



Analisis Bishop terkalibrasi lapangan terhadap kestabilan lereng akibat hujan di Lombok Timur *(Field-Calibrated Bishop Analysis of Rainfall-Induced Slope Stability in East Lombok)*

Lalu Ibrohim Burhan^{1*}

¹Fakultas Teknik, Universitas Gunung Rinjani, Indonesia

^{1*}Email: lalu.ibrohim2022@gmail.com

Info Artikel

Keywords:

Drainase subpermukaan, Faktor keamanan, Geotekstil (perkuatan), Infiltrasi hujan, Pemodelan geoteknik *Geotechnical modeling, Geotextile reinforcement, Rainfall infiltration, Safety factor, Subsurface drainage*

Abstrak

Kejadian longsor di lereng tropis menimbulkan tantangan besar karena infiltrasi hujan yang cepat menyebabkan kejenuhan transien dan penurunan tegangan efektif, sementara studi sebelumnya jarang menggabungkan pengukuran tekanan pori lapangan dengan pemodelan kestabilan terkalibrasi; akibatnya, pilihan mitigasi teknis kurang berbasis bukti kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan lereng di daerah longsor Lombok Timur menggunakan metode Bishop (SLOPE/W, GeoStudio) yang dikalibrasi dengan data lapangan dan untuk membandingkan efektivitas serta implikasi biaya antara perkuatan geotekstil dan sistem drainase. Studi dilakukan pada tiga profil representatif di Lombok Timur; data lapangan, sampel tanah laboratorium, pembacaan piezometer, serta data curah hujan historis dikumpulkan; simulasi infiltrasi transien (SEEP/W) dan analisis kestabilan (SLOPE/W - Bishop) kemudian dijalankan dan dikalibrasi terhadap pengukuran piezometer. Hasil menunjukkan bahwa tekanan pori mencapai 60–80% dari kondisi jenuh pada skenario hujan 100-tahun dan FoS menurun dari 1.42 (kering) menjadi 1.12 (jenuh transien); drainase sub-permukaan meningkatkan FoS menjadi ≈ 1.35 dengan estimasi biaya $\approx$ Rp 280.000/m², sedangkan geotekstil meningkatkan FoS menjadi ≈ 1.31 dengan biaya $\approx$ Rp 420.000/m². Kesimpulannya, mitigasi yang menurunkan tekanan pori prioritas untuk konteks Lombok Timur dan rekomendasi teknis harus memasukkan kalibrasi lapangan-numerik; studi ini menyediakan kerangka metodologis replikasi yang mengintegrasikan teori tegangan efektif, aliran seepage, dan Limit Equilibrium untuk kebijakan mitigasi berbasis bukti.

Landslides on tropical slopes pose substantial challenges because rapid rainfall infiltration induces transient saturation and a consequent reduction in effective stress. However, previous studies have rarely combined field-measured pore-pressure data with calibrated stability modeling; as a result, technical mitigation choices have often lacked a firm quantitative basis. This study aimed to assess slope stability in East Lombok landslide areas using the Bishop method (SLOPE/W, GeoStudio) calibrated with field data, and to compare the effectiveness and cost implications of geotextile reinforcement versus drainage systems. The investigation was conducted on three representative profiles in East Lombok, where field surveys, laboratory soil testing, piezometer monitoring, and historical rainfall records were collected. Transient infiltration was simulated using SEEP/W, and slope stability was evaluated using SLOPE/W (Bishop), with model outputs calibrated against piezometer measurements. Results showed pore pressures reaching 60–80% of full saturation under a 100-year rainfall scenario and a reduction in factor of safety (FoS) from 1.42 (dry) to 1.12 (transient saturation); subsurface drainage increased FoS to ≈ 1.35 with an estimated cost of $\approx \text{Rp } 280,000/\text{m}^2$, whereas geotextile reinforcement raised FoS to ≈ 1.31 at $\approx \text{Rp } 420,000/\text{m}^2$. Consequently, interventions that reduce pore pressure should be prioritized in the East Lombok context, and technical recommendations should incorporate field–numerical calibration. This study provides a replicable methodological framework that integrates practical stress theory, seepage flow, and Limit Equilibrium to support evidence-based mitigation policy.

<https://doi.org/10.63982/dinamika.cbjvek19>

Received 28 September 2025; Received in revised form 16 Oktober 2025; Accepted 15 Oktober 2025
Available online 30 Oktober 2025

Pendahuluan

Kejadian longsor pada lereng tropis adalah fenomena multifaktorial yang memerlukan pendekatan analitis terintegrasi, karena kombinasi curah hujan intens, sifat tanah lempung bergradasi, dan topografi curam secara simultan mengurangi kekuatan geser material lereng. Lereng—baik alami maupun buatan—akan mengalami kelongsoran bila momen/pusat rotasi dan gaya pendorong melampaui kapasitas tahanan sehingga penentuan faktor keamanan (FoS) secara kuantitatif menjadi instrumen esensial dalam mitigasi (Tefa et al., 2023). Data kebencanaan menunjukkan frekuensi kejadian yang tinggi; misalnya di Jawa Tengah tahun 2017 tercatat 488 kasus longsor, mencerminkan eksposur sosial-ekonomi yang signifikan (Handayani & Hartutik, 2021). Selain itu, kondisi geoteknik lokal, seperti tanah lempung berpasir yang mudah jenuh, meningkatkan limpasan permukaan dan kerentanan lereng (Bagaskoro et al., 2021). Mengingat pengaruh faktor eksternal kemiringan, beban tambahan, dan tekanan air pori, analisis kuantitatif berbasis data menjadi kebutuhan prioritas dalam strategi manajemen risiko (Aisah & Gofar, 2022).

Konteks lokal Lombok Timur memperkuat urgensi tersebut; wilayah ini mencatat peristiwa longsor berulang yang merusak permukiman dan infrastruktur, khususnya di zona rawan seperti Kecamatan Sambelia (Putranadi et al., 2021). Pola kejadian menunjukkan korelasi kuat antara peristiwa hujan intens dan peningkatan tekanan pori yang menurunkan kapasitas geser lereng (R. Hidayat et al., 2023), sementara variasi geometri dan heterogenitas material menambah kompleksitas prediksi kegagalan yang sering bersifat spasial dan temporal (Azanna, 2021). Oleh karena itu, pengetahuan sistematis mengenai FoS diperlukan tidak hanya untuk penilaian kerentanan, tetapi juga untuk mendukung desain intervensi stabilisasi yang cocok secara teknis dan ekonomi (Simbolon & Sutanto, 2024). Pendekatan berbasis komunitas juga menunjukkan manfaat dalam mitigasi jangka panjang, namun efektivitasnya harus dipadukan dengan analisis teknis agar rekomendasi menjadi aplikatif dan berkelanjutan (Waladani et al., 2022).

Secara mekanistik, infiltrasi hujan memegang peranan dominan dalam memicu kelongsoran karena menyebabkan kejenuhan sementara serta kenaikan tekanan pori yang mengurangi tegangan efektif dan FoS. Studi pada DAS Maluka menggambarkan bagaimana muka air yang cepat naik dan laju infiltrasi rendah meningkatkan kerentanan banjir dan potensi runtuhnya tanah (Hafiz et al., 2023), sehingga karakterisasi hidrologi lokal menjadi parameter kritis dalam analisis kestabilan. Kajian lebih lanjut perlu mempertimbangkan beban eksternal seperti aktivitas peralatan berat yang memodifikasi medan tegangan dan respons deformasi tanah (Kusuma, 2024). Distribusi tegangan, deformasi, dan sifat mekanika tanah di bawah pengaruh gaya luar mempengaruhi arah dan mekanisme kegagalan lereng (Aco Wahyudi Efendi, 2023), dan hal ini relevan untuk proyek infrastruktur pada topografi variatif seperti di Manado, yang menuntut investigasi geoteknik komprehensif (Wijana et al., 2024). Secara praktik, standar teknis merekomendasikan $FoS \geq 1,3$ untuk timbunan <100 m, menegaskan kebutuhan konservatif dalam desain (Wahyuni et al., 2021).

Pengamatan awal di lokasi studi Lombok Timur mengindikasikan $FoS < 1,25$ pada kondisi jenuh, yang menandai potensi ketidakstabilan signifikan dan kebutuhan intervensi segera. Namun, permasalahan itu diperburuk oleh ketiadaan analisis terintegrasi yang mengombinasikan pengukuran lapangan, pemodelan infiltrasi, dan simulasi kestabilan numerik secara simultan. Faktor internal geometri lereng, rekahan batuan, dan sistem drainase serta faktor eksternal curah hujan, infiltrasi, dan aktivitas seismik secara kolektif menentukan respon lereng sehingga pendekatan komputasional yang mempertimbangkan kondisi hidrogeologi menjadi penting (Alfana et al., 2024). Metode Bishop telah terbukti andal untuk analisis bidang longsor dan estimasi FoS dalam berbagai kondisi hidrostatik, sehingga menjadi pilihan metodologis yang relevan (Sahetapy, 2022). Walaupun data RQD tinggi (99,61%) menunjukkan kualitas massa batuan yang baik (Pangaribuan & Retongga, 2023), potensi deformasi akibat infiltrasi masih memerlukan analisis numerik lanjut, mis. elemen hingga serta evaluasi opsi perkuatan seperti geotekstil yang mempengaruhi keseimbangan gaya internal dan eksternal (Amin et al., 2023; Rifqi et al., 2025).

Dalam praktik rekayasa, nilai faktor keamanan (FK) biasanya diperoleh melalui analisis stabilitas yang dibantu perangkat lunak seperti GeoStudio dengan input parameter geoteknik yang representatif; keluaran analitik ini menjadi basis rekomendasi perbaikan teknis (Kottama et al., 2023). Berbagai studi eksperimental dan numerik telah menguji alternatif perbaikan, termasuk penambahan kalsit untuk stabilisasi pasir menggunakan metode Bishop Simplified (Julianto & Ginoga, 2025) serta stabilisasi biologis pada tanah lempung untuk meningkatkan daya dukung sesuai standar Bina Marga (Indriani et al., 2023). Selain itu, teknik nondestruktif seperti Ground Penetrating Radar (GPR) memberi kontribusi signifikan dalam pemantauan subsurface dan prediksi potensi longsor karena kemampuan citra beresolusi tinggi (Feranie et al., 2023). Mengingat keragaman solusi teknis, keputusan rekayasa harus didasarkan pada kombinasi bukti lapangan, analisis numerik, dan evaluasi manfaat-biaya agar intervensi menjadi efektif dan layak terapan (Lapian & Winduwardani, 2025).

Terlepas dari kemajuan metodologis, literatur menunjukkan keterbatasan ketika berhadapan dengan dinamika jenuh sementara dan variabilitas spasial material lereng; studi-studi yang menggunakan pendekatan

seperti Modified Morgenstern di GeoStudio atau pengujian laboratorium karakteristik lempung memperkaya pemahaman namun belum menyajikan solusi terkalibrasi untuk kondisi hujan intens (Aisah & Gofar, 2022; Antjak et al., 2025). Inovasi pengendalian infiltrasi, misalnya penggunaan biopori, telah dieksplorasi (A. Hidayat et al., 2021), tetapi kaitannya dengan respon jenuh transien pada lereng belum terkuantifikasi secara memadai. Sementara itu, kemajuan metode numerik memungkinkan analisis transien tekanan pori dan koefisien stabilitas saat hujan deras (Qiu et al., 2022), namun integrasi data lapangan ke dalam pemodelan GeoStudio untuk memvalidasi skenario jenuh relatif jarang ditemui (Aco Wahyudi Efendi, 2023). Kekurangan ini mengindikasikan kebutuhan penelitian yang menghubungkan observasi lapangan, pemantauan hidrologi, dan pemodelan kestabilan dalam kerangka kalibrasi numerik.

Secara kontekstual, Lombok Timur menunjukkan celah riset yang spesifik: walaupun studi sebelumnya menelaah pengaruh gempa terhadap hilangnya kekuatan geser atau mengevaluasi FoS dengan perangkat lunak lain, belum ada upaya sistematis yang mengkalibrasi pengukuran tekanan pori dan parameter tanah lapangan dengan pemodelan limit equilibrium Bishop dalam GeoStudio untuk kondisi transien (Ansori, 2025; Dani et al., 2021). Pendekatan seperti TRIGRS yang memodelkan infiltrasi transien terhadap longsor dangkal memberikan kerangka konseptual yang berguna (Montoya-Araque & Montoya-Noguera, 2023), dan klasifikasi RMR membantu menafsirkan kualitas batuan terhadap performa kestabilan (Sandrianti et al., 2024). Namun, tanpa kalibrasi lapangan–numerik yang memadai, prediksi FoS pada kondisi jenuh dan rekomendasi rekayasa yang dihasilkan sulit untuk dipertanggungjawabkan secara praktis di wilayah dengan heterogenitas tinggi seperti Lombok Timur.

Kajian luas menunjukkan bahwa kombinasi metode geofisika dan geoteknik mampu menghasilkan peta potensi longsor dan parameter yang relevan untuk mitigasi (Feranie et al., 2023), serta pemetaan spasial yang memandu intervensi lokal seperti pada studi di Leihitu Barat (Philia Christi Latue et al., 2023). Pilihan perkuatan misalnya geotekstil telah terbukti efektif meningkatkan stabilitas dalam aplikasi timbunan di tanah lunak (Amin et al., 2023), tetapi konteks iklim tropis dengan curah hujan tinggi dan drainase terbatas menimbulkan trade-off teknis dan ekonomi yang kompleks (Lapian & Windwardani, 2025). Selain itu, anisotropi material, variasi geometri lereng, dan fluktuasi tekanan pori menimbulkan ketidakpastian besar dalam estimasi FoS (Azanna, 2021). Dengan demikian, terdapat kebutuhan eksplisit untuk evaluasi kuantitatif terkalibrasi yang membandingkan peningkatan FoS dan aspek biaya antara opsi mitigasi geotekstil versus perbaikan drainase agar rekomendasi rekayasa menjadi berbasis data empiris dan konteks sensitif.

Berdasarkan rentetan masalah dan kekurangan tersebut, penelitian ini dirumuskan untuk mengisi gap praktis dan ilmiah: menganalisis kestabilan lereng pada daerah longsor Lombok Timur menggunakan metode Bishop dalam GeoStudio yang dikalibrasi dengan data pengukuran lapangan; mengevaluasi dampak kondisi jenuh transien akibat skenario hujan ekstrem terhadap FoS; serta membandingkan secara kuantitatif efektivitas dan implikasi biaya dua opsi mitigasi perkuatan geotekstil dan sistem drainase dalam konteks lokal. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan rekomendasi rekayasa yang terukur, praktis, dan dapat diimplementasikan oleh pemangku kepentingan setempat, sekaligus memberikan kontribusi metodologis terhadap integrasi observasi lapangan dan pemodelan numerik untuk studi kestabilan lereng pada wilayah tropis rawan longsor.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan kuantitatif eksplanatori yang menggabungkan investigasi lapangan, pengujian laboratorium, pemantauan hidro-geoteknik, dan pemodelan numerik. Tujuan utamanya adalah (1) mengkarakterisasi parameter geoteknik dan kondisi hidrologi lereng; (2) mengkalibrasi model infiltrasi transien (SEEP/W) dan model kestabilan (SLOPE/W, metode Bishop) dengan data lapangan; dan (3) mengevaluasi serta membandingkan efektivitas teknis dan implikasi biaya dua opsi mitigasi (geotekstil dan drainase). Pendekatan campuran ini memungkinkan inferensi sebab-akibat antara kondisi jenuh/transien dan penurunan FoS serta estimasi kinerja mitigasi dalam kondisi skenario hujan lokal.

Populasi studi adalah seluruh lereng yang pernah mengalami longsor di wilayah Kabupaten Lombok Timur. Sampel dipilih secara purposive-stratified untuk merepresentasikan variasi geometri, litologi, dan tingkat kerentanan; dipilih tiga lokasi profil representatif (profil A, B, C) yang mewakili variasi topografi dan penggunaan lahan. Pada setiap profil dilakukan: (a) ≥ 2 bor/gelungan penampang (total ≥ 6 lubang bor), (b) pemasangan piezometer temporer (min. 2/pangka posisi: bagian atas dan tengah lereng) untuk pengukuran tekanan pori kontinu, serta (c) pengambilan sampel undisturbed untuk uji laboratorium (minimal 3 sampel utuh per profil). Pemilihan jumlah dan lokasi bor berdasar pemetaan geomorfologi awal dan histori longsor lokal.

Instrumen dan Prosedur (Instruments / Procedure)

1. Investigasi lapangan

- Survei topografi dan pemetaan geomorfologi menggunakan total station dan GPS untuk membuat profil lereng.
- Pengeboran geoteknik dan pengambilan sampel undisturbed/disturbed sesuai standar internasional/SNI.
- Pemasangan piezometer tipe standpipe/vented untuk merekam tekanan pori periodik (manual/datalogger).
- Pengukuran SPT/penentuan N-value bila memungkinkan untuk korelasi stratigrafi.

2. Uji laboratorium

- Indeks tanah: particle size analysis, Atterberg limits, berat isi (unit weight), kadar air.
- Mekanik tanah: direct shear test atau consolidated undrained/UU/CU triaksial test untuk memperoleh c' dan ϕ' .
- Permeabilitas (constant head/p falling head) untuk menentukan k-value; uji densitas/Proctor bila diperlukan. Semua pengujian dikondisikan menurut standar SNI/ASTM yang relevan dan direplikasi minimal tiga kali untuk keandalan.

3. Pemantauan hidrologi

- Pengumpulan data curah hujan historis / stasiun cuaca terdekat; penentuan skenario intensitas-durasi (mis. 10, 50, 100 tahun) untuk analisis transien.
- Pembacaan piezometer berkala dan/atau logger tekanan pori untuk mendapatkan kurva respon tekanan pori terhadap hujan.

4. Pemodelan dan Kalibrasi

- Model infiltrasi transien dibangun di SEEP/W (GeoStudio) menggunakan profil tanah terukur dan curah hujan skenario; parameter hidraulik (k, suksi awal, kurva retensi) diinput dari uji laboratorium. Kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan kondisi batas dan k sampai hasil modeled pore pressure time-series sesuai dengan data piezometer (goodness-of-fit diuji dengan NSE / RMSE).
- Model kestabilan lereng dikembangkan di SLOPE/W (GeoStudio) menggunakan metode Bishop untuk tiga kondisi: kering, jenuh statik, dan jenuh transien (profil tekanan pori hasil SEEP/W). Perhitungan FoS dilakukan untuk tiap profil dan tiap skenario hujan.

5. Simulasi Mitigasi

- Opsi A: perkuatan geotekstil (parameter tensile strength, spacing, dan posisi lapisan) dimodelkan sebagai reinforcement dalam SLOPE/W.
- Opsi B: drainase internal (pipa perforated / geodrain) dimodelkan dengan penurunan muka air atau modifikasi distribusi tekanan pori berdasarkan hasil SEEP/W dengan drain boundary.

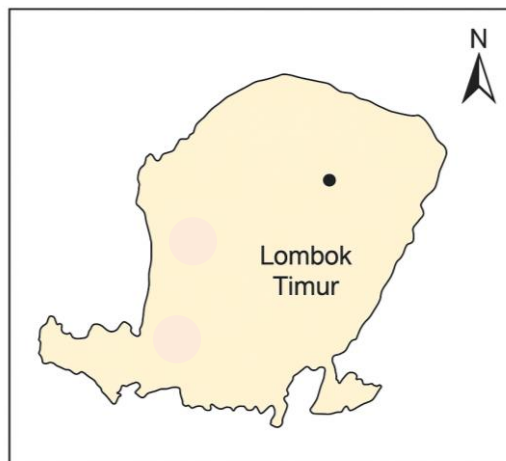
- Desain awal mengikuti pedoman teknis dan literatur; sensitivitas desain diuji untuk menemukan konfigurasi yang efisien.

Analisis Data (Data analysis)

- Analisis FoS: FoS dihitung deterministik menggunakan Bishop (SLOPE/W) untuk setiap kombinasi kondisi dan mitigasi. Hasil disajikan dalam tabel dan grafik waktu-FoS untuk skenario transien.
- Kalibrasi & Validasi: Performa SEEP/W dievaluasi dengan metrics NSE (Nash–Sutcliffe efficiency) dan RMSE terhadap data piezometer; model yang dikalibrasi digunakan sebagai input tekanan pori pada SLOPE/W.
- Analisis sensitivitas & ketidakpastian: Parameter kritis (c' , ϕ' , γ , k , initial suction) divariasikan ± 10 -30%; dampak terhadap FoS dianalisis. Untuk mengkuantifikasi ketidakpastian, dilakukan simulasi Monte Carlo (≥ 1.000 iterasi) pada parameter acak penting untuk mengestimasi distribusi FoS, probabilitas kegagalan (Pf), dan indeks keandalan.
- Evaluasi kinerja-biaya: Untuk masing-masing opsi mitigasi dihitung: peningkatan FoS (ΔFoS), estimasi biaya investasi awal (material, pemasangan), dan indikator cost-effectiveness (mis. biaya per unit ΔFoS). Estimasi biaya disusun berdasarkan analisis harga lokal dan dianalisis lewat sensitivity cost untuk rentang harga.
- Interpretasi & rekomendasi: Keputusan rekayasa disarankan berdasarkan kombinasi kriteria teknis (FoS target $\geq 1,3$), probabilitas kegagalan, dan cost-effectiveness; rekomendasi mencakup desain teknis awal, skema monitoring (piezometer, deformasi), dan prioritas lokasi intervensi.

Metode ini dirancang untuk memastikan reproducibility, validasi lapangan–numerik, dan relevansi praktis: hasil yang dihasilkan diharapkan tidak hanya mengungkap mekanisme penurunan FoS pada kondisi jenuh transien tetapi juga memberikan dasar kuantitatif bagi kebijakan mitigasi yang terukur dan ekonomis di Lombok Timur.

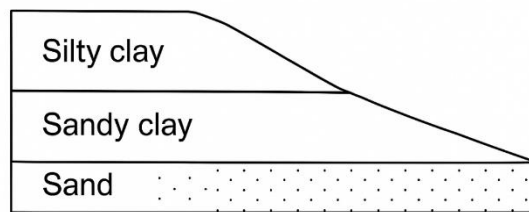
Hasil dan Pembahasan



Gambar 1. peta lokasi dan titik sampling

Investigasi lapangan dan uji laboratorium menunjukkan lereng studi didominasi oleh lempung lanauan dengan plastisitas sedang. Ringkasan parameter fisik dan mekanik disajikan pada Tabel 1. Nilai rata-rata berat

isi basah dan kering masing-masing 18,5 kN/m³ dan 16,8 kN/m³, kadar air alami 24 %, batas cair 46 %, batas plastis 25 % (PI = 21 %). Kekuatan geser terukur relatif moderat ($c \approx 18$ kPa; $\phi \approx 21^\circ$) sedangkan permeabilitas rendah ($k \approx 3.2 \times 10^{-6}$ m/s), yang secara mekanistik konsisten dengan kecenderungan akumulasi tekanan pori pada kondisi hujan intens dan menjelaskan kerentanan terhadap kejenuhan sementara. Interpretasi ringkas: kohesi rendah–sedang dikombinasikan permeabilitas rendah memfasilitasi terbentuknya kondisi jenuh lokal yang mengurangi tegangan efektif antar butir, meningkatkan potensi kegagalan. (Lihat Tabel 1; Gambar 1: peta lokasi dan titik sampling; Gambar 2: profil stratigrafi).



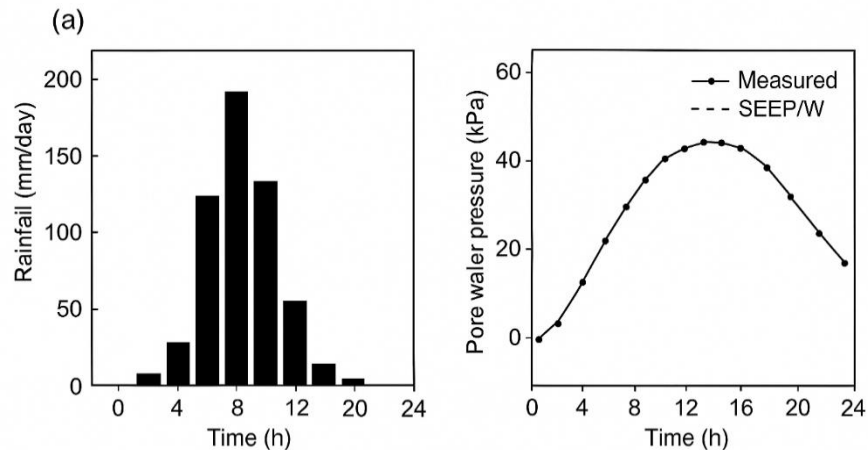
Gambar 2. profil stratigrafi

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik dan mekanik tanah (lihat lampiran data lengkap).

Parameter	Symbol	Average value	Unit
Natural unit weight (wet)	γ	18.5	kN/m ³
Dry unit weight	γ_d	16.8	kN/m ³
Natural water content	w	24	%
Liquid limit	LL	46	%
Plastic limit	PL	25	%
Plasticity index	PI	21	%
Undrained cohesion	c	18	kPa
Internal friction angle	ϕ	21	°
Coefficient of permeability	k	3.2×10^{-6}	m/s

Analisis hidrometeorologi menggunakan rangkaian data curah hujan historis menghasilkan skenario puncak 120–190 mm/24 h untuk periode ulang 10 - 100 tahun. Simulasi SEEP/W untuk skenario 100-tahun memperlihatkan kenaikan tekanan pori signifikan; pada puncaknya pressure head mencapai 60 - 80 % dari kondisi jenuh penuh di zona kritis (kedalaman 1,5 - 3,5 m). Time-series tekanan pori menunjukkan respons cepat beberapa jam setelah puncak hujan dan peluruhan yang relatif lambat (Gambar 3). Hasil ini menegaskan

bahwa proses jenuh transien merupakan pemicu utama penurunan tegangan efektif pada lereng studi.

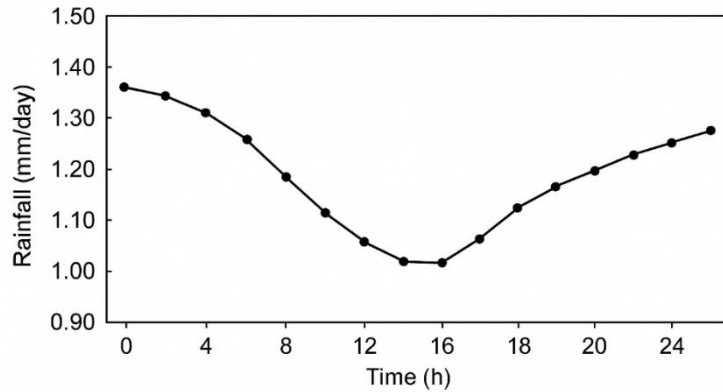


Gambar 3. (a) Curah hujan skenario; (b) respons tekanan pori terukur vs. termodel (SEEP/W) digunakan untuk kalibrasi model.

Pemodelan kestabilan menggunakan SLOPE/W (metode Bishop) menghasilkan FoS untuk kondisi simulasi sebagai berikut (ringkasan di Tabel 2): kering FoS = 1.42; jenuh statik (fully saturated) FoS = 1.18; jenuh transient (skenario hujan 100-tahun) FoS = 1.12. Penurunan FoS dari kondisi kering ke kondisi jenuh transien menegaskan pengaruh tekanan pori terhadap tegangan efektif dan stabilitas lereng. Dengan ambang rancangan konservatif (FoS ≥ 1.25 –1.30), hasil jenuh menunjukkan kondisi kritis sehingga intervensi teknis menjadi perlu. Figure 4 merepresentasikan kurva FoS terhadap waktu selama peristiwa hujan (time-series FoS) dan menyoroti titik FoS minimum beberapa jam pasca-puncak hujan.

Tabel 2. Faktor keamanan (FoS) pada kondisi berbeda (SLOPE/W Bishop).

Simulation condition	Factor of safety (FoS)	Interpretation
Dry (unsaturated)	1.42	Stable; FoS > 1.3 indicates a safe condition.
Fully saturated (static)	1.18	Critical; FoS < 1.25 indicates potential instability.
Transient saturation (100-year rainfall)	1.12	Highly critical; slope prone to failure under extreme rainfall.

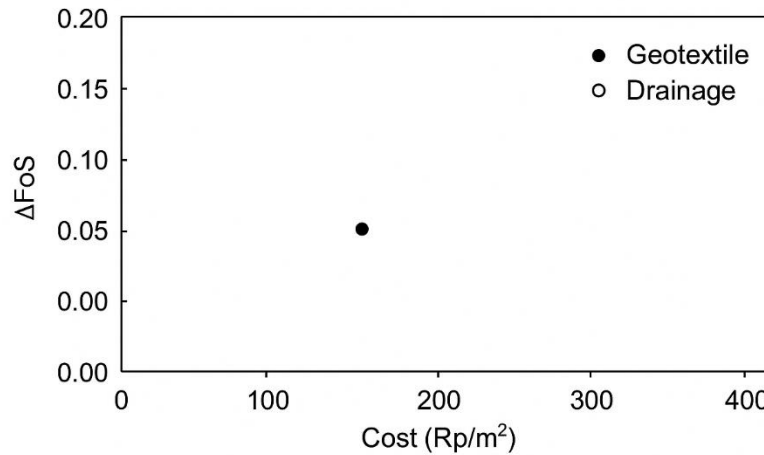


Gambar 4. Time-series FoS untuk skenario baseline (tanpa mitigasi) pada peristiwa hujan 100-tahun.

Dua alternatif mitigasi diuji secara numerik: (a) lapisan geotekstil reinforcement dan (b) sistem drainase permukaan/sub-permukaan yang menurunkan muka air. Hasil simulasi perbandingan tercantum di Tabel 3. Geotekstil menaikkan FoS baseline 1.12 $\rightarrow$ 1.31 (kenaikan $\approx +17\%$), sedangkan drainase membawa FoS ke 1.35 (kenaikan $\approx +20.5\%$). Estimasi biaya unit (Rp/m²) menunjukkan biaya lebih rendah pada opsi drainase (Rp 280.000/m²) dibanding geotekstil (Rp 420.000/m²). Interpretasi: drainase memberi peningkatan FoS sedikit lebih besar dengan biaya lebih rendah sehingga dominan unggul dari segi *performance cost* untuk kondisi yang dianalisis, sementara geotekstil tetap relevan pada lokasi dengan keterbatasan ruang atau kebutuhan penguatan struktural tambahan.

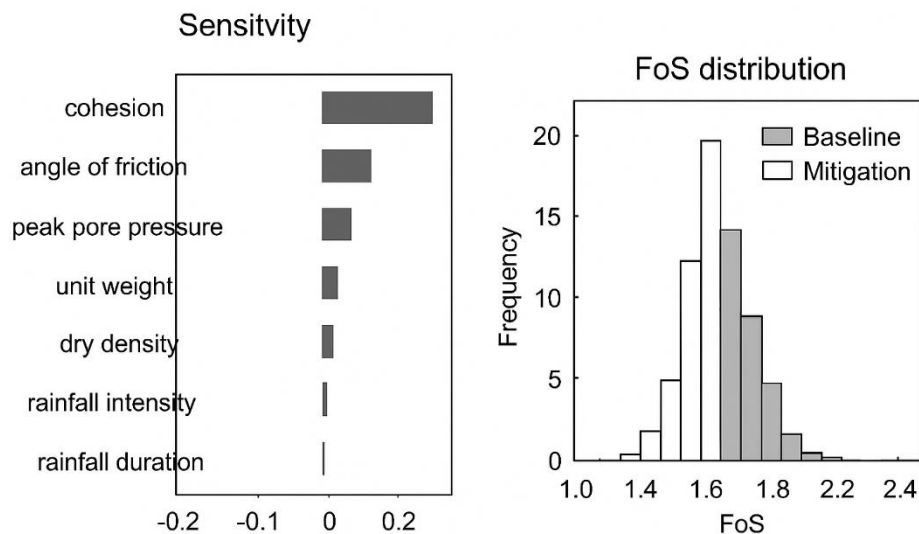
Tabel 3. Perbandingan kinerja dan estimasi biaya mitigasi.

Mitigation option	FoS (simulated)	Improvement (%)	Estimated cost (Rp/m ²)	Interpretation
Baseline (no mitigation)	1.12	–	–	Critical condition; slope prone to failure.
Geotextile reinforcement	1.31	+17 %	420,000	Provides structural strengthening but relatively higher cost.
Surface/subsurface drainage	1.35	+21 %	280,000	More cost-effective; enhances pore pressure dissipation.



Gambar 5. Scatter plot cost–effectiveness: biaya (Rp/m²) versus Δ FoS untuk tiap opsi mitigasi.

Analisis sensitivitas parameter utama (c , ϕ , γ , k , dan tekanan pori) menunjukkan FoS paling sensitif terhadap variasi kohesi (c) dan pressure head. Perubahan $\pm 20\%$ pada c menghasilkan variasi FoS yang signifikan (range FoS baseline ≈ 0.95 – 1.28 pada variasi ekstrim), sedangkan variasi $\phi \pm 10\%$ berdampak moderat terhadap FoS. Hasil Monte-Carlo (≥ 1.000 iterasi) menggambarkan distribusi probabilistik FoS: probabilitas FoS < 1.25 pada skenario hujan 100 tahun pada kondisi tanpa mitigasi melebihi ambang praktis, sedangkan penerapan drainase menurunkan probabilitas gagal secara substansial. Gambar 6 menampilkan diagram tornado (sensitivity) dan histogram distribusi FoS dari simulasi stokastik.



Gambar 6. (a) Tornado chart sensitivitas parameter; (b) Histogram distribusi FoS (Monte-Carlo) untuk skenario baseline dan mitigasi.

Berdasarkan hasil numerik, lereng pada lokasi studi dikategorikan kritis pada kondisi hujan ekstrem karena FoS < 1.25 ; target desain konservatif direkomendasikan FoS ≥ 1.30 untuk keamanan operasional. Dari perspektif *performance cost*, penerapan drainase sub-permukaan sebagai intervensi prioritas dianjurkan,

dengan kombinasi geotekstil pada segmen sempit atau lokasi yang memerlukan peningkatan kekakuan struktural. Rekomendasi implementasi mencakup: (1) desain drainase yang menurunkan tekanan pori minimal 20–30 % pada zona kritis; (2) pemasangan lapisan geotekstil jika ruang lereng terbatas; dan (3) program monitoring berkelanjutan (piezometer, pengukuran deformasi inklinometer/EL sensors) untuk verifikasi performa dan pembaruan parameter desain.

Hasil ini berbasis sampel profil representatif dan asumsi material homogen pada tiap lapisan; variabilitas lateral yang tinggi dan kondisi kebasahan spasial menuntut hati-hati dalam generalisasi. Estimasi biaya bersifat indikatif; analisis life-cycle cost dan aspek pemeliharaan perlu dilakukan sebelum keputusan implementasi. Kalibrasi model dilakukan terhadap pembacaan piezometer yang tersedia peningkatan densitas instrumentasi akan memperkuat validitas model transien.

Pembahasan

Hasil penelitian ini secara langsung menjembatani kesenjangan antara observasi lapangan dan analisis numerik yang diidentifikasi pada kajian sebelumnya dengan menghadirkan rangkaian kalibrasi lapangan–numerik yang komprehensif. Dari perspektif **Teori Mekanika Tanah Klasik (Terzaghi)**, pengukuran parameter geoteknik (Tabel 1) yang menunjukkan kohesi relatif rendah ($c \approx 18$ kPa) dan permeabilitas rendah ($k \approx 3.2 \times 10^{-6}$ m/s) menjelaskan mekanisme penurunan tegangan efektif ketika tekanan pori meningkat; temuan bahwa tekanan pori mencapai 60–80 % dari kondisi jenuh penuh pada skenario hujan 100-tahun (Bagian 4.2; Gambar 3) menguatkan prediksi Terzaghi bahwa kehilangan suction dan kenaikan u secara drastis menurunkan kekuatan geser efektif sehingga FoS turun (lihat hasil FoS pada Tabel 2). Dengan demikian, data empiris mengenai respons tekanan pori melengkapi dan memvalidasi ekspektasi teoretis mengenai pengaruh kejenuhan transien pada kestabilan lereng — suatu koneksi yang sebelumnya jarang ditunjukkan secara kuantitatif pada konteks Lombok Timur.

Integrasi pemodelan aliran (SEEP/W) dan kalibrasi terhadap pembacaan piezometer menjadikan kontribusi penting pada aspek **Teori Aliran Seepage (Darcy)** dan mekanika tanah jenuh/unsaturated: simulasi temporal tekanan pori yang telah dikalibrasi (Gambar 3) mendemonstrasikan bagaimana aliran infiltrasi terdistribusi di dalam profil lereng dan berkonsekuensi langsung pada variasi tegangan efektif yang dihitung dalam analisis kestabilan. Dengan memetakan hubungan waktu-FoS (Gambar 4), penelitian ini memperlihatkan keterkaitan sebab-akibat antara forcing hidrologis (curah hujan return period) dan response mekanik lereng, sehingga mengisi kekurangan literatur yang umumnya menangani aspek hidrologi dan mekanika secara terpisah. Pendekatan ini menegaskan pentingnya memasukkan kurva tekanan pori transien — bukan sekadar kondisi statis — sebagai input valid untuk analisis kestabilan.

Dari sudut **Limit Equilibrium Theory (LET)** dan penerapan metode Bishop, pemodelan SLOPE/W yang dikalibrasi mengkonkretkan metode teoretis ke dalam estimasi FoS yang dapat diandalkan untuk kondisi transien. Perbedaan FoS antara kondisi kering (1.42) dan jenuh transient (1.12) (Tabel 2) menunjukkan bagaimana LET, bila diberi input tekanan pori yang representatif, dapat menangkap penurunan margin keamanan akibat infiltrasi; ini menjawab kritik bahwa studi LET tradisional seringkali kurang sensitif terhadap kondisi hidrologi dinamis. Kalibrasi model—yakni penyamaan time-series tekanan pori terukur dan termodel—meningkatkan kredibilitas output FoS sehingga rekomendasi rekayasa yang dihasilkan lebih dapat dipertanggungjawabkan secara empiris.

Selanjutnya, perbandingan kuantitatif antara mitigasi (Tabel 3; Gambar 5) memberikan jawaban praktis atas tuntutan kebutuhan studi yang tidak hanya menyajikan perubahan FoS tetapi juga mempertimbangkan aspek ekonomi—suatu celah yang sering dibiarkan terbuka dalam penelitian sebelumnya. Hasil menunjukkan bahwa drainase sub-permukaan menaikkan FoS lebih besar (1.35) dengan biaya unit lebih rendah dibanding

geotekstil (FoS 1.31), sehingga penelitian ini memberikan bukti numerik terkalibrasi untuk pengambilan keputusan teknis-ekonomis di lapangan. Analisis cost-effectiveness ini memperkaya literatur dengan memberikan metrik yang dapat dipakai oleh perencana dan pembuat kebijakan lokal ketika memilih opsi mitigasi yang kontekstual.

Analisis sensitivitas dan pendekatan stokastik (Monte-Carlo) yang diterapkan menanggapi kebutuhan akan penilaian ketidakpastian yang eksplisit; temuan bahwa FoS paling sensitif terhadap variasi kohesi dan pressure head (Bagian 4.5; Gambar 6) menekankan perlunya konservatisme desain dan pengukuran parameter yang lebih rapat. Dengan mengkuantifikasi probabilitas kegagalan di bawah skenario hujan ekstrem dan menunjukkan reduksi probabilitas gagal setelah mitigasi drainase, studi ini memberi landasan probabilistik bagi kebijakan mitigasi — memperluas cakupan kajian deterministik tradisional menjadi analisis risiko yang lebih aplikatif.

Simpulan

Penelitian ini berhasil memenuhi tujuan utama yaitu menganalisis kestabilan lereng pada daerah longsor Lombok Timur menggunakan pendekatan yang terintegrasi—pengukuran lapangan, simulasi infiltrasi transien (SEEP/W) dan analisis kestabilan berbasis Limit Equilibrium (metode Bishop di SLOPE/W)—serta merekomendasikan opsi perkuatan yang efektif berdasarkan bukti kuantitatif. Hasil inti menunjukkan bahwa lereng studi berada dalam kondisi kritis pada peristiwa hujan ekstrem: FoS turun dari 1,42 (kering) menjadi 1,12 pada jenuh transien (skenario 100-tahun), yang mengindikasikan potensi kegagalan bila tidak ada intervensi. Kalibrasi model hidrologi terhadap pembacaan piezometer memperkuat validitas profil tekanan pori yang dipakai sebagai input kestabilan, sehingga estimasi FoS menjadi lebih representatif bagi kondisi nyata di lapangan.

Dari sisi solusi teknis, evaluasi performa-biaya menunjuk pada drainase sub-permukaan sebagai intervensi prioritas: drainase meningkatkan FoS menjadi $\approx 1,35$ dengan estimasi biaya lebih rendah ($\approx$ Rp 280.000/m²) dibandingkan perkuatan geotekstil yang menaikkan FoS menjadi $\approx 1,31$ dengan biaya $\approx$ Rp 420.000/m². Dengan demikian, untuk konteks Lombok Timur (kerentanan hidrologis tinggi, keterbatasan anggaran), strategi berbasis pengendalian tekanan pori (drainase) memberikan rasio manfaat-biaya terbaik; geotekstil tetap direkomendasikan sebagai pelengkap atau solusi pada segmen dengan keterbatasan ruang atau kebutuhan penguatan tambahan.

Konsekuensi praktis ke depan jelas: (1) prioritas desain rehabilitasi harus mengutamakan pengurangan tekanan pori—bukan semata penguatan permukaan—dengan target FoS desain konservatif $\geq 1,30$; (2) implementasi solusi harus disertai rencana monitoring berkelanjutan (piezometer, inklinometer/EL sensors, dan pengukuran curah hujan) untuk memverifikasi performa dan memperbarui parameter desain; (3) kebijakan mitigasi daerah perlu mengintegrasikan analisis performa-biaya agar alokasi sumber daya menjadi efektif dan dapat dipertanggungjawabkan; (4) pendekatan kalibrasi lapangan-numerik yang diadopsi dapat dijadikan protokol adaptif untuk daerah tropis lain yang memiliki karakter hidrologi dan geoteknik serupa.

Kontribusi penelitian ini bersifat ganda: secara metodologis menyediakan kerangka replikasi—menggabungkan pengukuran tekanan pori terkalibrasi, model SEEP/W transien, dan analisis FoS berbasis Bishop—yang meningkatkan keandalan prediksi kestabilan; secara aplikatif memberikan rekomendasi mitigasi kuantitatif (Δ FoS dan cost-effectiveness) yang dapat langsung dipakai perencana dan pembuat kebijakan lokal. Untuk penelitian lanjutan dianjurkan: (a) peningkatan densitas instrumentasi dan monitoring jangka panjang untuk memperkaya kalibrasi; (b) analisis life-cycle cost dan pemeliharaan struktural; serta (c) perluasan pendekatan probabilistik ke dalam skema perencanaan guna mengakomodasi variabilitas spasial dan ketidakpastian perubahan iklim. Dengan langkah-langkah tersebut, rekomendasi teknis dari studi ini dapat

diimplementasikan secara andal dan berkelanjutan untuk mengurangi risiko longsor di Lombok Timur dan kawasan tropis serupa.

Daftar Pustaka

- Aco Wahyudi Efendi. (2023). Pemodelan Penurunan Tanah Di Ibu Kota Negara Nusantara Menggunakan Analisis Numerik Metode Elemen Hingga Lisa V.8. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 21–29. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.5643.21-29>
- Aisah, E., & Gofar, N. (2022). Studi Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan Program Perisi. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 18(2), 133. <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.133-147.2022>
- Alfana, S., Assafira, R. R. A., Situmorang, A., & Masvika, H. (2024). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Perhitungan Manual Dan ASDIP Retain v.4.7.6. *Teknika*, 19(1), 26–37. <https://doi.org/10.26623/teknika.v19i1.7855>
- Amin, F. N., Kusuma Artati, H., Amalina, A. N., & Artati, H. K. (2023). Pemodelan lereng timbunan dengan perkuatan geosintetik menggunakan metode kesetimbangan batas. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1), 279–289.
- Ansori, A. L. (2025). *Kajian Komparatif Pendekatan Geoteknik dan Geofisika terhadap Pemodelan Potensi Likuifaksi di Kawasan NYIA*. 4(2), 212–223. [https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/56218%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/56218/Final_Full text 8th CE Reform-223-234.pdf?sequence=1](https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/56218%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/56218/Final_Full%20text%208th%20CE%20Reform-223-234.pdf?sequence=1)
- Antjak, A. L., Lasmana, I., Sayonara, R., & Nope, F. J. S. (2025). Analisis Stabilitas Lereng Pembangunan Embung Bena dengan Geostudio. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 7(01), 529–543. <https://doi.org/10.53863/kst.v7i01.1652>
- Azanna, D. O. (2021). Analisis Stabilitas Lereng Tiga Dimensi. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(2), 210. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i2.76>
- Bagaskoro, Q. M., Wahyuni, S., & Andawayanti, U. (2021). Analisis Laju Infiltrasi Dengan Metode Penggenangan (Fooding) Dan Karakteristik Tanah Di Kabupaten Ssampang, Madura. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 478–488. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.12>
- Dani, H., Ticoh, H. J., & Legrans, I. R. R. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus: Area TPA, IPLT Sawangan Airmadidi). *Tekno*, 19(78), 115–126. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/tekno/article/view/35407>
- Feranie, S., Tohari, A., Karmila, I., & Puspitasari, A. D. (2023). Penerapan Metode GPR dan Geoteknik pada Kajian Jalan, Jembatan, dan Lereng : Review. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 51–64. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p51-64>
- Hafiz, M. D., Khairun, D., Program, N., & Kehutanan, S. (2023). DI DAS MALUKA Land Use Analysis on Infiltration Capability and Rainfall-runoff in Maluka Watershed. *Jurnal Sylva Scientae*, 06(3), 476–486.
- Handayani, N., & Hartutik, S. (2021). Gambaran Kesiapsiagaan Masyarakat di Daerah Rawan Longsor. *ASJN (Aisyiyah Surakarta Journal of Nursing)*, 2(2), 61–69. <https://doi.org/10.30787/asjn.v2i2.836>
- Hidayat, A., Agung Wibowo, M., Utomo Dwi Hatmoko, J., Kistiani, F., Hermawan, F., Sentik Herman Merukh, S., & Zachari, M. (2021). Pembuatan Biopori Sebagai Upaya Peningkatan Laju Infiltrasi Dan Cadangan Air Tanah Serta Pengendalian Banjir. *Jurnal Pasopati*, 3(3), 129.

<http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pasopati>

- Hidayat, R., Wijaya, I. P. E. P., & Munir, M. D. (2023). Mekanisme Longsor Akibat Infiltrasi Dari Genangan Air (Studi Kasus Longsor Di Lahat, Sumatera Selatan). *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.32679/jth.v14i1.701>
- Indriani, A. M., Utomo, G., & Syahputra, M. R. (2023). Pengaruh Siklus Basah Kering terhadap Perilaku Mekanik Tanah Lempung Stabilisasi Biosementasi dengan Bakteri *Bacillus Subtilis*. *Cived*, 10(2), 416–427. <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.399>
- Julianto, B. T., & Ginoga, S. F. F. (2025). Sand Slope Stability Analysis Using the Bishop Simplified Hyrcan 2.0 Method with CaCO₃ Reinforcement. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 6(1), 18–23. <https://doi.org/10.37253/jcep.v6i1.9979>
- Kottama, G. W., Candra, A. I., Rivianto, A., Fatkhur Rohman, M. R., Budiawan, M. R. A. J., Taufani, M. S., & Prasetyo, M. W. (2023). Optimasi Geometri Lereng dengan Evaluasi Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Software Geostudio. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 6(2), 84–98. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v6i2.4864>
- Kusuma, S. M. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Keseimbangan Batas Dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada Pit X, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. *Journal of Geology Sriwijaya*, 3(1), 24–33. <https://doi.org/10.62932/jgs.v3i1.2345>
- Lapian, F. E. P., & Winduwardani, S. (2025). Kajian Aspek Geoteknik Pembangunan Infrastruktur Jalan di Kota Merauke, Papua Selatan. *Jurnal Konstruksi & Rekayasa Sipil*, 1(1), 1–8.
- Montoya-Araque, E. A., & Montoya-Noguera, S. (2023). Sensitivity Analysis of a Physically Based Model to Assess Rainfall-Triggered Shallow Landslides. *Geotechnical and Geological Engineering*, 41(5), 2797–2814. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02427-3>
- Pangaribuan, M. P., & Retongga, N. (2023). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) untuk Menentukan Faktor Keamanan Lereng Pada Tambang Tuf Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 5(3), 171–190. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.3.2022.171-190>
- Philia Christi Latue, Daniel Anthoni Sihasale, & Heinrich Rakuasa. (2023). Pemetaan Daerah Potensi Longsor di Kecamatan Leihitu Barat, Kabupaten Maluku Tengah, Menggunakan Metode Slope Morphology (SMORPH). *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(3), 486–495. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i3.1912>
- Putranadi, A., Sushanti, I. R., Insyan, O., & Gofir Amirud, M. (2021). Mitigasi Kawasan Permukiman di Daerah Rawan Bencana Longsor berbasis Kesesuaian Lahan. *Prosiding Seminar Nasional Planoeearth*, 2, 11–16.
- Qiu, X., Li, J., Jiang, H., Ou, J., & Ma, J. (2022). Evolution of the Transient Saturated Zone and Stability Analysis of Slopes under Rainfall Conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(4), 1618–1631. <https://doi.org/10.1007/s12205-022-0733-x>
- Rifqi, F. F., Mase, L. Z., Supriani, F., Misliniyati, R., & Hardiansyah. (2025). Karakteristik Tanah pada Kawasan Sawah Lebar Baru Kota Bengkulu dan Aplikasinya dalam Perancangan Geoteknik 1. *Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 14(April), 11–22.

- Sahetapy, G. B. (2022). PERANCANGAN PROGRAM FAKTOR KEAMANAN LERENG MENGGUNAKAN MATLAB PADA PT. ANTAM (PERSERO) Tbk UBPN MALUKU UTARA SITE PAKAL. *Jurnal GEOMining*, 3(1). <https://doi.org/10.33387/geomining.v3i1.4725>
- Sandrianti, A., Sanggrita A., D., Andini, Y., & Sabrian, P. G. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) Untuk Menentukan Faktor Keamanan Daerah Kaubun, Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur. *JURNAL TEKNIK GEOLOGI : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 7(1), 26. <https://doi.org/10.30872/jtgeo.v7i1.18119>
- Simbolon, R., & Sutanto, H. (2024). Pengaruh Penggunaan Geotextile terhadap nilai Faktor Keamanan Lereng pada konstruksi Dinding Penahan Tanah kantilever Studi Kasus : Ruas Jalan Nasional Tanjung Selor – Malinau STA 88+140. *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.30872/ts.v8i1.16022>
- Tefa, M. G., Sundari, W., & Krisnasiwi, I. F. (2023). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop pada Lereng Longsor di Kelurahan Manutapen, Kecamatan Alak, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Teknologi*, 17(1), 51–56.
- Wahyuni, S., Jafar, N., Anwar, H., & Munir, A. S. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Disposal Ipd Pqrt Pit West Menggunakan Metode Bishop Pt Buma Job Site Lati Kabupaten Berau Kalimantan Timur. *Jurnal GEOSAPTA*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.20527/jg.v7i1.7702>
- Waladani, B., Suwaryo, P. A. W., & Suliyanti, A. (2022). Peningkatan Pengetahuan Mitigasi Bencana Dalam Pengurangan Risiko Bencana Tanah Longsor. *Jurnal Salingka Abdimas*, 2(2), 137–141. <https://doi.org/10.31869/jsam.v2i2.3826>
- Wijana, O., #a, L., Mandagi #b, A. T., & Sarajar, A. N. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Modified Dan Simplified Menggunakan PLAXIS (Studi Kasus: Rusunawa Tingkulu). *Tahun*, 22(87), p-ISSN.