

## Analisis Kestabilan Lereng Pada Tanah Berlempung Menggunakan Metode Bishop Studi Kasus di Desa X

Annisa Adika Qolby<sup>1\*</sup>, Husnul Fataa Fahreza<sup>2</sup>, Kelana Handika Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia,  
[qolby@dosen.pancabudi.ac.id](mailto:qolby@dosen.pancabudi.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia, [fataahusnul@gmail.com](mailto:fataahusnul@gmail.com)

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia,  
[klanastabat2020@gmail.com](mailto:klanastabat2020@gmail.com)

\*Penulis korespondensi, email: [qolby@dosen.pancabudi.ac.id](mailto:qolby@dosen.pancabudi.ac.id)

**Abstrak**— Stabilitas lereng merupakan aspek kritis dalam perencanaan geoteknik, terutama di wilayah dengan dominasi tanah berlempung yang rentan terhadap kegagalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan lereng di Desa X menggunakan metode Bishop, salah satu metode keseimbangan batas yang populer dalam perhitungan faktor keamanan lereng. Data primer diperoleh melalui uji laboratorium, seperti direct shear test dan triaxial test, serta survei lapangan untuk menentukan karakteristik geoteknik tanah setempat. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng bervariasi tergantung pada kondisi kadar air dan beban eksternal. Faktor-faktor seperti kohesi tanah, sudut geser dalam, berat jenis tanah, serta kedalaman muka air tanah secara signifikan mempengaruhi kestabilan lereng. Studi ini juga mengidentifikasi bahwa keberadaan air tanah akibat curah hujan intensif secara drastis menurunkan kekuatan geser tanah, meningkatkan risiko longsor. Rekomendasi teknik perkuatan lereng, seperti penggunaan drainase bawah tanah dan revegetasi, diusulkan untuk meningkatkan kestabilan. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar pertimbangan teknis dalam mitigasi risiko longsor di daerah sejenis.

Kata kunci: kestabilan lereng, tanah berlempung, metode Bishop, faktor keamanan, mitigasi longsor.

*This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.*

### 1. Pendahuluan

Stabilitas lereng merupakan salah satu aspek terpenting dalam rekayasa geoteknik, mengingat banyaknya kejadian longsor yang menyebabkan kerusakan infrastruktur, korban jiwa, dan kerugian ekonomi di berbagai belahan dunia [1]. Lereng yang tidak stabil, terutama pada tanah berlempung, rentan mengalami kegagalan akibat perubahan kondisi lingkungan seperti hujan lebat, erosi, dan beban tambahan [2]. Oleh sebab itu, analisis kestabilan lereng menjadi krusial dalam perencanaan dan pelaksanaan berbagai proyek konstruksi, khususnya di daerah rawan bencana [3].

Menurut [4], metode yang paling umum digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng adalah metode keseimbangan batas, yang salah satunya adalah metode Bishop. Metode ini menawarkan pendekatan semi-analitik dengan mempertimbangkan keseimbangan gaya dan momen pada elemen tanah yang dibagi dalam irisan-irisannya [5]. Keunggulan metode Bishop terletak pada kemampuannya dalam memberikan estimasi faktor keamanan yang lebih akurat dibandingkan metode sederhana seperti

Ordinary Method of Slices [6].

Tanah berlempung sendiri memiliki karakteristik yang unik. Dengan kandungan mineral lempung yang tinggi, tanah ini menunjukkan perilaku plastis yang signifikan, perubahan volume akibat variasi kadar air, serta kecenderungan untuk mengembang atau menyusut [7]. Studi menunjukkan bahwa lereng dengan tanah berlempung cenderung mengalami penurunan kekuatan geser seiring peningkatan kadar air, sehingga meningkatkan risiko longsor, terutama pada musim hujan [8]. Penelitian oleh [9] menunjukkan bahwa stabilitas lereng tanah berlempung sangat dipengaruhi oleh parameter geoteknik seperti kohesi, sudut geser dalam, berat jenis tanah, dan kondisi pore water pressure.

Desa X, sebagai lokasi studi kasus, merupakan salah satu wilayah yang memiliki kontur berbukit dengan jenis tanah dominan berlempung. Berdasarkan hasil survei geoteknik yang dilakukan di wilayah tersebut, ditemukan bahwa terdapat beberapa titik kritis yang mengalami gejala ketidakstabilan, seperti retakan tanah, deformasi kecil di permukaan lereng, serta munculnya mata air baru di musim penghujan [10]. Hal ini menunjukkan adanya potensi besar terhadap kegagalan lereng, sehingga perlu dilakukan evaluasi secara sistematis menggunakan metode yang andal seperti metode Bishop.

Dalam konteks ini, penelitian bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng di Desa X dengan pendekatan kuantitatif, serta memberikan rekomendasi teknis yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan keamanan lereng. Evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan data tanah di lapangan, pengujian laboratorium untuk menentukan parameter-parameter geoteknik utama, dan analisis numerik untuk menghitung faktor keamanan menggunakan metode Bishop [11].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji efektivitas metode Bishop dalam menganalisis lereng pada berbagai kondisi tanah. Misalnya, studi oleh [12] menunjukkan bahwa metode Bishop memiliki keandalan yang tinggi dalam memprediksi faktor keamanan untuk lereng homogen maupun heterogen. Selain itu, [13] menemukan bahwa metode ini cukup fleksibel untuk diterapkan pada berbagai bentuk lereng, baik alami maupun buatan. Oleh karena itu, pemilihan metode Bishop untuk studi ini dianggap sesuai dan relevan dengan tujuan penelitian.

Lebih lanjut, stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti curah hujan, aktivitas manusia, dan vegetasi. Curah hujan, misalnya, dapat meningkatkan tekanan pori tanah sehingga mengurangi kekuatan geser efektif [14]. Aktivitas manusia seperti pemotongan lereng tanpa perhitungan teknis yang memadai juga menjadi penyebab utama ketidakstabilan [15]. Vegetasi, di sisi lain, dapat meningkatkan kestabilan lereng dengan memperkuat tanah melalui sistem perakarannya [16]. Oleh karena itu, dalam analisis ini juga akan dipertimbangkan faktor-faktor eksternal tersebut sebagai bagian dari penilaian holistik.

Dalam melakukan perhitungan stabilitas, diperlukan parameter tanah utama yaitu kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), berat jenis ( $\gamma$ ), dan kedalaman muka air tanah (groundwater table). Menurut [17], variasi kecil dalam parameter-parameter ini dapat menyebabkan perubahan signifikan pada faktor keamanan. Oleh sebab itu, data tanah yang akurat menjadi kunci utama dalam analisis kestabilan lereng. Untuk keperluan ini, penelitian ini akan menggunakan kombinasi uji laboratorium seperti triaxial test dan direct shear test [18], serta observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi aktual lereng.

Teknologi perangkat lunak juga banyak membantu dalam simulasi dan analisis lereng. Beberapa program seperti Slope/W, Slide2, dan PLAXIS telah digunakan secara luas dalam praktik rekayasa geoteknik untuk menganalisis kestabilan lereng [19]. Pada penelitian ini, perhitungan manual menggunakan metode Bishop akan dilengkapi dengan simulasi menggunakan perangkat lunak untuk memvalidasi hasil analisis [20].

Penelitian ini juga diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan metode mitigasi bencana longsor

di daerah berlempung. Seperti yang dijelaskan oleh [21], penerapan teknik mitigasi seperti perkuatan lereng menggunakan geotekstil, pemasangan drainase bawah tanah, dan reforestasi area lereng terbukti efektif dalam meningkatkan faktor keamanan. Hasil dari penelitian ini nantinya akan menjadi dasar rekomendasi tindakan mitigasi yang spesifik untuk kondisi di Desa X.

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah asumsi terhadap kondisi homogen tanah di area studi. Pada kenyataannya, variasi sifat tanah secara lateral maupun vertikal dapat menyebabkan deviasi hasil analisis [22]. Untuk mengurangi ketidakpastian ini, dilakukan beberapa titik pengeboran dan pengambilan sampel untuk memperkirakan profil tanah secara lebih representatif [23]. Selain itu, dinamika faktor waktu seperti pelapukan tanah dan perubahan kadar air musiman juga merupakan tantangan dalam menjaga akurasi prediksi kestabilan [24].

Dalam studi literatur, banyak pendekatan analisis lereng lain yang telah dikembangkan, seperti metode Janbu, Spencer, dan Morgenstern-Price [25]. Meskipun metode-metode tersebut menawarkan tingkat akurasi yang tinggi, kompleksitas perhitungannya lebih besar dibandingkan metode Bishop. Oleh karena itu, dalam konteks penelitian ini yang membutuhkan keseimbangan antara akurasi dan kemudahan implementasi, metode Bishop dipilih sebagai pendekatan utama.

## **2. Metode**

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kuantitatif yang sistematis, bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada tanah berlempung di Desa X menggunakan metode Bishop. Tahapan awal penelitian meliputi studi literatur untuk memahami teori dasar stabilitas lereng, karakteristik tanah lempung, serta prosedur analisis menggunakan metode keseimbangan batas. Selanjutnya, dilakukan survei lapangan untuk mengidentifikasi kondisi aktual lereng, termasuk pengukuran dimensi lereng (tinggi, panjang, dan sudut kemiringan) menggunakan theodolite dan Global Positioning System (GPS). Selain itu, observasi muka air tanah dilakukan dengan metode manual melalui sumur pantau untuk mendapatkan data fluktuasi muka air pada musim kering dan musim hujan.

Pengambilan sampel tanah dilaksanakan dengan metode pengeboran di beberapa titik representatif. Sampel yang diperoleh kemudian diuji di laboratorium untuk mendapatkan parameter geoteknik utama yang dibutuhkan dalam analisis stabilitas lereng. Pengujian laboratorium yang dilakukan antara lain uji berat jenis tanah (*specific gravity test*), analisis saringan (*sieve analysis*) untuk mengetahui distribusi ukuran butir, analisis batas Atterberg (*Atterberg limits test*) untuk menentukan plastisitas tanah, serta uji kuat geser langsung (*direct shear test*) dan uji triaksial terkonsolidasi-terdrainase (*CD triaxial test*) untuk menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah.

Data hasil uji laboratorium selanjutnya digunakan sebagai input dalam perhitungan faktor keamanan (FK) menggunakan metode Bishop. Dalam metode ini, lereng dibagi menjadi sejumlah irisan vertikal, dan keseimbangan gaya serta momen dihitung untuk masing-masing irisan. Asumsi utama dalam analisis ini adalah adanya keseimbangan momen terhadap pusat lingkaran slip, sedangkan keseimbangan gaya horizontal dipertimbangkan secara keseluruhan. Faktor keamanan dihitung dengan mengadopsi iterasi numerik sampai konvergensi tercapai, sesuai dengan persamaan keseimbangan Bishop.

Untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif, perhitungan faktor keamanan dilakukan untuk dua skenario kondisi lereng, yaitu kondisi kering dan kondisi jenuh akibat hujan. Analisis kondisi jenuh mempertimbangkan peningkatan tekanan air pori yang dapat mengurangi kekuatan geser efektif tanah. Perhitungan manual dilengkapi dengan analisis numerik menggunakan perangkat lunak Slope/W berbasis metode limit equilibrium untuk validasi hasil.

Selain analisis stabilitas, dilakukan analisis sensitivitas untuk melihat pengaruh variasi kohesi, sudut geser dalam, dan berat jenis terhadap nilai faktor keamanan. Pendekatan ini bertujuan untuk

mengidentifikasi parameter kritis yang paling mempengaruhi kestabilan lereng di lokasi penelitian. Semua hasil analisis dibandingkan dengan standar teknis kestabilan lereng, di mana lereng dianggap aman jika faktor keamanannya  $\geq 1,5$  untuk kondisi kering dan  $\geq 1,3$  untuk kondisi jenuh sesuai rekomendasi [1].

Akhirnya, dari hasil analisis tersebut, disusun rekomendasi teknis untuk mitigasi risiko longsor di daerah studi, meliputi desain sistem drainase, rekomendasi geotekstil, dan upaya konservasi vegetasi. Metodologi ini dipilih untuk memastikan bahwa seluruh tahapan penelitian dapat dijalankan dengan akurat, sistematis, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil survei lapangan dan uji laboratorium

Survei lapangan menunjukkan bahwa lereng di lokasi penelitian memiliki ketinggian rata-rata 12 meter dengan sudut kemiringan bervariasi antara  $25^\circ$  hingga  $35^\circ$ . Struktur tanah di daerah tersebut dominan berupa lempung berwarna coklat keabu-abuan, dengan tekstur plastis saat basah dan retak saat kering. Pengamatan muka air tanah menunjukkan bahwa pada musim penghujan, air tanah naik hingga 2 meter di bawah permukaan. Uji laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari lokasi penelitian menghasilkan data teknis sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

Parameter	Nilai
Berat jenis tanah ( $\gamma$ )	18,5 kN/m <sup>3</sup>
Kohesi (c)	25 kPa
Sudut geser dalam ( $\phi$ )	22°
Kadar air optimum (wopt)	24%
Kepadatan maksimum ( $\gamma_d$ )	17,2 kN/m <sup>3</sup>

(Tabel 1) menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki nilai kohesi yang relatif tinggi, namun sudut geser dalam yang tergolong rendah, karakteristik umum untuk tanah berlempung.

Selain itu, analisis ukuran butir memperlihatkan bahwa lebih dari 65% fraksi partikel tanah berukuran di bawah 0,002 mm, memperkuat klasifikasi tanah sebagai lempung berat. Grafik distribusi ukuran butir ditunjukkan pada Gambar 1.

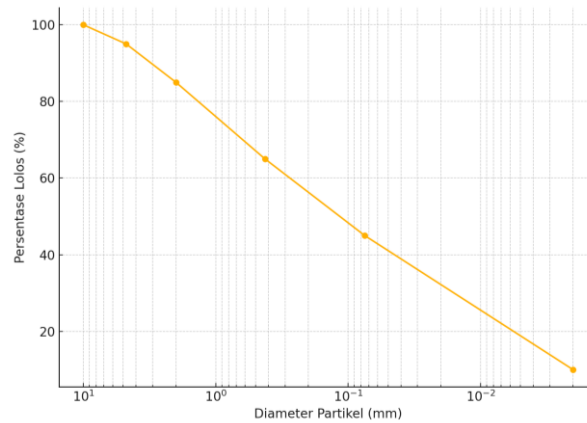
#### 3.2. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop

Menggunakan data geometri lereng dan parameter tanah dari uji laboratorium, dilakukan analisis stabilitas menggunakan metode Bishop. Perhitungan dilakukan untuk dua skenario: (1) kondisi kering dan (2) kondisi jenuh akibat hujan. Hasil perhitungan faktor keamanan (FK) untuk kedua kondisi ditampilkan pada Tabel 2.

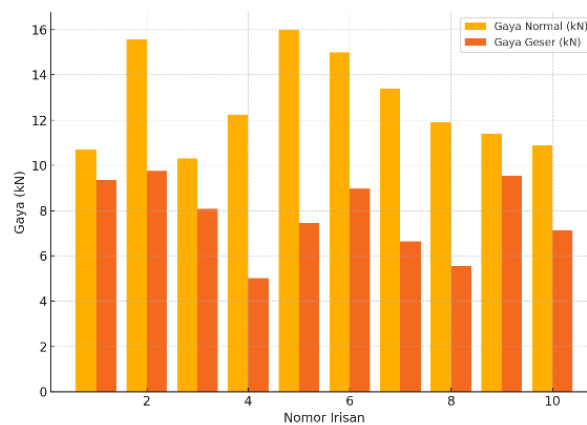
Tabel 2. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan (FK)

Kondisi Lereng	Faktor Keamanan (FK)
Kering	1,68
Jenuh	1,24

(Tabel 2) memperlihatkan bahwa pada kondisi kering, lereng berada dalam kondisi stabil dengan  $FK > 1,5$ . Namun, pada kondisi jenuh, faktor keamanan menurun drastis menjadi 1,24, di bawah nilai batas aman yang direkomendasikan ( $\geq 1,3$  untuk kondisi jenuh [26]). Visualisasi hasil analisis stabilitas dengan metode Bishop untuk kondisi jenuh dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah



Gambar 2. Diagram Distribusi Gaya Irisan Tanah pada Kondisi Jenuh

### 3.3. Diskusi

Penurunan faktor keamanan yang signifikan saat kondisi jenuh menunjukkan betapa sensitifnya kestabilan lereng terhadap perubahan kadar air dalam tanah. Sebagaimana dinyatakan oleh [27], kenaikan tekanan air pori secara langsung menurunkan kekuatan geser efektif tanah, sehingga meningkatkan potensi longsor.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa intervensi teknik diperlukan untuk meningkatkan stabilitas lereng, terutama pada musim penghujan. Upaya yang direkomendasikan meliputi pemasangan sistem drainase bawah tanah untuk menurunkan muka air tanah dan mempercepat pengaliran air hujan. Selain itu, penanaman vegetasi dalam skala luas dapat memperkuat tanah secara mekanis melalui sistem perakaran dan mengurangi laju infiltrasi air hujan [28].

Penelitian ini juga mengonfirmasi temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa metode Bishop cukup efektif untuk analisis lereng homogen dengan asumsi distribusi tekanan air yang sederhana [29]. Namun, untuk analisis lebih lanjut yang melibatkan kondisi air tanah yang dinamis atau pergerakan lereng nonlinier, metode numerik berbasis elemen hingga seperti yang digunakan dalam PLAXIS mungkin lebih direkomendasikan.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng pada tanah berlempung di Desa X menggunakan metode Bishop, dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik tanah, serta keberadaan air tanah. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki berat jenis  $18,5 \text{ kN/m}^3$ , kohesi  $25 \text{ kPa}$ , dan sudut geser dalam  $22^\circ$ , yang menunjukkan

karakteristik tipikal tanah berlempung dengan kekuatan geser yang cukup pada kondisi kering namun menurun signifikan saat jenuh air. Perhitungan faktor keamanan dengan metode Bishop menghasilkan nilai 1,68 pada kondisi kering dan menurun menjadi 1,24 pada kondisi jenuh. Nilai faktor keamanan pada kondisi jenuh berada di bawah batas aman yang direkomendasikan, sehingga lereng dikategorikan tidak stabil pada musim penghujan. Hal ini membuktikan bahwa kenaikan tekanan air pori akibat curah hujan menjadi faktor dominan dalam penurunan stabilitas lereng.

Analisis ini mengonfirmasi pentingnya pengendalian muka air tanah untuk mempertahankan kestabilan lereng, terutama pada daerah dengan karakteristik tanah berlempung seperti di Desa X. Oleh karena itu, beberapa tindakan mitigasi disarankan, seperti pemasangan sistem drainase bawah tanah untuk mengurangi akumulasi air, penggunaan vegetasi dengan sistem perakaran kuat untuk memperbaiki kekuatan tanah, serta rekayasa geoteknik tambahan seperti perkuatan lereng bila diperlukan. Metode Bishop terbukti efektif dan praktis dalam mengevaluasi stabilitas lereng homogen di lokasi ini, meskipun untuk kondisi yang lebih kompleks dapat dipertimbangkan penggunaan metode numerik berbasis elemen hingga. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan teknis dalam perencanaan pengembangan wilayah berbukit di Desa X, serta sebagai dasar pertimbangan dalam upaya mitigasi risiko longsor di daerah serupa.

#### **Daftar Pustaka**

- [1] A. Dawson, *Geotechnical Slope Analysis*, CRC Press, 2010.
- [2] D. M. Potts and L. Zdravković, *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering*, Thomas Telford, 2001.
- [3] K. Terzaghi, R. B. Peck, and G. Mesri, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., Wiley, 1996.
- [4] D. V. Griffiths and G. A. Fenton, *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*, Wiley, 2007.
- [5] A. W. Bishop, "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes," *Géotechnique*, vol. 5, no. 1, pp. 7-17, 1955.
- [6] M. Duncan and S. Wright, *Soil Strength and Slope Stability*, Wiley, 2005.
- [7] R. F. Craig, *Soil Mechanics*, 7th ed., Spon Press, 2004.
- [8] H. Rahardjo, T. T. H. Ong, B. W. Y. Leong, and E. C. Leong, "Stability of Tropical Residual Soil Slopes," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 123, no. 7, pp. 620-628, 1997.
- [9] S. K. Vanapalli, D. G. Fredlund, A. W. Clifton, and D. E. Pufahl, "Model for the Prediction of Shear Strength with Respect to Soil Suction," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 33, no. 3, pp. 379-392, 1996.
- [10] Pemerintah Kabupaten X, *Laporan Geoteknik Desa X Tahun 2023*, X, 2023.
- [11] J. M. Duncan, "State of the Art: Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis of Slopes," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 121, no. 7, pp. 577-596, 1996.
- [12] G. W. Clough and J. C. Sweeney, "Finite Element Analyses of Retaining Wall Behavior," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 97, no. 12, pp. 1657-1673, 1971.
- [13] C. C. Ladd and R. Foott, "New Design Procedure for Stability of Soft Clay," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, vol. 100, no. 7, pp. 763-786, 1974.
- [14] W. K. Chow, "Slope Instability due to Rainfall Infiltration," *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 5, no. 2, pp. 161-172, 1981.
- [15] H. Rahardjo, E. C. Leong, and R. B. Rezaur, "Effect of Antecedent Rainfall on Pore-Water Pressure Distribution Characteristics in Residual Soil Slopes under Tropical Climate Conditions," *Journal of Hydrology*, vol. 261, pp. 1-17, 2002.
- [16] S. M. Perkins and B. R. Lapeyre, "Stabilization of Slopes Using Vegetation," *Transportation Research Record*, no. 1195, pp. 88-94, 1988.
- [17] M. D. Bolton, "The Strength and Dilatancy of Sands," *Géotechnique*, vol. 36, no. 1, pp. 65-78, 1986.
- [18] ASTM D3080, *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, ASTM International, 2011.

- [19] GEO-SLOPE International Ltd., *Slope/W for Slope Stability Analysis*, User's Guide, 2012.
- [20] Rocscience Inc., *Slide2 User Manual*, 2022.
- [21] T. H. Wu, *Soil Reinforcement and Soil Structures*, Butterworth-Heinemann, 1993.
- [22] J. C. Santamarina, K. A. Klein, and M. A. Fam, *Soils and Waves: Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring*, Wiley, 2001.
- [23] B. M. Das, *Principles of Geotechnical Engineering*, 8th ed., Cengage Learning, 2013.
- [24] C. W. W. Ng and B. Menzies, *Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering*, CRC Press, 2007.
- [25] D. G. Fredlund and H. Rahardjo, *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, Wiley, 1993.
- {26} J. M. Duncan dan S. G. Wright, *Soil Strength and Slope Stability*, Wiley, 2005.
- [27] H. Rahardjo, T. T. H. Ong, B. W. Y. Leong, dan E. C. Leong, "Stability of Tropical Residual Soil Slopes," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 123, no. 7, pp. 620–628, 1997.
- [28] S. M. Perkins dan B. R. Lapeyre, "Stabilization of Slopes Using Vegetation," *Transportation Research Record*, no. 1195, pp. 88–94, 1988.
- [29] D. V. Griffiths dan G. A. Fenton, *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*, Wiley, 2007.