

Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Perkuatan Lereng di Jalan Trunojoyo, Kelurahan Songgokerto, Kecamatan Batu, Kota Batu, Jawa Timur, Berbasis Software Geo5 2020 Pro

Satria Aji Budi Nugraha^{1*}, Eko Suwarno²

Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia^{1,2}

*Email: satria.aji.2105236@students.um.ac.id, eko.suwarno.ft@um.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted 18-07-2026

Received 30-07-2026

Published 31-07-2026

Keywords:

Slope Stability;
Retaining Wall;
Cantilever;
Geo5;
Safety Factor.

Kata Kunci:

Stabilitas lereng, dinding penahan tanah, kantilever, geo5, faktor keamanan.

ABSTRACT

The slope along Trunojoyo Street, Songgokerto Sub-district, Batu City, connecting Batu City and Pujon, has a high landslide susceptibility due to its hilly topography and steep gradient, as demonstrated by a landslide event on April 9, 2026, which completely blocked the main transportation access for approximately three hours. This study aims to obtain landslide characteristic data, analyze the stability of the existing slope, and evaluate a reinforcement alternative in the form of a cantilever retaining wall using Geo5 2020 Pro software based on the Limit Equilibrium Method. Field observation using the Slope Stability Inventory Form showed that the slope has a height of 15.00 meters and a gradient of 80°, with a silty sand (SM) soil type. Analysis of the existing condition using the Mohr-Coulomb method produced a safety factor (SF) of 0.68, far below the minimum requirement of SNI 8460:2017 ($SF \geq 1.50$), indicating a critical slope condition. Three design variations of an 11-meter cantilever wall were analyzed across five stability components using the Bishop method. The results showed that variation 3, a cantilever wall with two-tier terracing, was the most optimal design, being the only one that satisfied all safety criteria, with an overall stability SF of 1.52 and settlement of 15.40 mm, meeting the 16.5 mm maximum limit required by SNI 8460:2017.

ABSTRAK

Lereng di Jalan Trunojoyo, Kelurahan Songgokerto, Kecamatan Batu, Kota Batu, merupakan ruas jalan penghubung Kota Batu-Pujon dengan tingkat kerawanan longsor tinggi akibat topografi berbukit dan kemiringan curam, sebagaimana dibuktikan oleh peristiwa kelongsoran pada 9 April 2026 yang menutup total akses transportasi selama kurang lebih tiga jam. Penelitian ini bertujuan memperoleh data karakteristik kelongsoran, menganalisis stabilitas lereng eksisting, serta mengevaluasi alternatif perkuatan berupa dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan software Geo5 2020 Pro berbasis Limit Equilibrium Method. Hasil observasi menggunakan Form Slope Stability Inventory menunjukkan lereng

memiliki tinggi 15,00 meter dan kemiringan 80° dengan jenis tanah pasir berlanau (SM). Analisis kondisi eksisting menggunakan metode Mohr-Coulomb menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 0,68, jauh di bawah syarat minimum SNI 8460:2017 ($SF \geq 1,50$), sehingga lereng dinyatakan kritis. Tiga variasi desain dinding kantilever setinggi 11 meter dianalisis pada lima komponen stabilitas menggunakan metode Bishop. Hasil menunjukkan variasi 3, yaitu dinding kantilever dengan terasering dua trap, merupakan desain paling optimal karena satu-satunya yang memenuhi seluruh standar keamanan, dengan SF overall stability sebesar 1,52 dan settlement 15,40 mm, memenuhi batas maksimum 16,5 mm menurut SNI 8460:2017.

PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sulit diprediksi kejadiannya, baik dalam skala kecil maupun besar. Bencana ini dipicu oleh berbagai faktor, seperti curah hujan tinggi, aktivitas manusia yang menambah beban lereng, serta berkurangnya fungsi hutan sebagai penahan tanah alami. Ketidakseimbangan kondisi tersebut menyebabkan tanah menjadi tidak stabil sehingga mudah bergerak. Dampak yang ditimbulkan pun beragam, mulai dari kerusakan fasilitas umum dan lahan pertanian hingga korban jiwa, serta terganggunya aktivitas ekonomi dan kelancaran pembangunan sebagai dampak tidak langsung.

Jalan Trunojoyo yang terletak di Kelurahan Songgokerto, Kecamatan Batu, Kota Batu, merupakan ruas jalan penghubung antara Kota Batu dan Pujon. Wilayah ini memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana longsor karena didominasi oleh topografi berbukit dengan kemiringan lereng yang curam. Rahmawati et al. (2023) menegaskan bahwa kawasan penghubung dataran tinggi memiliki intensitas kebencanaan yang konstan akibat kombinasi curah hujan ekstrem dan ketiadaan vegetasi berakar kuat. Kerentanan tersebut terbukti nyata ketika peristiwa kelongsoran terjadi pada 9 April 2026 (BPBD Kota Batu, 2026), di mana material longsor menutup total akses transportasi utama selama kurang lebih tiga jam dan melumpuhkan aktivitas ekonomi lokal.

Untuk mengidentifikasi penyebab utama kelongsoran, dilakukan uji laboratorium terhadap sampel tanah terganggu dari lokasi penelitian. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa persentase tanah lolos saringan No. 200 sebesar 23,92%, sehingga berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah dikategorikan sebagai jenis SM atau pasir berlanau (*silty sand*). Pengujian lanjutan memperoleh parameter fisik dan mekanis berupa berat volume 17,64 kN/m³, sudut geser dalam 29°, kohesi 1,78 kN/m², dan indeks plastisitas 1,36%. Nilai kohesi yang sangat rendah serta sudut geser yang kecil mengindikasikan kuat geser tanah yang minim, sehingga lereng sangat rawan mengalami kegagalan struktur ketika kondisi tanah jenuh air.

Berdasarkan SNI 8460:2017, beberapa metode perkuatan lereng yang umum digunakan antara lain *soil nailing*, *ground anchor*, *mechanically stabilized earth* (MSE), dan dinding penahan tanah (*retaining wall*). Pada wilayah perbatasan Batu-Pujon, penerapan dinding penahan tanah tipe kantilever terbukti relevan dan efektif, sebagaimana dievaluasi oleh Suhudi dan Ehok (2021)

pada kawasan lereng dengan karakteristik tanah rentan di Kecamatan Pujon. Dinding tipe ini bekerja secara efisien dengan memanfaatkan berat tanah di atas pelat dasar (*base slab*) sebagai komponen penyeimbang dan sesuai digunakan pada lereng dengan ketinggian optimal hingga 8 meter (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

Analisis stabilitas lereng dapat dilakukan melalui perhitungan manual maupun pemodelan berbasis perangkat lunak. Dua metode komputasi utama yang lazim digunakan adalah *Finite Element Method* (FEM), yang membagi objek analisis menjadi elemen-elemen diskrit kecil, dan *Limit Equilibrium Method* (LEM), yang menggunakan prinsip keseimbangan gaya dan momen sepanjang bidang runtuh. Penggunaan LEM pada perangkat lunak Geo5 memberikan keseimbangan antara kemudahan operasional dan kecepatan perhitungan numerik, sebagaimana dibuktikan oleh Ramadhan et al. (2025) dalam mendesain infrastruktur jalan raya yang memenuhi standar teknis geoteknik. Najmi (2025) juga menegaskan bahwa pemilihan Geo5 sebagai alat analisis didasarkan pada kesesuaiannya dengan pendekatan LEM yang direkomendasikan dalam SNI 8460:2017, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Secara konseptual, kelongsoran lereng terjadi apabila gaya pendorong (*driving force*) melampaui gaya penahan (*resisting force*). Gaya penahan dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kerapatan tanah, sedangkan gaya pendorong bergantung pada kemiringan lereng, keberadaan air, beban tambahan, serta massa jenis material penyusun lereng (Souisa et al. 2018). Berdasarkan mekanisme pergerakannya, kelongsoran dikelompokkan menjadi beberapa tipe, antara lain longsor translasi, longsor rotasi, longsor pergerakan blok, longsor runtuh batu, longsor rayapan tanah, dan longsor aliran bahan rombakan (*debris flow*). Masing-masing tipe memiliki karakteristik bidang gelincir dan kecepatan pergerakan yang berbeda. Selain kondisi geometri dan jenis tanah, sejumlah faktor eksternal turut memicu kelongsoran, di antaranya intensitas hujan yang meningkatkan tekanan air pori (Ramadhan et al. 2024), penguapan air pada musim kemarau yang memicu retakan tanah (Dewi et al., 2025), kekuatan batuan penyusun yang lemah (Listyani, 2020), perubahan tata guna lahan (Budianta, 2021), getaran akibat aktivitas manusia (Nirmayanti et al. 2017), beban tambahan di atas lereng (Sari et al., 2020), erosi kaki lereng (Pratama et al., 2024), material timbunan yang belum padat (Bokko et al. 2019), serta keberadaan bekas longsor lama (Adfy & Marzuki, 2021).

Faktor keamanan (*safety factor*/SF) dihitung melalui dua pendekatan utama, yaitu FEM dan LEM. FEM membagi massa tanah menjadi elemen-elemen kecil untuk memodelkan distribusi tegangan, regangan, dan deformasi secara rinci, umumnya menggunakan pendekatan *Shear Strength Reduction* yang mengurangi parameter kuat geser tanah secara bertahap hingga tercapai kondisi keruntuhan (Fata et al., 2023). Sementara itu, LEM menganalisis keseimbangan gaya dan momen dengan membagi massa tanah pada bidang potensi longsor menjadi irisan-irisan vertikal (*method of slices*), di mana gaya geser, gaya normal efektif, dan tekanan air pori pada setiap irisan diperhitungkan untuk memperoleh nilai SF (Hardiyatmo, 2002). Dibandingkan FEM, LEM relatif

lebih sederhana secara komputasi namun tetap memberikan akurasi memadai untuk kebutuhan praktis perancangan, sehingga banyak digunakan pada perangkat lunak komersial seperti Geo5.

Apabila hasil analisis menunjukkan lereng tidak memenuhi syarat SF minimum, SNI 8460:2017 mengarahkan penerapan sistem perkuatan, salah satunya dinding penahan tanah. Berdasarkan bentuk dan mekanisme kerjanya, dinding penahan tanah diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu *gravity wall* yang mengandalkan berat sendiri, dinding beton bertulang tipe *counterfort* untuk ketinggian di atas 6 meter, *crib wall* yang tersusun dari unit pracetak berisi material granular, *gabion wall* berupa keranjang kawat berisi batu, dan *cantilever wall* yang berbentuk huruf T atau L serta memanfaatkan berat tanah di atas pelat dasar sebagai penyeimbang. Setiap perancangan dinding penahan tanah wajib melewati lima pemeriksaan stabilitas, yaitu terhadap guling, geser, daya dukung tanah, penurunan (*settlement*), dan stabilitas keseluruhan (*overall stability*), yang masing-masing memiliki nilai SF minimum sesuai SNI 8460:2017.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji stabilitas lereng dan perkuatan dinding penahan tanah. Suhudi dan Ehok (2021) mengevaluasi stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever di Kecamatan Pujon dan menyimpulkan bahwa tipe ini efektif untuk lereng dengan karakteristik tanah rentan. Ramadhan et al. (2025) menganalisis perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah pada Proyek Jalan Lintas Selatan Lot 1A dengan bantuan software Geo5. Sementara itu, Yogaswara dan Komarudin (2024) meneliti pengaruh konfigurasi bertingkat pada dinding penahan tanah terhadap penurunan tekanan lateral aktif. Maulana dan Agustina (2024) mengkaji perkuatan *soil nailing* pada ruas jalan lingkar Serasan, yang menunjukkan bahwa efektivitas sistem perkuatan sangat bergantung pada kesesuaian konfigurasi struktur terhadap karakteristik tanah setempat. Darmawan (2024) melakukan analisis stabilitas lereng dan dinding tipe kantilever di Sawahlunto menggunakan software Geo5 dan menghasilkan faktor keamanan *overall stability* sebesar 1,53, yang menunjukkan bahwa dinding kantilever efektif untuk menstabilkan lereng pada tanah dengan karakteristik serupa. Sementara itu, Anas et al. (2025) mengoptimalkan desain dinding kantilever setinggi 4 meter untuk stabilisasi lereng di Sumatera Utara dan berhasil meningkatkan faktor keamanan lereng dari kondisi kritis menjadi aman.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi penting, masih terdapat kesenjangan yang belum terisi. Penelitian yang secara khusus mengevaluasi efektivitas tiga konfigurasi dinding kantilever yang dikombinasikan dengan terasering pada kondisi tanah SM (pasir berlanau) dengan kohesi rendah di ruas Jalan Trunojoyo, Batu, belum pernah dilakukan sebelumnya. Padahal, karakteristik tanah SM yang memiliki kohesi rendah dan mudah berubah sifat mekanisnya ketika kadar air meningkat memerlukan pendekatan desain yang spesifik. Selain itu, belum ada penelitian yang membandingkan secara simultan pengaruh variasi terasering (tanpa terasering, satu trap, dan dua trap) terhadap kelima komponen stabilitas dinding penahan tanah secara terintegrasi, termasuk aspek penurunan (*settlement*) yang sering kali menjadi faktor pembeda utama dalam kelayakan teknis suatu desain.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) memperoleh data karakteristik kelongsoran pada lereng di Jalan Trunojoyo melalui Form *Slope Stability Inventory*; (2) menganalisis stabilitas lereng eksisting menggunakan *software* Geo5 2020 Pro; dan (3) mengevaluasi stabilisasi lereng menggunakan alternatif perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan bantuan *software* yang sama. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada data penyelidikan tanah yang diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Malang, jenis longsor tanah, penggunaan *software* Geo5 2020 Pro berbasis LEM, perkuatan berupa dinding penahan tanah tipe *cantilever wall*, dan tidak memperhitungkan beban gempa. Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi teknis yang efektif, aman, dan aplikatif dalam upaya mitigasi bencana longsor sekaligus meningkatkan keselamatan infrastruktur transportasi di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan eksperimental yang diproses melalui analisis deskriptif. Nilai faktor keamanan (SF) dihasilkan melalui analisis stabilitas lereng menggunakan *software* Geo5 2020 Pro. Berdasarkan nilai SF yang dihasilkan dan mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017, ditentukan apakah lereng yang telah dipasang dinding penahan tanah tipe *cantilever wall* dinyatakan aman atau tidak.

Lokasi penelitian berada di Jalan Trunojoyo, Kelurahan Songgokerto, Kecamatan Batu, Kota Batu, tepatnya pada ruas jalan penghubung Kota Batu-Pujon. Lokasi ini dipilih karena memiliki tingkat kerawanan gerakan tanah cukup tinggi sekaligus berfungsi sebagai jalur transportasi penting antarwilayah. Untuk memperoleh data tanah yang representatif, pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik strategis, yaitu bagian atas, tengah, dan bawah lereng, guna mengidentifikasi variasi karakteristik tanah pada setiap zona.

Teknik pengumpulan data menggunakan jenis data primer yang diperoleh dari pengujian laboratorium tanah dan observasi lokasi penelitian. Data parameter tanah terdiri atas data fisik (uji saringan, batas plastis, batas cair, dan berat volume) serta data mekanis (uji kuat geser langsung), yang keduanya dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Gedung D19, Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Negeri Malang. Data geometri lereng, meliputi tinggi, kemiringan, dan panjang lereng, diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan meteran dan aplikasi inclinometer.

Nilai faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan lereng (Souisa et al., 2018). Analisis pada penelitian ini menggunakan pendekatan *Limit Equilibrium Method* (LEM) yang tersedia pada Geo5 2020 Pro, dengan metode Mohr-Coulomb untuk analisis lereng eksisting dan metode Bishop untuk analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah. Penggunaan metode Bishop untuk analisis overall stability dipilih karena metode ini telah terbukti memberikan hasil yang konsisten dengan kondisi aktual di lapangan, sebagaimana diterapkan oleh Afifah et al. (2024) dalam analisis

stabilitas lereng pada proyek bendungan. Kedua metode ini bekerja dengan membagi massa tanah pada bidang potensi longsor menjadi irisan-irisan vertikal, kemudian menghitung keseimbangan gaya dan momen pada setiap irisan untuk memperoleh nilai SF secara keseluruhan.

Analisis data dilakukan melalui tiga tahap. Pertama, analisis karakteristik kelongsoran menggunakan *Slope Stability Inventory* yang disusun berdasarkan pedoman Dinas Pekerjaan Umum, mencakup parameter kemiringan lereng, tinggi lereng, dan kondisi vegetasi penutup, yang diperoleh melalui survei lapangan secara langsung (observasi in situ). Kedua, analisis stabilitas lereng eksisting dilakukan dengan menghitung nilai SF sesuai SNI 8460:2017 menggunakan software Geo5 2020 Pro berbasis Limit Equilibrium Method dan metode Mohr-Coulomb. Data geometri dan parameter tanah dari hasil survei lapangan dimasukkan ke dalam program untuk mensimulasikan kondisi aktual lereng. Apabila $SF \geq 1,50$ maka lereng dikategorikan stabil; sebaliknya, apabila $SF < 1,50$, lereng dinyatakan tidak stabil dan dilanjutkan dengan analisis desain perkuatan. Ketiga, analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dilakukan dengan memodelkan tiga variasi desain berdasarkan ukuran dan ketentuan SNI 8460:2017, yaitu dinding kantilever dengan kemiringan tanah 60° (variasi 1), dinding kantilever dengan terasering satu trap (variasi 2), dan dinding kantilever dengan terasering dua trap (variasi 3). Setiap variasi dianalisis pada lima komponen, yaitu stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser, daya dukung tanah, penurunan (settlement), dan stabilitas keseluruhan (overall stability) menggunakan metode Bishop.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kelongsoran dan Data Penelitian

Karakteristik kelongsoran diidentifikasi melalui observasi langsung menggunakan Form *Slope Stability Inventory* sesuai standar Dinas Pekerjaan Umum (2005). Hasil observasi menunjukkan bahwa lereng pada lokasi penelitian memiliki tinggi 15,00 meter dengan kemiringan 80° , sehingga tergolong dalam kategori lereng sangat curam. Curah hujan tahunan di lokasi berkisar 401–500 mm/bulan, dengan jenis tanah pasir berlanau (klasifikasi USCS) dan penggunaan lahan berupa hutan dan perkebunan. Data parameter tanah dan geometri lereng yang digunakan sebagai input pemodelan pada software Geo5 2020 Pro disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Parameter Tanah dan Geometri Lereng

Parameter	Nilai	Satuan
Jenis tanah	SM (pasir berlanau)	—
Berat volume tanah tidak jenuh (γ unsat)	17,64	kN/m ³
Berat volume tanah jenuh (γ sat)	19,73	kN/m ³
Sudut geser dalam (ϕ)	29	°
Kohesi (c)	1,78	kN/m ²
Tinggi lereng	15,00	m

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang lereng	25,00	m
Kemiringan lereng	80	°

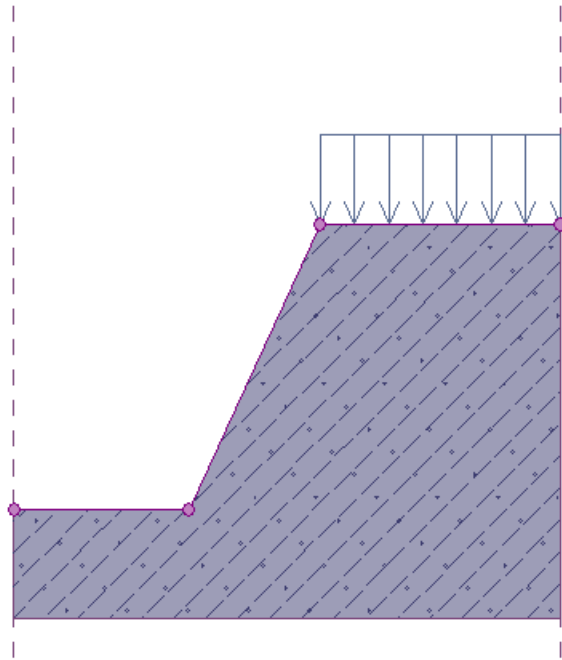
Sumber: Hasil pengujian laboratorium dan pengukuran lapangan, diolah oleh penulis (2026).

Data pada Tabel 1 menjadi input utama pemodelan pada software Geo5 2020 Pro, baik untuk analisis kondisi eksisting maupun analisis perkuatan. Nilai kohesi $1,78 \text{ kN/m}^2$ tergolong sangat rendah dibandingkan tanah kohesif pada umumnya, sementara sudut geser dalam 29° masih berada pada rentang tanah berpasir dengan kepadatan sedang. Kombinasi kedua parameter tersebut menjadi indikator awal bahwa lereng memiliki kuat geser yang terbatas, sehingga kemampuannya menahan gaya penggerak akibat berat sendiri tanah dan beban eksternal menjadi tidak optimal, terutama pada kemiringan lereng yang mencapai 80° .

Sudut kemiringan 80° menyebabkan lereng memiliki potensi ketidakstabilan tinggi, karena semakin besar sudut kemiringan maka semakin besar pula gaya penggerak yang bekerja sejajar bidang gelincir. Tutupan lahan di lokasi didominasi hutan dan perkebunan dengan persentase vegetasi sekitar 50–60%. Meskipun vegetasi berperan meningkatkan kestabilan lereng melalui sistem perakaran, distribusi yang tidak merata menyebabkan fungsi tersebut tidak bekerja optimal sehingga pergerakan massa tanah tetap memungkinkan terjadi (Pratama et al., 2024). Curah hujan 401–500 mm/bulan turut meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah, menaikkan kadar air dan tekanan air pori, sehingga menurunkan kuat geser tanah dan nilai faktor keamanan lereng (Rahman Hakim Sitepu et al., 2024). Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah pada lokasi penelitian termasuk kelompok pasir berlanau (silty sand-SM) dengan plastisitas rendah, yang berarti kohesi relatif kecil dan mudah berubah sifat mekanisnya ketika kadar air meningkat. Kombinasi antara jenis tanah SM, curah hujan tinggi, dan kemiringan lereng yang curam menjadi faktor utama yang memengaruhi kestabilan lereng pada lokasi penelitian, dengan kecenderungan berkembang menjadi longsor rotasional (rotational slide), yaitu tipe longsor dengan bidang gelincir berbentuk melengkung yang menyebabkan massa tanah bergerak berputar mengikuti permukaan longsor.

Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Analisis stabilitas lereng eksisting dilakukan dengan memasukkan data tanah dan geometri lereng ke dalam software Geo5 2020 Pro menggunakan metode Mohr-Coulomb, melalui tiga tahap: input, kalkulasi, dan output. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng pada kondisi eksisting memiliki nilai faktor keamanan (SF) sebesar 0,68. Mengacu pada SNI 8460:2017, suatu lereng dinyatakan stabil apabila $SF \geq 1,50$. Dengan demikian, nilai SF sebesar 0,68 yang jauh lebih kecil dari nilai yang disyaratkan menunjukkan bahwa lereng eksisting berada pada kondisi tidak aman atau kritis, sehingga diperlukan perkuatan untuk meningkatkan kestabilannya.



Gambar 1 Pemodelan Lereng Kondisi Eksisting

Sumber: Hasil pemodelan Geo5 2020 Pro metode Mohr-Coulomb, diolah oleh penulis, 2026

Nilai faktor keamanan sebesar 0,68 menunjukkan bahwa gaya penahan (resisting force) yang bekerja pada lereng lebih kecil dibandingkan gaya penggerak (driving force). Parameter geoteknik yang digunakan dalam analisis, yaitu berat isi tanah $17,64 \text{ kN/m}^3$, kohesi $1,78 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam 29° , merupakan sifat mekanik tanah yang sangat memengaruhi nilai faktor keamanan tersebut. Nilai SF sebesar 0,68 ini sejalan dengan temuan Darmawan (2024) yang menganalisis lereng dengan karakteristik tanah serupa dan memperoleh SF eksisting sebesar 0,71 sebelum diberikan perkuatan, yang mengindikasikan bahwa lereng dengan tanah berkohesi rendah dan kemiringan curam memang berada dalam kondisi kritis. Nilai kohesi yang rendah menunjukkan ikatan antarpartikel tanah yang relatif lemah, sedangkan sudut geser dalam yang tidak terlalu besar mengindikasikan kemampuan tanah menahan gaya geser masih terbatas, sehingga lereng lebih mudah mengalami kegagalan terutama saat dipengaruhi beban tambahan atau infiltrasi air hujan (A. G. Ramadhan et al., 2025). Temuan ini sejalan dengan hasil Nugraha dan Sutanto (2019), yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam akan meningkatkan faktor keamanan lereng, sedangkan penurunan kedua parameter tersebut menyebabkan stabilitas lereng menurun secara signifikan.

Bidang gelincir yang teridentifikasi pada kondisi eksisting berbentuk melengkung menyerupai busur, sesuai dengan karakteristik longsoran rotasi (rotational sliding), yaitu tipe kelongsoran yang umumnya terjadi pada tanah dengan kohesi rendah hingga sedang dan disertai pergerakan massa tanah yang berputar ke arah luar dan bawah, sehingga bagian atas lereng cenderung turun sementara bagian bawah terdorong ke depan. Kesesuaian antara kondisi

lapangan dan pola bidang gelincir hasil pemodelan Geo5 2020 Pro menunjukkan bahwa parameter tanah yang digunakan sebagai input, yaitu kohesi $1,78 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser dalam 29° , secara wajar merepresentasikan kondisi geoteknik aktual pada lokasi penelitian. Kegagalan lereng dengan pola rotasi ini juga memperkuat pentingnya struktur perkuatan yang mampu menahan gaya lateral sekaligus mendistribusikan beban secara vertikal, sebagaimana yang menjadi prinsip kerja dinding penahan tanah tipe kantilever.

Kondisi kritis pada lereng eksisting sejalan dengan temuan Sinarta dan Basoka (2019) mengenai keruntuhan dinding penahan tanah pada lereng dengan karakteristik tanah yang serupa, yang menegaskan bahwa lereng dengan kuat geser rendah dan tanpa sistem drainase yang memadai cenderung mengalami penurunan faktor keamanan secara progresif seiring waktu, khususnya pada musim hujan. Hal ini relevan dengan kondisi Jalan Trunojoyo yang tercatat mengalami kejadian kelongsoran nyata pada 9 April 2026, sehingga nilai SF sebesar 0,68 yang diperoleh dari pemodelan bukan sekadar angka teoretis, melainkan konsisten dengan kejadian aktual di lapangan.

Secara keseluruhan, kondisi kritis lereng eksisting di Jalan Trunojoyo dipengaruhi oleh dua faktor utama: (1) curah hujan tinggi dengan intensitas 401–500 mm/bulan yang menyebabkan tanah cepat jenuh air dan meningkatkan tekanan air pori, serta (2) nilai sudut geser dalam dan kohesi tanah yang rendah sehingga daya ikat antarpartikel tanah lemah dan kemampuan menahan gaya geser berkurang.

Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan kondisi kritis lereng eksisting, dilakukan pemodelan perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 11 meter dalam tiga variasi desain: variasi 1 dengan kemiringan tanah 60° setinggi 4 meter, variasi 2 dengan terasering satu trap setinggi 4 meter, dan variasi 3 dengan terasering dua trap setinggi total 4 meter. Perancangan mengacu pada SNI 8460:2017 dengan berat jenis dinding penahan tanah sebesar 23 kN/m^3 . Setiap variasi dianalisis pada lima komponen stabilitas menggunakan Geo5 2020 Pro, yaitu guling, geser, daya dukung, settlement, dan overall stability (metode Bishop). Rekapitulasi hasil disajikan pada Tabel 2.

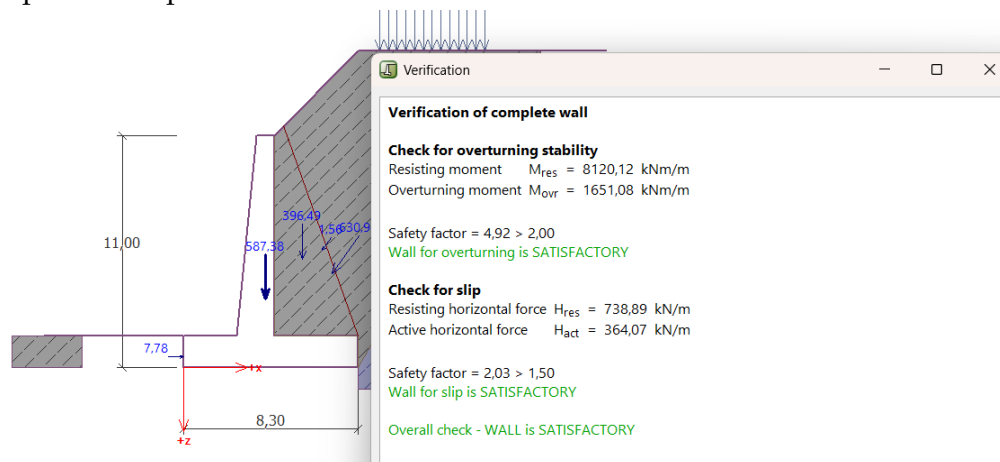
Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah

Jenis analisis	Standar SNI 8460:2017	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Keterangan
Guling	$SF \geq 2,00$	4,92	6,76	6,45	Aman
Geser	$SF \geq 1,50$	2,03	2,27	2,26	Aman
Daya dukung	$SF \geq 3,00$	4,45	5,31	5,17	Aman
Settlement	Maks. 16,5 mm	38,6 mm	17,60 mm	15,40 mm	Variasi 1 dan 2 tidak aman
Overall stability	$SF \geq 1,50$	1,59	1,55	1,52	Aman

Sumber: Hasil analisis Geo5 2020 Pro, diolah oleh penulis, 2026

Pada aspek guling, ketiga variasi memenuhi standar keamanan $SF \geq 2,00$, dengan momen tahanan (M_{res}) berkisar antara 6.372,95–8.839,03 kNm/m yang jauh lebih besar dibandingkan momen guling (M_{ovr}) sebesar 987,37–1.651,08 kNm/m, sehingga seluruh variasi dinyatakan aman terhadap guling. Pada aspek geser, gaya tahan horizontal (H_{res}) sebesar 621,86–739,71 kN/m terbukti mampu melawan gaya geser horizontal aktif (H_{act}) sebesar 274,72–364,07 kN/m pada ketiga variasi, sehingga seluruh variasi memenuhi standar $SF \geq 1,50$. Pada aspek daya dukung, daya dukung izin tanah pondasi (R_d) sebesar 801,50–884,01 kPa jauh melampaui tegangan maksimum pada dasar pijakan (σ) sebesar 160,25–180,19 kPa, sehingga ketiga variasi juga dinyatakan aman terhadap daya dukung.

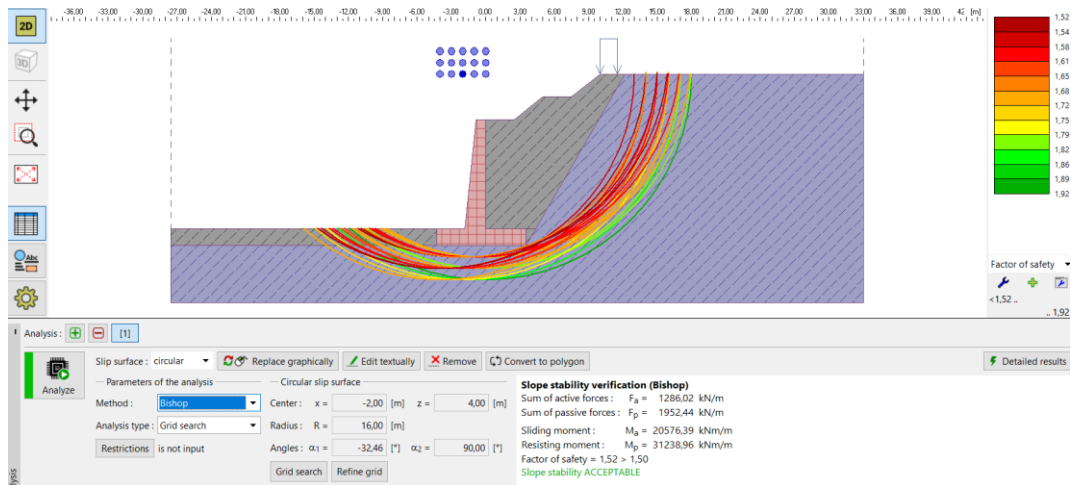
Hasil berbeda ditunjukkan pada aspek settlement. Variasi 1 menghasilkan penurunan pondasi sebesar 38,6 mm dan variasi 2 sebesar 17,60 mm, keduanya melampaui batas maksimum 16,5 mm yang disyaratkan SNI 8460:2017, sehingga dinyatakan tidak aman terhadap penurunan. Hanya variasi 3 yang menghasilkan settlement sebesar 15,40 mm, memenuhi batas yang disyaratkan. Pola ini menunjukkan bahwa penambahan terasering dua trap pada variasi 3 efektif mendistribusikan beban secara lebih merata dan mengurangi tekanan lateral tanah, sehingga penurunan pondasi dapat ditekan.



Gambar 2. Hasil Analisis Stabilitas DPT Terhadap Guling dan Geser

Sumber: Hasil analisis Geo5 2020 Pro metode Bishop, diolah oleh penulis (2026).

Pada aspek overall stability menggunakan metode Bishop, ketiga variasi menghasilkan nilai faktor keamanan yang memenuhi standar minimum 1,50, yaitu 1,59 untuk variasi 1, 1,55 untuk variasi 2, dan 1,52 untuk variasi 3. Nilai ini diperoleh dari perbandingan momen penahan (M_p) sebesar 31.238,96–39.578,44 kNm/m terhadap momen geser (M_a) sebesar 20.576,39–25.523,98 kNm/m pada masing-masing variasi. Meskipun ketiga variasi secara individual memenuhi syarat $SF \geq 1,50$ untuk overall stability, hanya variasi 3 yang memenuhi seluruh lima komponen analisis sekaligus, termasuk komponen settlement yang menjadi kendala utama pada variasi 1 dan variasi 2.



Gambar 3. Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan DPT Variasi 3
Sumber: Hasil analisis Geo5 2020 Pro metode Bishop, diolah oleh penulis, 2026

Dengan mempertimbangkan kelima komponen analisis secara simultan, variasi 3 dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 11 meter yang dikombinasikan dengan terasering dua trap --- merupakan desain yang paling optimal karena satu-satunya variasi yang memenuhi seluruh standar keamanan SNI 8460:2017 secara menyeluruh, termasuk aspek settlement yang menjadi pembeda utama di antara ketiga variasi. Temuan ini memperkuat hasil Sadat et al. (2018), yang menegaskan keandalan stabilitas internal dinding penahan tipe kantilever dalam memitigasi bahaya lateral pada lereng curam, sekaligus menunjukkan bahwa kombinasi dengan terasering memberikan nilai tambah signifikan terhadap performa struktur pada tanah SM dengan kuat geser rendah. Konsistensi hasil ini juga terlihat pada penelitian Darmawan (2024) yang memperoleh SF overall stability sebesar 1,53 pada dinding kantilever di Sawahlunto, serta Anas et al. (2025) yang berhasil meningkatkan SF lereng dari kondisi kritis menjadi 1,506 setelah pemasangan dinding kantilever setinggi 4 meter di Sumatera Utara. Nilai SF yang dihasilkan pada penelitian ini, yaitu 1,52, berada dalam rentang yang sebanding dengan kedua penelitian tersebut, sehingga semakin menguatkan bahwa dinding kantilever dengan konfigurasi terasering merupakan solusi perkuatan yang efektif untuk lereng dengan tanah SM berkohesi rendah.

Hasil ini juga sejalan dengan Yogaswara dan Komarudin (2024), yang menemukan bahwa penambahan konfigurasi bertingkat pada dinding penahan tanah mampu menurunkan tekanan lateral aktif serta memperbaiki distribusi beban pada dasar pondasi dibandingkan dinding kantilever tunggal tanpa terasering. Pola serupa juga dilaporkan Maulana dan Agustina (2024) pada studi perkuatan soil nailing di ruas jalan lingkaran Serasan, yang menunjukkan bahwa efektivitas suatu sistem perkuatan lereng sangat bergantung pada kesesuaian konfigurasi struktur terhadap karakteristik tanah setempat, bukan semata pada jenis material perkuatan yang digunakan. Dalam konteks penelitian ini, keberhasilan variasi 3 menegaskan bahwa pada tanah SM dengan kohesi rendah, distribusi beban melalui terasering bertingkat lebih

menentukan keamanan struktur dibandingkan hanya mengandalkan dimensi dinding penahan tanah semata. Sebaliknya, kegagalan variasi 1 dan variasi 2 memenuhi syarat settlement mengindikasikan bahwa penambahan tinggi dinding tanpa terasering yang memadai berisiko memusatkan beban pada satu titik pondasi, sehingga penurunan yang terjadi melampaui batas toleransi SNI 8460:2017 meskipun aspek guling, geser, daya dukung, dan overall stability telah terpenuhi. Temuan ini memberi implikasi praktis bahwa evaluasi kelayakan dinding penahan tanah tidak dapat didasarkan pada satu jenis pemeriksaan saja, melainkan harus mempertimbangkan kelima aspek stabilitas secara bersamaan sebagaimana disyaratkan SNI 8460:2017.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis stabilitas lereng di Jalan Trunojoyo, Kelurahan Songgokerto, Kecamatan Batu, Kota Batu, dapat disimpulkan beberapa hal. Pertama, hasil observasi menggunakan Form Slope Stability Inventory menunjukkan bahwa lereng di lokasi penelitian memiliki tinggi 15,00 meter dan kemiringan 80° (kategori sangat curam), dengan jenis tanah SM (pasir berlanau) serta curah hujan tahunan 401–500 mm/bulan; bentuk kelongsoran yang teridentifikasi merupakan longsoran rotasi (rotational sliding). Kedua, analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting menggunakan software Geo5 2020 Pro menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 0,68, lebih kecil dari nilai minimum yang disyaratkan SNI 8460:2017 ($SF \geq 1,50$), sehingga lereng dinyatakan berada dalam kondisi tidak aman atau kritis. Ketiga, perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever terbukti dapat meningkatkan nilai faktor keamanan secara signifikan, dengan desain paling optimal terdapat pada variasi 3, yaitu dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 11 meter yang dikombinasikan dengan terasering dua trap, menghasilkan SF sebesar 1,52 pada analisis overall stability serta settlement sebesar 15,40 mm yang memenuhi batas maksimum 16,5 mm menurut SNI 8460:2017.

Temuan ini menegaskan bahwa keputusan pemilihan desain perkuatan lereng tidak dapat hanya mengacu pada satu indikator keamanan, seperti overall stability, melainkan harus mempertimbangkan seluruh komponen pemeriksaan secara terintegrasi, termasuk aspek settlement yang pada penelitian ini terbukti menjadi faktor pembeda utama antara desain yang layak dan tidak layak diterapkan di lapangan. Bagi wilayah dengan karakteristik tanah SM dan kohesi rendah yang serupa dengan lokasi penelitian, penambahan terasering pada dinding penahan tanah tipe kantilever dapat menjadi pertimbangan teknis yang efektif untuk mengurangi risiko penurunan pondasi tanpa harus menambah dimensi dinding secara signifikan.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar pemerintah daerah mempertimbangkan penggunaan perkuatan lereng berupa dinding penahan tanah tipe kantilever yang dikombinasikan dengan terasering dua trap pada ruas jalan penghubung Batu–Pujon. Penelitian

selanjutnya juga disarankan untuk melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak lain seperti Geostudio atau Plaxis, sebagaimana telah dilakukan oleh Anggono dan Hastuty (2025) serta Nabilah (2025) dalam perencanaan dinding penahan tanah di Sumatera Utara, guna memperoleh validasi hasil yang lebih komprehensif. Selain itu, mempertimbangkan metode perkuatan alternatif seperti bronjong atau soil nailing juga dapat menjadi pilihan untuk membandingkan efektivitas berbagai jenis perkuatan pada kondisi tanah SM dengan kohesi rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adfy, D. M., & Marzuki, M. (2021). Analisis kerawanan bencana longsor dari karakteristik hujan, pergerakan tanah dan kemiringan lereng di Kabupaten Agam. *Jurnal Fisika Unand*, 10(1), 8–14. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.8-14.2021>
- Afifah, N. R., Sholeh, M., & Hanggara, I. (2024). Analisis stabilitas lereng hilir spillway proyek bendungan tipe counterfort. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 5, 42–49.
- Anas, M. R., Hastuty, I. P., & Hanggono, K. (2025). Design optimization of a 4-meter cantilever retaining wall for slope stabilization in North Sumatra. *JCE-PIM*, Talenta Publisher, Universitas Sumatera Utara.
- Anggara, R., & Wijaya, R. A. E. (2025). Analisis kestabilan lereng pit X pada lereng highwall metode limited equilibrium, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 25(1), 26–32. <https://doi.org/10.37412/jrl.v25i1.376>
- Anggono, K., & Hastuty, I. P. (2025). Perencanaan dinding penahan tanah tipe kantilever alternatif 1 tinggi 4 meter sebagai penanggulangan kelongsoran dengan metode analitis dan program Plaxis 2D (Studi kasus: Perkebunan Nusantara, Sumatera Utara). Skripsi, Universitas Sumatera Utara.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik. Badan Standardisasi Nasional.
- Bokko, J., Rusan, P., & Bunga, E. (2019). Analisis kelongsoran jalan poros Sangalla-Batualu dengan program Plaxis. *Journal Dynamic Saint*, 4(1), 764–772. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v4i1.690>
- Budianta, W. (2021). Pemetaan kawasan rawan tanah longsor di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 6(2), 68. <https://doi.org/10.22146/jpkkm.45637>
- Darmawan, M. R. (2024). Analisa stabilitas lereng dan dinding tipe kantilever pada Kubang Tangah Sawahlunto dengan menggunakan software GEO5. Skripsi, Universitas Andalas.
- Dewi, N. L. P. I. S., Dwipayanti, N. M. U., & Mahardika, I. G. (2025). Mapping of ecosystem services of land cover and geomorphology in water provision in Bali Province for 2018 and 2024. *Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(11), 770–786.

- Dinas Pekerjaan Umum. (2005). Form Slope Stability Inventory: Pedoman identifikasi karakteristik kelongsoran lereng. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Fata, Y. A., Tarigan, S. D., & Katsumi, T. (2023). Modelling of mechanical roots on slope stability. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(4), 4779–4790. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.104.4779>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika tanah 1. Gadjah Mada University Press.
- Laksono, P. A., & Prihatiningsih, A. (2025). Studi pengaruh perkuatan tanah menggunakan geogrid terhadap stabilitas lereng Pradipa. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 8(1), 291–298.
- Listyani, R. A. T. (2020). Identifikasi petrofisik batuan sebagai pendukung karakteristik hidrolik akuifer pada Sub DAS Code, Yogyakarta. *Jurnal GEOSAPTA*, 6(2), 103. <https://doi.org/10.20527/jg.v6i2.7473>
- Maulana, R., & Agustina, D. H. (2024). Analisis stabilitas lereng dan alternatif perkuatan soil nailing pada ruas jalan lingkaran Serasan Kabupaten Natuna. *Sigma Teknika*, 7(1), 222–232. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v7i1.6204>
- Mohamed, M. H., Ahmed, M., & Mallick, J. (2021). Pullout behavior of nail reinforcement in nailed soil slope. *Applied Sciences* (Switzerland), 11(14). <https://doi.org/10.3390/app11146419>
- Nabilah, N. (2025). Perencanaan dinding penahan tipe kantilever alternatif 2 tinggi 6 meter sebagai penanggulangan kelongsoran dengan metode analitis dan program Plaxis 2D (Studi kasus: Perkebunan Nusantara, Sumatera Utara). Skripsi, Universitas Sumatera Utara.
- Najmi, M. A. (2025). Pemilihan software Geo5 dalam analisis stabilitas lereng. Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur, Universitas Gadjah Mada.
- Nirmayanti, Rahmaniah, & Zelviani, S. (2017). Identifikasi daerah rawan longsor di Kecamatan Camba Kabupaten Maros menggunakan mikrotremor. *Jurnal Geofisika Indonesia*, 4(2), 205–213.
- Nugraha, A. S., & Sutanto, A. K. (2019). Pengaruh kohesi dan sudut geser dalam terhadap angka stabilitas lereng tanah kohesif berdasarkan kurva Taylor dan software Geo5 untuk lereng buatan manusia (human-made) atau lereng alami. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5, 87–99.
- Nur, E. (2024). Pengaruh penguncian modular blok pada perkuatan MSE wall. *Jurnal Teknik Sipil dan Konstruksi*, 16, 41–49.
- Pratama, F. Y., Sinarta, I. N., & Pratiwi, N. M. W. (2024). Pengaruh kondisi eksisting dan kemiringan lereng terhadap stabilitas lereng menggunakan metode linear discriminant analysis. *Jurnal Konstruksi*, 22(2), 205. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.22-2.1679>
- Rahman Hakim Sitepu, A., Dallis Evalinesuri, A., Hayati, J., Syuhada, S., Yuliyanto, A., Zhafira, E., & Budi Ribowo, A. (2024). Pengaruh curah hujan, kemiringan lereng serta beban

- gempa terhadap stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 1-12.
- Rahmawati, A. L., Candra, A. I., Sefiyanti, R., Husna, N., & Febrian, B. (2023). Mencegah kelongsoran dengan meningkatkan angka keamanan lereng. *Cived*, 10(2), 440-449. <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.402>
- Ramadhan, A. G., Sefrina, A., & Farichah, H. (2025). Stabilitas lereng perkuatan dinding penahan tanah menggunakan software GEO5 dan perhitungan empiris pada proyek jalan lintas selatan lot 1A STA 4+600. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 205. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i1.814>
- Ramadhan, R. I., Hamdany, A. H., Adiguna, G. A., & Satyanaga, A. (2024). Analisis numerik stabilitas lereng terhadap curah hujan pada tanah tak jenuh. *Jurnal Teknik Sipil*, 31(3), 275-282. <https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.3.5>
- Razak, S., & Kusumaningsih, D. A. (2022). Analisis kestabilan lereng tambang dengan metode rock mass ranting. *Jurnal Geoteknik dan Pertambangan*, 1(2), 193-200.
- Sadat, B. A., Isya, M., & Rani, H. A. (2018). Analisis efisiensi dinding penahan tanah type kantilever di Kecamatan Babahrot Kabupaten Aceh Barat Daya. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 1(1), 18-26. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i1.10331>
- Sari, V. P., Hermawan, A., Suseno, S. H., & Nugroho, D. A. (2020). Peran pendampingan sosialisasi sistem tanggap darurat bencana sebagai upaya mitigasi tanah longsor di RW 06 Kelurahan Cimahpar. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2020(1), 104-107.
- Sinarta, I. N., & Basoka, I. W. A. (2019). Keruntuhan dinding penahan tanah dan mitigasi lereng di Dusun Bantas, Desa Songan B, Kecamatan Kintamani. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 3(0). <https://doi.org/10.12962/j26151847.v3i0.5188>
- Sitorus, P. H., & Wulandari, S. (2022). Pengaruh perilaku tinggi muka air tanah dengan variasi kemiringan lereng terhadap stabilitas lereng berbasis pemodelan numerik. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(2), 145-152. <https://doi.org/10.5614/jts.2022.29.2.5>
- Situmorang, A., Christa, N. H., & Pratiwi, Y. I. (2022). Pengaruh pelapukan lapisan batuan terhadap stabilitas lereng. *Jurnal Geoteknik dan Lingkungan*, 12(2), 331-342.
- Souisa, M., Hendrajaya, L., & Handayani, G. (2018). Analisis bidang longsor menggunakan pendekatan terpadu geolistrik, geoteknik dan geokomputer di Negeri Lima Ambon. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 8(1), 13-25.
- Suhudi, S., & Ehok, S. (2021). Evaluasi stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever di Desa Ngroto, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. *PROKONS Jurusan Teknik Sipil*, 15(1), 22. <https://doi.org/10.33795/prokons.v15i1.278>
- Umum, D. P. (2007). Pedoman penataan ruang. Departemen Pekerjaan Umum.
- Yogaswara, D., & Komarudin, A. D. (2024). Analisa stabilitas lereng dengan dinding penahan tanah. *Jurnal Konstruksi*, 22(1), 76-81. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.22-1.1536>