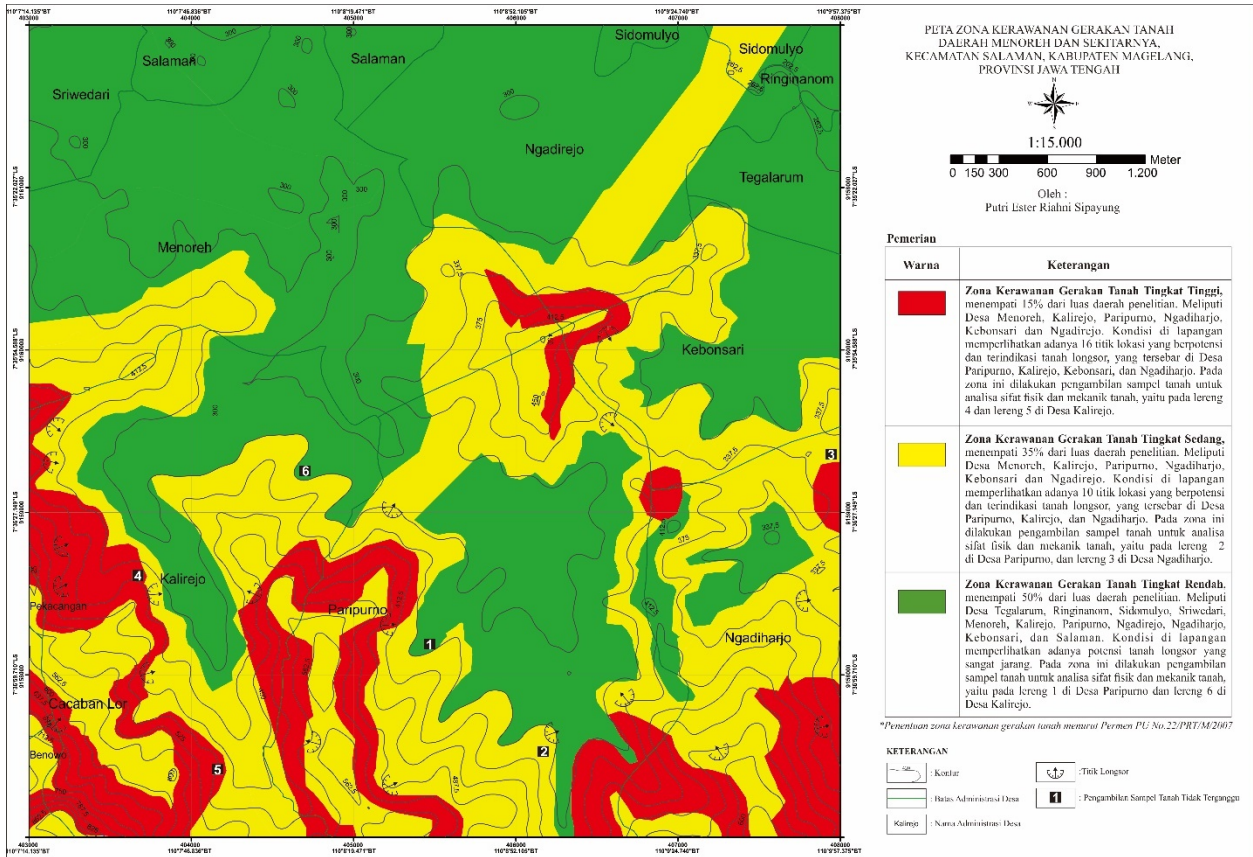
Penentuan zona kerawanan gerakan tanah dilakukan dengan menghitung nilai bobot tertimbang dari indikator kerawanan gerakan tanah. Adapun indikator yang digunakan yaitu kemiringan lereng, jenis batuan, curah hujan, jarak terhadap struktur geologi, penggunaan lahan, kegempaan, dan tata air lereng (**Gambar 17**), yang kemudian dihubungkan dengan hasil evaluasi kondisi lereng tanah dan persebaran titik lokasi kejadian gerakan tanah. Berdasarkan perhitungan nilai bobot tertimbang (**Tabel 13**) dihasilkan tiga zona kerawanan gerakan tanah, yaitu zona kerawanan gerakan tanah tingkat tinggi, zona kerawanan gerakan tanah tingkat sedang, dan zona kerawanan gerakan tanah tingkat rendah (**Gambar 18**).



Gambar 17. Indikator kerawanan gerakan tanah : a.kemiringan lereng, b.jarak terhadap struktur geologi, c. jenis batuan, d. penggunaan lahani, e. kegempaan, f. tata air lereng, dan g. curah hujan

Tabel 13. Perhitungan nilai bobot tertimbang tingkat kerawanan gerakan tanah seluruh indikator

NO	INDIKATOR	KLASIFIKASI	BOBOT INDIKATOR (%)	BOBOT PENILAIAN	NILAI BOBOT TERTIMBANG
1	Kemiringan Lereng	16 - 20 %	30	3	0.90
		9 - 15 %		2	0.60
		0 - 8 %		1	0.30
2	Curah Hujan	2250 mm / tahun	15	2	0.40
3	Struktur Geologi	< 100 meter	5	3	0.15
		100 - 300 meter		2	0.10
		> 300 meter		1	0.05
4	Jenis Batuan	Breksi andesit, batupasir	10	4	0.30
		Batuan beku (andesit, dasit, lava andesit)		3	0.22
		Batugamping		2	0.15
		Aluvial		1	0.07
5	Penggunaan Lahan	Pemukiman, sawah	20	5	1.00
		Perkebunan		3	0.60
		Semak, belukar, rumput		2	0.40
6	Kegempaan	Frekuensi gempa jarang terjadi	3	2	0.06
7	Tata Air Lereng	Tidak terdapat rembesan / mata air	7	1	0.07
8	Kondisi Lereng Tanah	Lereng labil dengan kohesi < 23 Kpa, sudut geser dalam < 16° kadar air 26% berat isi > 17 kN/m ³ slope >79°, tinggi >8m	10	3	0.30
		Lereng kritis dengan kohesi 23 - 24 Kpa, sudut geser dalam 16-18° kadar air 24 - 26% berat isi 17 kN/m ³ slope 73-79°, tinggi 6-8m		2	0.20
		Lereng stabil dengan kohesi >24 Kpa, sudut geser dalam >18° kadar air < 24% berat isi < 17 kN/m ³ slope < 73°, tinggi <6 m		1	0.10



Gambar 18. Persebaran zona kerawanan gerakan tanah daerah Menoreh dan sekitarnya

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

Analisis kestabilan lereng yang dilakukan pada enam lereng memiliki nilai faktor keamanan (FK) yang berbeda. Lereng 1 di Desa Paripurno merupakan lereng stabil dengan nilai FK 1.308, Lereng 2 di Desa Paripurno merupakan lereng stabil dengan nilai FK 1.41, Lereng 3 di Desa Ngadiharjo merupakan lereng kritis dengan nilai FK 1.137, Lereng 4 di Desa Kalirejo merupakan lereng labil dengan nilai FK 0.841, Lereng 5 di Desa Kalirejo merupakan lereng labil dengan nilai FK 1.05 dan Lereng 6 yang juga berada di Desa Kalirejo merupakan lereng stabil dengan nilai FK 1.371.

Berdasarkan grafik korelasi antara data sifat fisik tanah dengan faktor kestabilan lereng, maka sifat fisik seperti kadar air dan berat isi tanah menjadi faktor penyebab terjadinya gerakan tanah. Kadar air berpengaruh besar terhadap kestabilan lereng, yaitu apabila nilai kadar air semakin tinggi maka nilai faktor kestabilan lereng akan menurun. Begitu juga dengan berat isi tanah, yaitu apabila berat isi tanah semakin tinggi maka nilai faktor kestabilan lereng akan menurun.

Berdasarkan grafik korelasi antara data sifat mekanik tanah melalui uji geser langsung (*direct shear test*) dengan faktor kestabilan lereng, maka sifat mekanik seperti kohesi dan sudut geser dalam menjadi faktor penyebab terjadinya gerakan tanah. Nilai kohesi mempunyai pengaruh yang besar terhadap kestabilan lereng, yaitu apabila nilai kohesi semakin tinggi maka kestabilan lereng akan meningkat. Dan nilai sudut geser dalam juga mempunyai pengaruh yang besar terhadap kestabilan lereng, yaitu apabila nilai sudut geser dalam semakin tinggi maka kestabilan lereng akan meningkat.

Kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh karakteristik geologi, yaitu satuan batuan, tinggi lereng, dan *slope*. Satuan lava andesit memiliki kohesi dan sudut geser dalam yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan lereng yang lebih stabil dibandingkan dengan satuan breksi andesit dan intrusi andesit. Juga didukung oleh geometri lereng, dimana satuan lava andesit memiliki tinggi lereng dan *slope* yang bernilai lebih kecil dibandingkan dengan geometri breksi dan intrusi andesit.

Penentuan zona kerawanan gerakan tanah menggunakan indikator kemiringan lereng, jenis batuan, curah hujan, jarak terhadap struktur geologi, penggunaan lahan, tata air lereng, kegempaan, dan kondisi lereng tanah dengan evaluasi kestabilan lereng berdasarkan karakteristik geologi dan sifat fisik mekanik tanah, serta menyesuaikan dengan persebaran titik lokasi gerakan tanah, sehingga dihasilkan tiga zona kerawanan gerakan tanah, yaitu zona dengan tingkat kerawanan tingkat tinggi, zona dengan tingkat kerawanan tingkat sedang, dan zona dengan tingkat kerawanan tingkat rendah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta atas fasilitas yang diberikan selama penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Amri, N., Dharmawansyah, D., & Hermansyah. (2021). Perbandingan Metode Bishop Dan Janbu Dalam Analisis Stabilitas Lereng Pada Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 20–33.
- Badan Geologi KESDM. (2020). "Laporan Kajian Penyelidikan Gerakan Tanah di Kec. Salaman, Kab. Magelang", [Online]. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gerakan-tanah/kejadian-gerakan-tanah/2999-laporan-kajian-penyelidikan-gerakan-tanah-di-kec-salaman-kab-magelang>. [Diakses pada 27 Juni 2022]
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Magelang. (2019). *Dokumen Rencana Kontingensi Tanah Longsor Kabupaten Magelang*
- BMKG Jawa Tengah, [Online]. <https://www.iklimjateng.info/>. [Diakses pada 10 Juni 2022]
- BNPB. (2016). Risiko Bencana Indonesia (Disasters Risk of Indonesia). *International Journal of Disaster Risk Science*, 22.
- Bowles. (1989) dalam Zakaria, Z., Shopian, R. I., & Aulia, S. N. (2019). *Pengaruh Getaran Terhadap Kestabilan Lereng Untuk Rencana Pembangunan Embung Di Daerah Desa Cileles, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat*. 3(5), 354–361
- Departemen Pekerjaan Umum. (2006). *Pekerjaan Tanah Dasar Buku 1 Umum*
- Dunham, R.J. (1962). Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, *American Association of Petroleum Geologist Memoir* 1, 108 – 121
- Hall, R., (2009). *Indonesia Geology*. Royal Holloway University of London.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*.
- Harjanto, A. (2011). Vulkanostratigrafi Di DaerahKulon Progo Dan Sekitarnya, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Magister Teknik Geologi*, 4(8), 30–46.
- Hartono, H. G., & Sudradjat, A. (2017). Nanggulan formation and its problem as a basement in Kulonprogo Basin, Yogyakarta. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(2), 71–80.
- Janbu, N. (1954). *Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameter*, Harvard Soil Mech. Series, No.46, Harvard Univ: Cambridge, Mass
- Martodjojo & Djuhaeni. (1996). *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Bandung
- Paimin., Sukresno., & Irfan B.P. (2009). *Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor*. Balikpapan : Tropenbos International Indonesia Programme
- Rahardjo, (1977) dalam *Stratigraphy Lexicon of Indonesia*
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi., & H.M.D Rosidi. (1977). Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia
- Robiana, R., Anthanasius, C., & Amalfi, O. (2010). Peta Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Provinsi Jawa Tengah. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi
- Santosa, B., Suprpto, H., & HS, S. (1998). *Dasar Mekanika Tanah*. Gunadarma
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes [Tipos y procesos de movimiento de pendientes]. *Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176*, 11–33.

Peraturan Perundangan

Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 22/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor*