

**ANALISIS KESTABILAN LERENG BERDASARKAN METODE KINEMATIK, EMPIRIS,  
DAN KESETIMBANGAN BATAS: STUDI KASUS LERENG TENGGARA  
WADUK SERMO, KULON PROGO**

**Bestian P. Simarmata<sup>1</sup>, Singgih Saptono<sup>2</sup>**

<sup>1,2,3</sup>UPN "Veteran" Yogyakarta

e-mail :<sup>1</sup>bestian.ps@gmail.com,<sup>2</sup>singgih1227@gmail.com

**ABSTRACT**

*Sermo Reservoir is located in the Kulon Progo Hills, occupying an area composed of volcanic rocks of the Old Andesite Formation. These rock outcrops can be found at the edge of the reservoir, which generally forms quite steep slopes. This research is intended as an engineering geological survey in the field by taking an emphasis on slope conditions in the southeastern part of the Sermo Reservoir. The research objective was to determine the characteristics of the stocking and its effect on slope stability. The method used is a description of the geological structure using a scan line along 247.5 m, followed by kinematic, probability and empirical slope analysis using DIPS, SLIDE and Q-SLOPE programs. The results showed that the slope studied had a Fs of 1.78 and 3.19, which means stable / safe.*

**Keywords :** Joint, Kinematic, Limit Equilibrium Method, Q-slope, Safety Factor,

**INTISARI**

*Waduk Sermo berada pada tinggian Perbukitan Kulon Progo, menempati daerah yang tersusun oleh batuan vulkanik Formasi Andesit Tua. Singkapan batuan ini dapat dijumpai di tepi waduk, yang pada umumnya membentuk lereng yang cukup terjal. Penelitian ini dimaksudkan sebagai survei geologi teknik di lapangan dengan mengambil penekanan pada kondisi lereng terkekarkan di bagian tenggara Waduk Sermo. Tujuan penelitian adalah mengetahui karakteristik kekar dan pengaruhnya terhadap kestabilan lereng. Metode yang digunakan adalah deskripsi struktur geologi menggunakan scan line sepanjang 247,5 m, dilanjutkan dengan analisis lereng secara kinematik, probabilitas dan empiris menggunakan program DIPS, SLIDE dan Q-SLOPE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng yang diteliti memiliki FK sebesar 1,78 dan 3,19, yang berarti stabil/aman.*

**Kata kunci :** Faktor Keamanan, Kekar, Kinematika, Metode Kesetimbangan Batas, Q-slope.

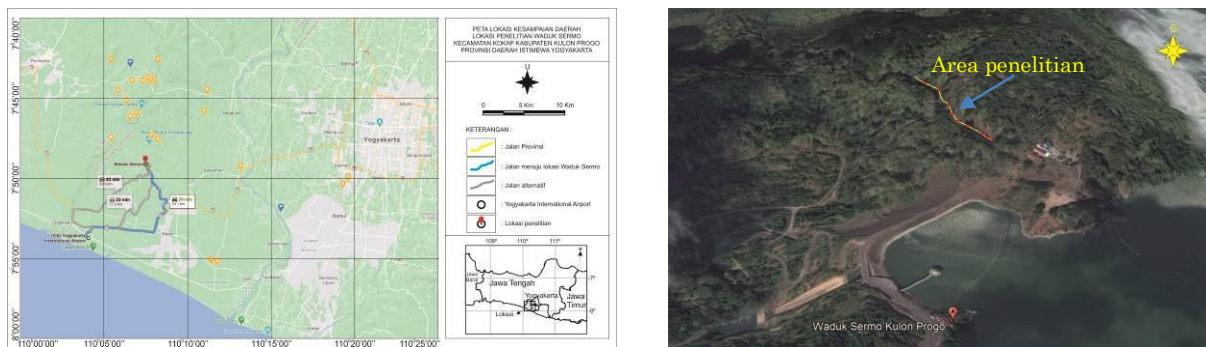
**1. PENDAHULUAN**

Penelitian ini mengambil contoh kasus sebagian lereng yang berada di bagian tenggara Waduk Sermo. Daerah penelitian terletak pada tepi Waduk Sermo bagian tenggara, di sisi selatan jalan Sermo – Kokap, kurang lebih 200 m ke arah selatan dari spill dam Waduk Sermo (Gambar 1). Secara administratif, daerah penelitian berada pada Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo.

Waduk Sermo merupakan reservoir air yang dibangun di daerah Perbukitan Kulon Progo, yang mana di awal pembangunannya waduk ini diperuntukkan bagi penyediaan irigasi di daerah Kecamatan Kalibawang dan

sekitarnya (Wikipedia, 2019). Saat ini, waduk ini berkembang sebagai tempat wisata. Salah satu hal yang perlu diperhatikan untuk mendukung wisata adalah akses jalan dan kestabilan lereng di sekitarnya.

Kondisi geologi daerah Waduk Sermo menentukan kondisi kestabilan lereng di daerah tersebut. Beberapa lereng yang dijumpai di sekitar waduk ini menunjukkan morfologi yang cukup terjal dan membentuk lereng yang cukup panjang. Beberapa kenampakan lereng di bagian utara dan tenggara waduk memperlihatkan morfologi yang curam dengan beberapa singkapan yang mulai mengalami pelapukan. Kondisi ini tentunya kurang menjamin kestabilan lereng di daerah tersebut, yang juga akan mengganggu keselamatan warga maupun wisatawan, karena banyak lereng terjal yang berada di tepi jalan.



Gambar 1. (a) Peta Lokasi Penelitian dan (b) Citra Landsat (google map.com).

Batuan yang menjadi dasar dari waduk Sermo merupakan batuan vulkanik Formasi Andesit Tua. Batuan ini merupakan batuan yang cukup keras dan kompak, namun di beberapa tempat menunjukkan banyaknya struktur geologi yang terutama berjenis kekar. Kondisi struktur geologi ini perlu diteliti untuk melihat pengaruhnya terhadap kestabilan lereng daerah penelitian.

Kestabilan lereng perlu dijaga supaya tidak menimbulkan kerugian, baik berupa material maupun non-material. Penentuan kekuatan lereng dapat dilakukan dengan beberapa pengujian, meliputi uji sifat fisik, mekanik maupun geometri lereng. Suatu lereng dapat dikatakan stabil apabila nilai faktor keamanannya (FK) >1,3 (Hoek & Bray, 1981).

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pengukuran Lapangan

Penelitian dilakukan dengan mengambil data kondisi lereng dan kekar secara langsung di lapangan, menggunakan peralatan geologi seperti palu, kompas, GPS serta beberapa peralatan lain seperti tali ukur dan kamera. Pendataan kekar dilakukan dengan melakukan deskripsi kekar pada scan line sepanjang 247,5 m. Data struktur geologi batuan yang dicatat merupakan struktur massa batuan yang berada pada garis *scanline* (Hoek & Bray, 1981).

Data lapangan yang diambil antara lain adalah karakteristik struktur geologi yang meliputi tipe, kedudukan (*strike* dan *dip*), *persistence* (kemenerusan), besar bukaan, pengisi (*infilling*), kekasaran; selain itu juga diambil data tambahan yang meliputi kondisi keairan (*water flow*), pelapukan dan kekuatan dinding lereng. Interpretasi

kekuatan batuan dilakukan menggunakan metode ketok palu geologi berdasarkan klasifikasi Hoek (Hoek *et al.*, 2002). Nilai GSI (*Geological Strength Index*) juga perlu dipertimbangkan dalam analisis struktur massa batuan (Carter *et al.*, 2013). Parameter GSI merupakan salah satu data geologi teknik yang berguna untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan yang menentukan nilai FK suatu lereng (Carter *et al.*, 2013; Edelbro & Catrin, 2004).

## 2.2 Analisis Lereng

Analisis kinematik dilakukan berdasarkan data lapangan yang berupa strike dan dip kekar atau bidang lemah lainnya serta lereng. Data tersebut diplot dalam proyeksi stereografi untuk analisis tingkat kestabilan lereng dan jenis longoran yang mungkin terjadi menggunakan program DIPS 6.0. Program SLIDE untuk analisis probabilitas dalam mendapatkan nilai faktor keamanan (Fk) dan Q-SLOPE untuk analisis empiris. Nilai FK ini menunjukkan kondisi potensi gerakan tanah pada lereng yang diteliti. Besar kecilnya dipengaruhi oleh karakteristik struktur geologi batuan, oleh karenanya, potensi gerana tanah pada lereng yang diteliti dipengaruhi oleh kehadiran struktur geologi pada singkapan tersebut.

Analisis kinematika merupakan metode untuk mengetahui pergerakan massa batuan dengan merekonstruksi pergerakan dalam batuan yang terjadi akibat dari deformasi, tanpa mempertimbangkan gaya-gaya yang dikenakan padanya. Analisis ini dapat memperkirakan terjadinya longoran. Metode kinematika ini secara detil dapat mengevaluasi potensi struktur massa batuan dan geometri bidang-bidang lemah yang mengganggu kestabilan lereng (Hoek & Bray, 1981; McClay, 1987; Palmström, 2001).

Metode analisis kesetimbangan batas (limit equilibrium analysis) merupakan metode yang memperhitungkan kesetimbangan gaya di sepanjang bidang gelincir (Hoek & Bray, 1981). Analisis kesetimbangan membutuhkan informasi tentang kekuatan material (Rai, dan Kramadibrata, 1990). Perhitungan kesetimbangan dapat dilakukan dengan membagi batuan yang berada di atas bidang longoran menjadi irisan-irisan (metode irisan) (Wyllie & Mah, 2004). Metode Janbu mengembangkan metode irisan ini dengan melibatkan kesetimbangan gaya dan gaya normal antar irisan (Janbu *et al.*, 1956).

Untuk setiap jenis longoran memakai kriteria Hoek Brown dengan mengasumsikan kekuatan material yang ditentukan berdasarkan unit weight (bobot isi) ( $\gamma$ ), kuat tekan dan GSI (Hoek & Bray, 1981). Kestabilan lereng bisa dihitung berdasarkan perbandingan dari gaya penahan dan gaya pendorong yang disebut sebagai faktor keamanan (FK).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Waduk Sermo secara fisiografi termasuk dalam Kubah Kulon Progo (Van Bemmelen, 1949). Fisiografi ini merupakan bagian dari Zona Pegunungan Serayu Selatan, hanya saja kubah ini memiliki orientasi yang berbeda, yaitu berarah relatif utara – selatan. Stratigrafi Perbukitan Kulon Progo tersusun oleh seri batuan sedimen dan batuan beku, dimulai dari yang tertua yaitu Formasi Nanggulan, Andesit Tua, Sentolo dan Jonggrangan.

Sementara itu, Rahardjo *et al.* (1995) menggambarkan bahwa di daerah tersebut banyak dijumpai penyebaran Formasi Andesit Tua. Formasi Andesit Tua tersusun oleh breksi andesit, tuf, lapili, aglomerat dan sisipan lava

andesit. Intrusi andesit berkomposisi antara andesit hipersten sampai andesit augit hornblende dan trakiandesit. Dasit menerobos andesit pada Kala Miosen. Formasi Andesit Tua menumpang secara tidak selaras di atas Formasi Nanggulan.

Gerakan tanah adalah semua proses dimana dari material bumi bergerak oleh gravitasi bumi, baik lambat atau cepat dari suatu tempat ke tempat lain (Van Zuidam, 1983). Fenomena terjadinya gerakan tanah dapat disebabkan oleh faktor luar serta dalam. Beberapa faktor dalam yang memicu terjadinya gerakan tanah adalah kemiringan lereng, sifat batuan serta struktur geologi. Kemiringan lereng merupakan salah satu faktor yang berkaitan langsung dengan gerakan tanah. Daerah dengan topografi lereng yang curam akan memiliki potensi pergerakan tanah yang lebih besar dibanding daerah yang topografi lerengnya landai. Hal ini disebabkan karena perbandingan antara gaya penahan dan gaya pendorong pada lereng yang curam relatif lebih kecil dibanding lereng yang lebih landai.

Kelerengan merupakan salah satu faktor penting dalam gerakan tanah dan akan berinteraksi dengan gaya gravitasi. Gaya gravitasi dapat diuraikan menjadi dua buah gaya, yaitu gaya yang bekerja sejajar pada lereng dan gaya yang bekerja tegak lurus dengan lereng. Gaya beban dan gaya gesek yang melawan gaya tegak lurus lereng tersebut berpengaruh dalam gerakan tanah (Palmer, 1980).

### 3.1 Data Lapangan

Scan line data kekar dan beberapa struktur geologi lainnya telah dibuat pada lintasan sepanjang 247,5 m di daerah penelitian (Tabel 1). Data pada tabel tersebut menunjukkan adanya variasi tipe, kedudukan bidang kekar serta kondisinya pada saat diteliti. Penelitian ini dilakukan pada musim kemarau, yaitu pada bulan Juli – Agustus 2020. Dengan demikian, kondisi cuaca pada saat dilakukan penelitian menunjukkan cuaca yang relatif kering dan tanpa hujan. Batuan yang menyusun lereng yang diteliti didominasi oleh breksi andesit, selain itu dijumpai andesit dengan kekar lembaran (*sheeting joint*) (Gambar 2).



(a)



(b)



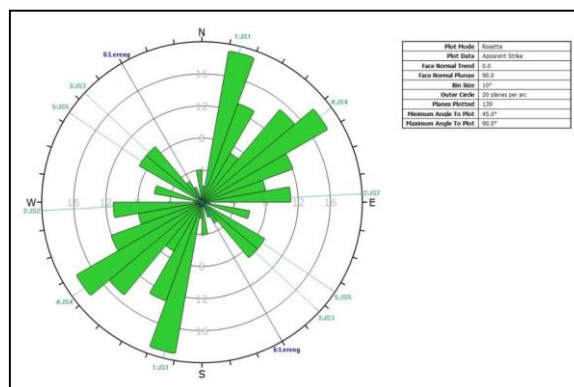
(c)

**Gambar 2.** (a), (b), (c) Kenampakan lereng yang diteliti menggambarkan kondisi lereng yang terjal dan panjang yang dibentuk oleh breksi andesit.

Beberapa tipe struktur geologi dapat diamati pada lereng yang diteliti, namun pada umumnya struktur geologi yang mendominasi adalah kekar, meliputi kekar gerus maupun tarik, dan sebagian kecil berupa kekar lembaran. Struktur geologi yang lainnya dapat dijumpai dalam prosentase sedikit, antara lain *fracture*, *cleavage* serta sesar minor. Bidang kekar memiliki kedudukan yang bervariasi, dengan jarak yang cukup renggang hingga sangat rapat (0,02 – 16,95 mm). Kekar-kekar tersebut dapat bersifat menerus atau tak menerus, kadang kala hanya pendek-pendek, tak memiliki bukaan hingga terbuka sampai 20 mm. Pengisi / infilling kadang tidak teramati, kadang-kadang dapat pula berupa material non cohesive, matriks lempungan, ataupun noda (*surface staining*). *Waviness* kekar pada umumnya menunjukkan tipe *curve – slightly curve*, dengan kekasaran (*roughness*) sebesar 0 (*polished*) hingga 19 (sangat kasar).

### 3.2 Analisis Kekar

Dari pengolahan data kekar pada diagram Rosette diketahui bahwa arah orientasi bidang kekar dominan berarah Timur Laut-Barat Daya. Jenis kekar yang dimiliki massa batuan yang diteliti dapat berupa kekar gerus (*shear joint*) yang cukup rapat ataupun tension cracks. Kekar-kekar tektonik ini menyebabkan kekuatan massa batuan menjadi lemah, apalagi apabila ada kandungan air yang merembes melalui bidang kekar tersebut.

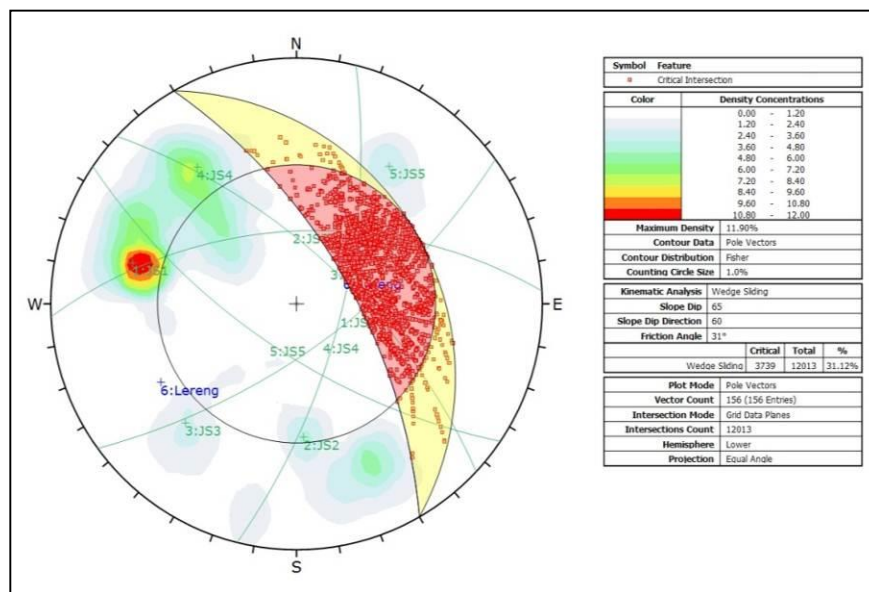


**Gambar 3.** Diagram rosette bidang kekar yang diteliti.

### 3.3 Analisis Lereng

#### 3.3.1 Analisis Kinematik

Analisis kinematik dibuat berdasarkan data *strike/dip* kekar menggunakan *software* Dips 6.0. Berdasarkan pengolahan data tersebut diketahui arah dan kemiringan lereng yang diteliti adalah  $330^{\circ}/65^{\circ}$  dengan sudut geser dalam (*friction angle*) yaitu  $31^{\circ}$ . Hasil analisis kinematik ini menunjukkan bahwa potensi lereng terjadi longsor sebesar 31,12% untuk longsor Baji. Longsor tersebut dihasilkan dari perpotongan bidang kekar dengan arah dominan  $N267^{\circ}E/57^{\circ}$  dan  $N54^{\circ}E/69^{\circ}$ . Potensi longsor yang rendah yang ditunjukkan dalam analisis kinematik disebabkan oleh jenis batuan penyusun lereng (breksi andesit) memiliki petrofisik yang kompak dan keras, serta sudut geser dalam yang cukup besar.



**Gambar 4.** Analisis kinematik longsor baji.

Hasil analisis kinematik menggunakan lembar perhitungan stabilitas baji oleh Hook and Bray (1981, dalam Wyllie & Mah, 2004) didapatkan faktor keamanan sebesar 3,19 menunjukkan kondisi lereng tersebut stabil (Tabel 1). Besarnya FK tersebut dipengaruhi oleh kohesi dan sudut gesek dalam yang besar.

**Tabel 2.** Perhitungan Stabilitas Baji Oleh Hook and Bray

Input data	Nilai fungsi	Nilai perhitungan
$\psi_a$ 66	$\cos \psi_a$ 0.4067366	A 0.96781712
$\psi_b$ 72	$\cos \psi_b$ 0.309017	B 0.87689004
$\psi_5$ 47	$\sin \psi_5$ 0.7313537	
$\psi_{na.nb}$ 118	$\cos \psi_{na.nb}$ -0.4694716	
	$\sin \psi_{na.nb}$ 0.8829476	X 4.92947898
$\theta_{24}$ 66	$\sin \theta_{24}$ 0.9135455	Y 3.14571917
$\theta_{45}$ 50	$\sin \theta_{45}$ 0.7660444	
$\theta_{2.na}$ 76	$\cos \theta_{2.na}$ 0.2419219	FK 3.19272693
$\theta_{13}$ 79	$\sin \theta_{13}$ 0.9816272	
$\theta_{35}$ 53	$\sin \theta_{35}$ 0.7986355	
$\theta_{2.nb}$ 67	$\cos \theta_{2.nb}$ 0.3907311	
$\phi_A$ 31	$\tan \phi_A$ 0.6008606	
$\phi_B$ 31	$\tan \phi_B$ 0.6008606	
$\gamma_r$ 25	$\gamma_w/2\gamma_r$ 0.18	
$\gamma_w$ 9	$3c_A/\gamma_h$ 0.6	
$c_A$ 150	$3c_B/\gamma_h$ 0	
$c_B$ 0	$\gamma_r H$ 750	
H 30		

### 3.3.2 Metode Empirik

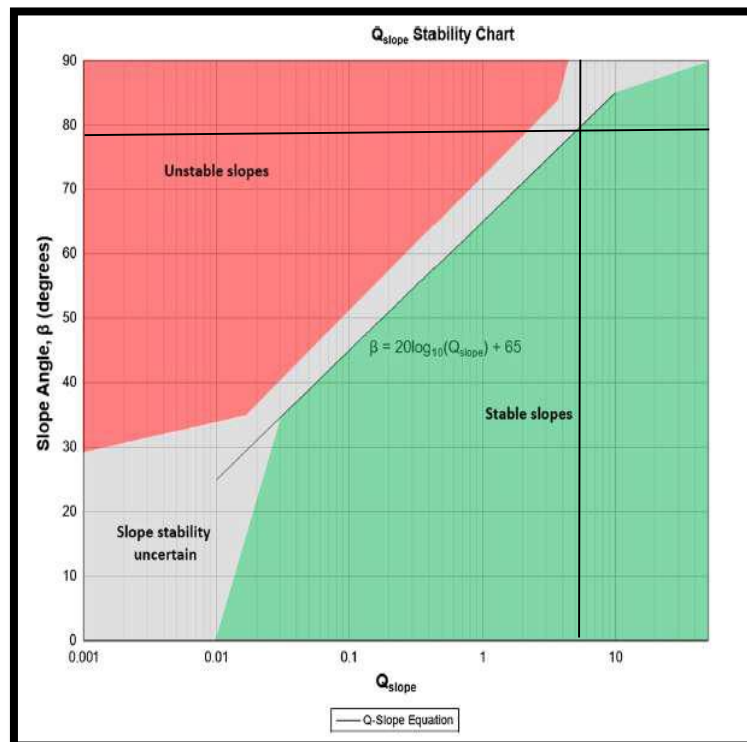
Hasil analisis metode empirik menggunakan program Q-SLOPE terhadap longsoron baji (Tabel 2) menunjukkan nilai RQD sebesar 98,53%. *Joint set number* (JN) terdiri dari > 4 dengan nilai 15. *Joint roughness number* (JR) diketahui sebesar 3 yang berarti lereng bersifat kasar, tak teratur dan bergelombang (*undulating*). Nilai *joint alteration number* (JA) diperoleh sebesar 2, yang terjadi karena dinding kekar telah sedikit berubah akibat pengisian oleh mineral padat atau partikel berpasir. O faktor merupakan orientasi bidang diskontinuitas pada lereng. Hasil analisis O faktor untuk potensi longsoron baji menunjukkan dua orientasi kekar yaitu sebesar 0,5 dan 0,8.

**Tabel 2.** Parameter Pada Metode Q-Slope.

Lokasi	Geometri Lereng		RQD (%)	Jn	Jr	Ja	O-Factor		Jwice	SRFa	SRFb	SRFc	
	Tinggi (m)	Sudut (°)					Set 1	Set 2 (Wedge)					
Lereng	30	65	98,537	4 JS	3	2	0,5	0,8	0,5	10	2,5	4	
	Bobot		98,537	15	3	2	0,5	0,8	0,5	Note: Use maximum SRF value 10			
$Q_{slope} = (RQD/Jn) \times (Jr/Ja)$							$O_{-Factor} \times (J_{wice}/SRF_{slope})$		$Q_{slope} = 4.4$		$\beta = 20 \text{ Log} Q_{Slope} + 65^\circ$		$\beta = 77.93^\circ$

**Analisis Kinematika: Potensi Longsor Baji**

Berdasarkan kondisi massa batuan yang diteliti pada analisis empirik diketahui nilai Q-slope sebesar 4,4 dan slope angle sebesar 77°. Plot nilai tersebut pada grafik Q-slope berada pada kondisi lereng yang stabil (Gambar 5).

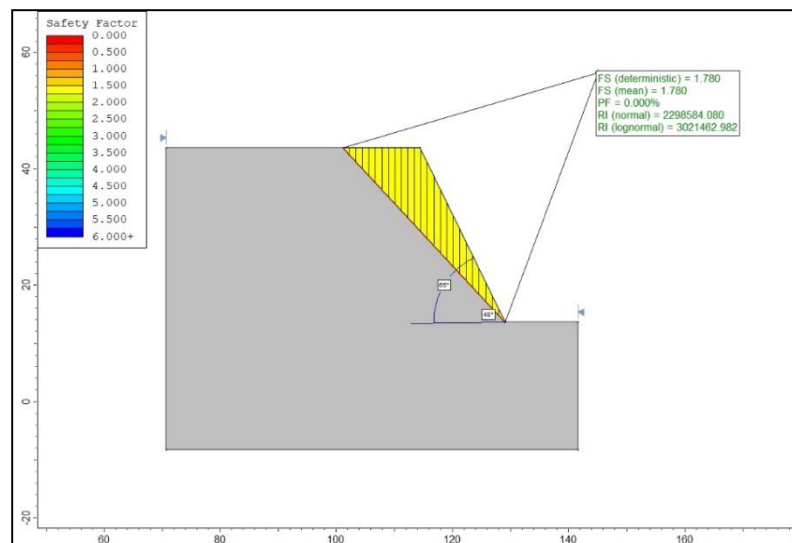


**Gambar 5.** Grafik Kestabilan Lereng Empirik Q-slope Lereng yang Diteliti.

### 3.3.3 Metode Kesetimbangan Batas

Data-data yang diperlukan dalam analisis kesetimbangan batas dengan software SLIDE adalah GSI, *unit weight*, kuat tekan serta geometri lereng. Parameter *unit weight* diperoleh dari uji fisik. Data-data hasil pemetaan diskontinuitas yang diolah menggunakan software *DIPS* seperti pada Gambar 4 didapatkan trend  $\alpha_i$  dan plunge  $\psi_i$  sebesar 41/48 sehingga memenuhi kriteria kelongsoran baji yaitu  $\psi_f > \psi_i > \phi$  ( $65 > 48 > 31$ ).

Hasil perhitungan kemantapan lereng menggunakan kriteria geometri baji dengan menggunakan Metode Janbu menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,78 dengan probabilitas longsor 0% (Gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa lereng yang diteliti adalah aman. Kemiringan lereng yang diteliti cukup besar, yaitu  $65^\circ$  dengan tinggi 30 m, namun kondisi stabil lereng tersebut didukung oleh nilai UCS dan GSI yang besar.



Gambar 6. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Janbu.

## 4. KESIMPULAN

Lereng yang diteliti tersusun oleh breksi andesit yang kompak dan keras, membentuk morfologi yang cukup terjal. Hasil pengamatan di lapangan terhadap lereng tersebut menunjukkan kehadiran beberapa struktur geologi, antara lain kekar gerus, kekar tarik, cleavage, dan kekar lembaran. Struktur kekar merupakan bidang lemah yang sangat dominan.

Hasil analisis kestabilan lereng yang diteliti berdasarkan metode kinematik menunjukkan potensi longsor baji sebesar 31%, namun berdasarkan perhitungan kinematik menurut Hoek & Bray didapatkan FK sebesar 3,19. Hal ini diperkuat oleh metode empiris Q-slope yang menyatakan lereng tersebut masih stabil dan analisis kesetimbangan batas menggunakan metode Janbu yang menghasilkan nilai FK sebesar 1,78 dengan probabilitas longsor 0%. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara umum lereng yang diteliti bersifat aman.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada para dosen yang memberi masukan dan pengetahuan tentang materi kestabilan lereng. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada teman-teman yang membantu kegiatan lapangan, khususnya Arif, Kelvin dan Andesta.



## DAFTAR PUSTAKA

- Carter, T.G Hoek, E., and Diederichs, M.S. (2013). *Quantification of the Geological Strength Index Chart*. San Francisco, CA: US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium.
- Edelbro, Catrin. (2004). *Evaluation of Rock Mass Strength Criteria*. Lulea University of Technology: Lulea.
- Google maps. (2021). Waduk Sermo. dari <https://www.google.com/maps/search/waduk+sermo>.
- Hoek E., C. Carranza-Torres, and B. Corkum. (2002). Hoek-Brown criterion – 2002 edition. *In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada* (pp. 267- 273). NARMSTAC 2002, Toronto, Canada.
- Hoek, E., and Bray J.W. (1981). *Rock Slope Engineering, The institution of mining and Metallurgy (Third Edition)*. London: Revised.
- McClay, K.R. (1987). *The Mapping of Geological Structures*. England: John Wiley and Sons, Ltd.
- Palmer, A. (1980). *Geology*. New York: Mc. Graw Hill International Book Company.
- Palmström, A. (2001). *Measurement And Characterization Of Rock Mass Jointing*. Övre Smestad vei 35e, N-0378 Oslo, Norway: A. A. Balkema Publishers.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H.M.S. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*, skala 1 : 100.000. Bandung: Direktorat Geologi.
- Rai, M.A. dan Kramadibrata, S. (1990). *Mekanika Batuan*. Bandung : Jurusan Teknik Pertambangan, ITB.
- Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia (vol.1A)*. The Hague Netherland: Martinus Nijhoff.
- Van Zuidam, R.A. (1983). *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation & Mapping*. Section of Geology and Geomorphology. The Netherlands: ITC, Enschede.
- Wikipedia. (2019). *Waduk Sermo*. Diakses tanggal 22 Februari 2021 dari [https://id.wikipedia.org/wiki/Waduk\\_Sermo](https://id.wikipedia.org/wiki/Waduk_Sermo).
- Wyllie, D.C and Mah, C.W. (2004). *Rock Slope Engineering Civil and Mining (4<sup>th</sup> Edition)*. New York, USA: Spon Press 270 Madison, Avenue.