



Stabilitas Lereng dengan Kombinasi Dinding Penahan Tanah (DPT) dan Tiang Pancang Berdasarkan Variasi Kedalaman Tiang

Arissa Sabilla^{1*}, Shafira Salsabila², Rajib Muammar³, Ari Juanda⁴, Rauzah Munauwarah⁵

^{1*,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Kota Langsa, Indonesia

⁵ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Kota Langsa, Indonesia
Email: ¹arissasabilla@unsam.ac.id

Abstract

Slope stability is an important aspect in construction planning, especially in areas with weak soil conditions and high rainfall that have the potential to trigger landslides. This study aims to analyze the effect of variations in pile depth in combination with retaining walls (DPT) on increasing slope stability. The method used is numerical analysis using Plaxis software with a Mohr-Coulomb soil model based on secondary data of geotechnical parameters. The variations in pile depth described include 12 meters, 16 meters, 19 meters, and 20 meters. The results of the analysis show that the existing slope condition has a safety factor (SF) value of 1.270 and decreases to 1.064 after being given additional loads, which indicates unstable conditions. The application of DPT and pile reinforcement can significantly increase the SF value, with values of 1.540 (12 m), 1.124 (16 m), 2.354 (19 m), and 2.450 (20 m), respectively. A depth of 19 meters is determined as the optimal condition because it provides a significant and efficient increase in stability. Thus, variations in pile depth have been shown to significantly impact slope stability and can be used as a reference in designing safe and economical slope reinforcement.

Keywords: Slope Stability, Retaining Walls, Piles, Safety Factor, Plaxis.

Abstrak

Stabilitas lereng merupakan aspek penting dalam perencanaan konstruksi, terutama pada daerah dengan kondisi tanah lemah dan curah hujan tinggi yang berpotensi memicu longsor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kedalaman tiang pancang dalam kombinasi dengan dinding penahan tanah (DPT) terhadap peningkatan stabilitas lereng. Metode yang digunakan adalah analisis numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis dengan model tanah Mohr-Coulomb berdasarkan data sekunder parameter geoteknik. Variasi kedalaman tiang pancang yang dianalisis meliputi 12 meter, 16 meter, 19 meter, dan 20 meter. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi lereng eksisting memiliki nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,270 dan menurun menjadi 1,064 setelah diberi beban tambahan, yang mengindikasikan kondisi tidak stabil. Penerapan perkuatan DPT dan tiang pancang mampu meningkatkan nilai SF secara signifikan, dengan nilai masing-masing sebesar 1,540 (12 m), 1,124 (16 m), 2,354 (19 m), dan 2,450 (20 m). Kedalaman 19 meter ditetapkan sebagai kondisi optimum karena memberikan peningkatan stabilitas yang signifikan dan efisien. Dengan demikian, variasi kedalaman tiang pancang terbukti berpengaruh besar terhadap stabilitas lereng dan dapat dijadikan acuan dalam desain perkuatan lereng yang aman.

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Dinding Penahan Tanah, Tiang Pancang, Faktor Keamanan, Plaxis.

1. PENDAHULUAN

Lereng merupakan salah satu elemen penting dalam konstruksi teknik sipil, khususnya pada pembangunan infrastruktur seperti jalan, bendungan, dan kawasan permukiman yang banyak berinteraksi dengan kondisi topografi alami (Lembang, 2021; Rachman, 2024; Rizki, 2023). Keberadaan lereng yang stabil sangat menentukan keberlangsungan fungsi struktur di atasnya (Muhammad dkk., 2025; Ramzan dkk., 2026). Stabilitas lereng menjadi aspek krusial karena kegagalan lereng dapat menimbulkan dampak yang serius, seperti kerusakan infrastruktur, gangguan aktivitas masyarakat, hingga korban jiwa (Adams, 2021; Septiani, 2026). Secara teknis, kestabilan lereng dipengaruhi oleh keseimbangan antara gaya penahan dan gaya penggerak. Di daerah beriklim tropis seperti Indonesia, intensitas curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan tekanan air pori dalam tanah, sehingga menurunkan kuat geser tanah dan memperbesar potensi terjadinya longsor, terutama pada lereng dengan kondisi tanah yang lemah dan jenuh air (Gazali dkk., 2020; Ko dkk., 2025).

Analisis stabilitas lereng umumnya dilakukan dengan berbagai pendekatan, baik secara analitis maupun numerik, untuk memperoleh nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang merepresentasikan tingkat kestabilan suatu lereng (Destiyani dkk., 2022; Sutejo & Hartoyo, 2023). Metode yang sering digunakan antara lain metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) dan metode elemen hingga (*finite element method*) yang mampu memodelkan perilaku tanah secara lebih detail (Adnan, 2026; Louhenapessy, 2022). Dalam penerapannya, penggunaan sistem perkuatan seperti Dinding Penahan Tanah (DPT) dan tiang pancang bertujuan untuk meningkatkan gaya penahan terhadap potensi longsor, terutama pada lereng dengan kondisi geoteknik yang kurang baik (Setyobudi, 2025; Sundari dkk., 2024). Kombinasi kedua sistem ini dinilai efektif karena DPT berfungsi menahan tekanan lateral tanah di permukaan, sementara tiang pancang bekerja menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih stabil (Siregar, 2023).

Berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu, diketahui bahwa analisis stabilitas lereng dengan perkuatan struktur telah banyak dilakukan, baik menggunakan Dinding Penahan Tanah (DPT) maupun kombinasi dengan fondasi dalam seperti tiang pancang atau bored pile (Silaban & Pratama, 2025; Sutanto dkk., 2025). Namun, masing-masing penelitian masih memiliki keterbatasan dalam lingkup analisisnya. Penelitian oleh Alfana & Assafira (2023) lebih menitikberatkan pada analisis stabilitas lereng menggunakan DPT dengan pendekatan perhitungan manual dan bantuan perangkat lunak ASDIP Retain. Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan DPT mampu meningkatkan faktor keamanan lereng hingga berada pada kondisi aman ($SF > 1,5$), baik sebelum maupun sesudah pembebanan gempa. Meskipun demikian, penelitian ini hanya berfokus pada satu jenis perkuatan, yaitu DPT, tanpa mempertimbangkan kombinasi dengan sistem perkuatan lain seperti tiang pancang yang dapat bekerja lebih efektif pada lapisan tanah dalam. Namun, fokus utama penelitian tersebut adalah pada variasi diameter tiang dan perbandingan jenis fondasi, sehingga aspek kedalaman tiang sebagai parameter penting dalam meningkatkan kapasitas tahanan lateral dan stabilitas global lereng belum dikaji secara mendalam.

Penelitian oleh Islamey (2022) telah mengembangkan analisis dengan mengkombinasikan DPT dan fondasi tiang (baik bored pile maupun tiang pancang) menggunakan pendekatan numerik dengan program Plaxis. Penelitian ini juga mempertimbangkan variasi diameter tiang dalam analisis stabilitas lereng. Namun, fokus utama penelitian tersebut adalah pada variasi diameter tiang dan perbandingan jenis fondasi, sehingga aspek kedalaman tiang sebagai parameter penting dalam meningkatkan kapasitas tahanan lateral dan stabilitas global lereng belum dikaji secara mendalam.

Di sisi lain, penelitian oleh Hutahaean et al., (2025) telah mengkaji kinerja kombinasi DPT dan fondasi tiang dalam perkuatan lereng dengan mempertimbangkan kondisi geoteknik kompleks seperti potensi likuifaksi dan pengaruh gempa. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa variasi dimensi tiang dapat mempengaruhi kapasitas dukung dan deformasi sistem. Akan tetapi, penelitian tersebut lebih menekankan pada evaluasi keamanan struktur secara umum dan pemilihan dimensi optimal, tanpa melakukan analisis spesifik terhadap pengaruh variasi kedalaman tiang terhadap peningkatan faktor keamanan lereng.

Variasi kedalaman tiang dipilih sebagai parameter utama karena kedalaman tiang mampu menentukan kemampuan tiang menembus bidang gelincir dan mencapai lapisan tanah yang lebih stabil. Jika tiang belum mencapai lapisan keras, deformasi tanah masih dapat terjadi sehingga perkuatan kurang efektif. Sebaliknya, tiang yang menembus lapisan stabil mampu meningkatkan tahanan lateral dan faktor keamanan lereng secara signifikan. Berbeda dengan kedalaman, variasi diameter dan material lebih mempengaruhi kekuatan struktur lokal, namun tidak secara langsung mengubah mekanisme interaksi tanah-struktur pada bidang gelincir. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan variasi kedalaman tiang sebagai parameter utama dalam kombinasi DPT dan tiang pancang menggunakan analisis numerik Plaxis, yang masih jarang dikaji secara sistematis pada kondisi geoteknik tanah lunak di Indonesia.

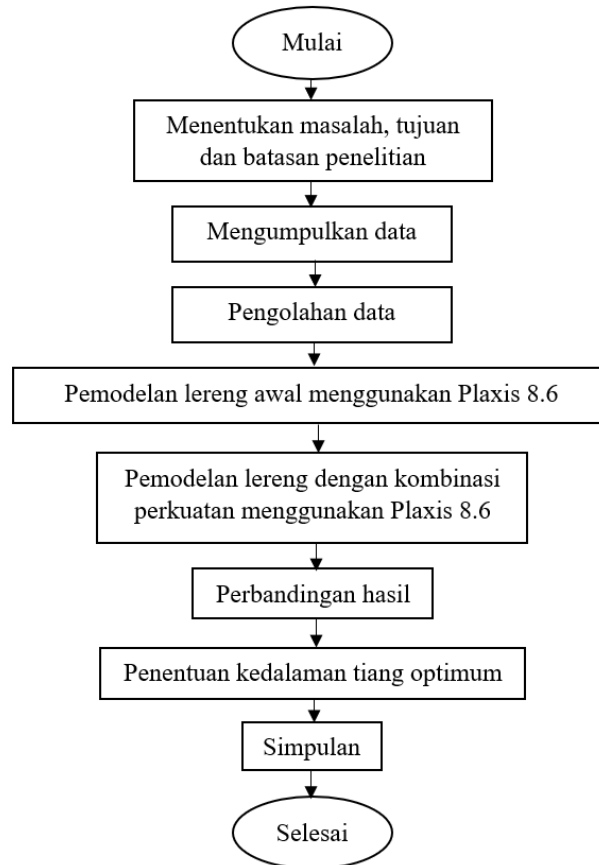
Urgensi penelitian ini juga berkaitan dengan kondisi geoteknik di Indonesia yang didominasi oleh tanah residual, tanah lempung lunak, serta wilayah dengan curah hujan tinggi dan topografi berbukit (Iqbal dkk., 2021). Kondisi tersebut menyebabkan banyak lereng di Indonesia rentan mengalami penurunan stabilitas akibat peningkatan tekanan air pori dan penurunan kuat geser tanah. Pada berbagai proyek infrastruktur seperti jalan nasional, kawasan permukiman, dan lereng penahan tebing, kegagalan lereng masih sering terjadi akibat desain perkuatan yang belum mempertimbangkan kedalaman efektif fondasi tiang terhadap posisi bidang gelincir.

Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis stabilitas lereng menggunakan kombinasi DPT dan tiang pancang berdasarkan variasi kedalaman tiang. Fokus ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam menentukan desain perkuatan lereng yang lebih efektif, khususnya dalam aspek kedalaman tiang sebagai parameter kunci dalam sistem perkuatan. Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) yaitu belum banyak studi yang secara sistematis mengkaji kombinasi DPT dan tiang pancang dengan fokus pada variasi kedalaman tiang sebagai parameter utama dalam meningkatkan stabilitas lereng. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan kombinasi DPT dan tiang pancang berdasarkan variasi kedalaman tiang, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menentukan desain perkuatan lereng yang lebih efektif, aman, dan ekonomis.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan rangkaian proses yang dilakukan secara sistematis untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini, tahapan disusun secara terstruktur mulai dari identifikasi permasalahan hingga penarikan kesimpulan, dengan pendekatan analisis stabilitas lereng menggunakan bantuan perangkat lunak Plaxis 8.6. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat dalam gambar 1 dibawah.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2 Data Penelitian

Data penelitian merupakan komponen utama dalam analisis stabilitas lereng karena berfungsi sebagai dasar dalam pemodelan dan perhitungan geoteknik. Pada penelitian ini, data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah di lokasi studi, serta didukung oleh literatur dan asumsi teknis yang relevan. Data tersebut mencakup parameter fisik dan mekanik tanah yang diperlukan untuk analisis menggunakan metode numerik. Secara umum, kondisi tanah pada lokasi penelitian dibagi menjadi beberapa lapisan berdasarkan hasil interpretasi data penyelidikan tanah. Setiap lapisan memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari segi nilai N-SPT, jenis tanah, maupun parameter geoteknik lainnya. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berat volume tanah, kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, rasio Poisson, serta koefisien permeabilitas.

Dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak, tanah dimodelkan dengan pendekatan Mohr-Coulomb, yang merupakan model yang mampu merepresentasikan perilaku dasar tanah dengan parameter yang relatif sederhana, seperti kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, dan rasio Poisson. Model ini dinilai sesuai untuk analisis awal stabilitas lereng dan evaluasi pengaruh variasi kedalaman tiang pancang terhadap faktor keamanan lereng. Selain itu, penggunaan model Mohr-Coulomb lebih efisien dalam proses pemodelan karena tidak memerlukan parameter tanah yang kompleks.

Dalam pemodelan numerik menggunakan Plaxis 8.6, penentuan batasan model (*boundary conditions*) dilakukan untuk merepresentasikan kondisi lapangan dan menjaga kestabilan numerik selama proses analisis. Pada bagian dasar model diterapkan kondisi fixity penuh (*fixed boundary*), sehingga perpindahan horizontal dan vertikal tidak diizinkan. Sementara itu, pada sisi kiri dan kanan model diterapkan batasan rol (*roller*

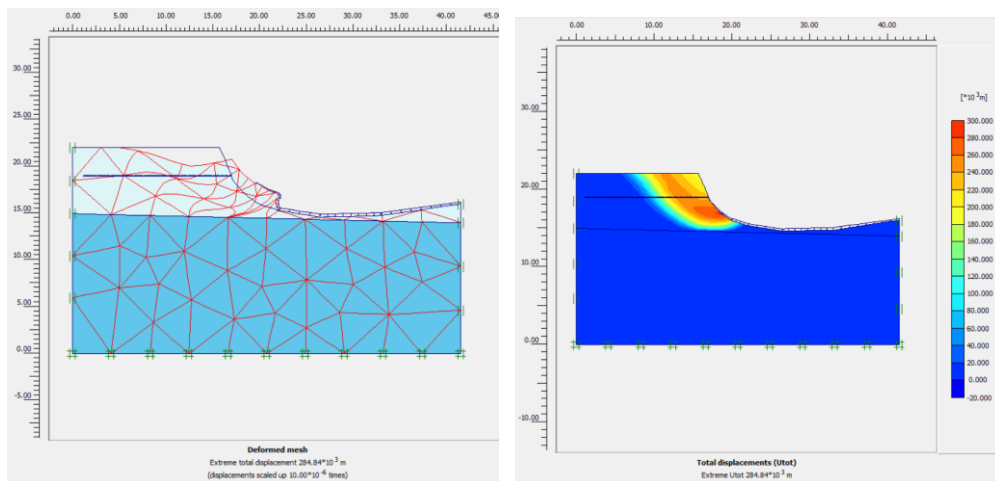
boundary), di mana perpindahan horizontal ditahan tetapi perpindahan vertikal masih diizinkan. Kondisi ini digunakan untuk meminimalkan pengaruh batas model terhadap deformasi lereng dan memastikan distribusi tegangan tanah tetap mendekati kondisi aktual di lapangan. Selain itu, dimensi model dibuat cukup besar agar bidang gelincir yang terbentuk tidak dipengaruhi oleh batas analisis. Data parameter tanah yang digunakan dalam penelitian ini disajikan secara rinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Layer		Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3
Parameter	nama	Lempung kaku	lempung berlanau	Pasir halus padat
N-SPT		12	38	44
Material model	model	mohr coulumb	mohr coulumb	mohr coulumb
Type of material behavior	type	undrained	undrained	drained
Soil unit weight above phreatic level	γ (unsat) (kN/m ³)	14	13,98	18
Soil unit weight below phreatic level	γ (sat) (kN/m ³)	15	16,52	19
Youngs modulus	E'	4412,9925	8825,985	9806,65
	E' (kN/m ²)	45	90	100
Poissons ratio	v	0,3	0,3	0,3
Cohesion	c	55	70	30
Friction angle	Φ (phi) (°)	10	12	33
Dilatancy angle	Ψ (°)	0	0	0
Permeability horizontal	kx	0,0864	0,0864	0,864
Permeability vertical	ky	0,0864	0,0864	0,864

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

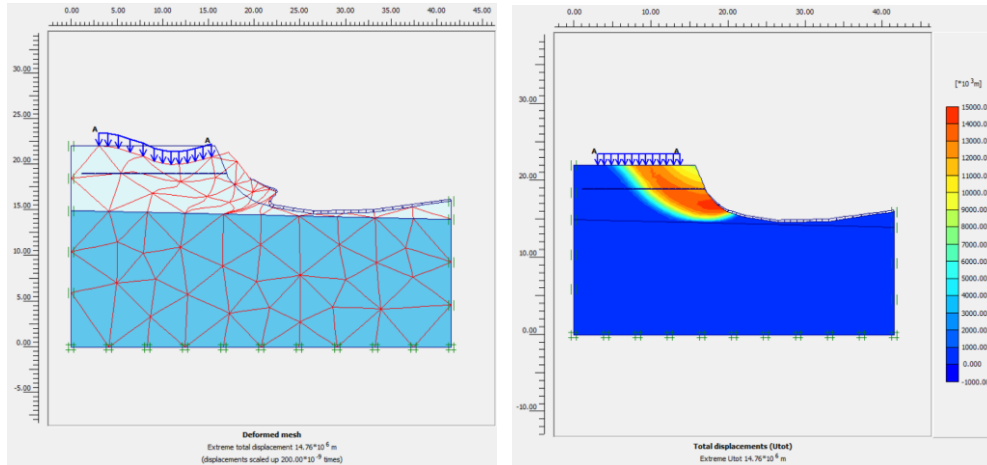
3.1 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting



Gambar 2. Kondisi Eksisting Sebelum Longsor

Berdasarkan hasil analisis pada kondisi eksisting sebelum terjadinya longsor (Gambar 2), terlihat bahwa geometri lereng memiliki kemiringan yang relatif curam dengan distribusi elemen yang menunjukkan potensi bidang gelincir pada bagian atas lereng, pada kondisi ini nilai SF yang dihasilkan sebesar $1,270 < 1,5$ yang mengindikasikan bahwa tanah berada dibawah nilai aman. Pola deformasi yang terbentuk

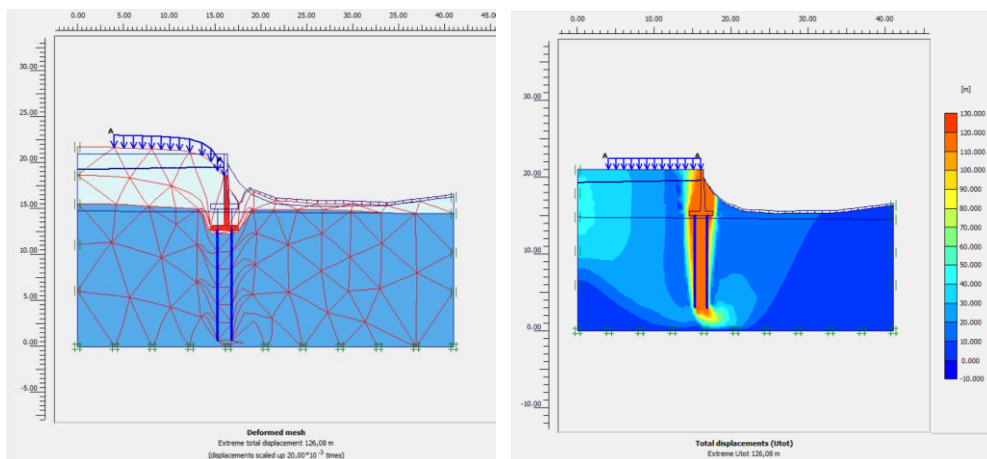
mengindikasikan adanya pergerakan tanah secara bertahap dari bagian puncak menuju kaki lereng. Nilai perpindahan total maksimum yang terjadi menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi mendekati tidak stabil, terutama pada zona kritis yang ditandai dengan konsentrasi deformasi yang cukup tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa tanpa adanya perkuatan, lereng memiliki risiko kegagalan yang signifikan akibat pengaruh berat sendiri tanah dan kondisi geometri lereng yang tidak ideal.



Gambar 3. Kondisi Eksisting Sebelum Longsor dengan Beban

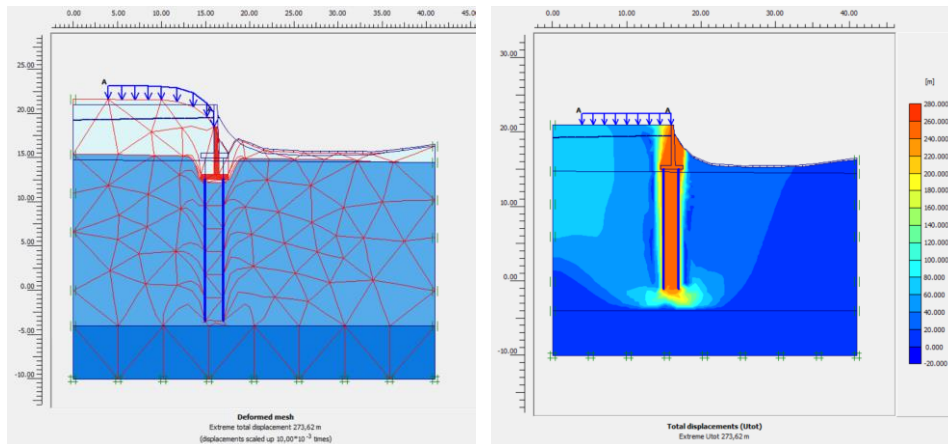
Selanjutnya, pada kondisi eksisting yang diberikan beban tambahan (Gambar 3), terlihat peningkatan deformasi yang lebih signifikan dibandingkan kondisi tanpa beban, pada kondisi ini nilai SF yang dihasilkan sebesar $1,064 < 1,5$ yang mengindikasikan bahwa tanah berada dibawah nilai aman. Distribusi beban yang bekerja di permukaan lereng menyebabkan bertambahnya tegangan geser pada lapisan tanah, sehingga memperbesar potensi terjadinya longsor. Pola bidang gelincir menjadi lebih jelas dan cenderung berkembang lebih dalam ke dalam tubuh lereng. Nilai perpindahan total maksimum yang dihasilkan juga mengalami peningkatan, yang menunjukkan bahwa keberadaan beban eksternal sangat mempengaruhi kestabilan lereng. Kondisi ini memperkuat indikasi bahwa lereng eksisting berada dalam keadaan tidak aman dan memerlukan upaya perkuatan, seperti penggunaan kombinasi dinding penahan tanah (DPT) dan tiang pancang, untuk meningkatkan faktor keamanan dan mengurangi potensi kegagalan lereng.

3.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Kombinasi DPT dan Tiang Pancang



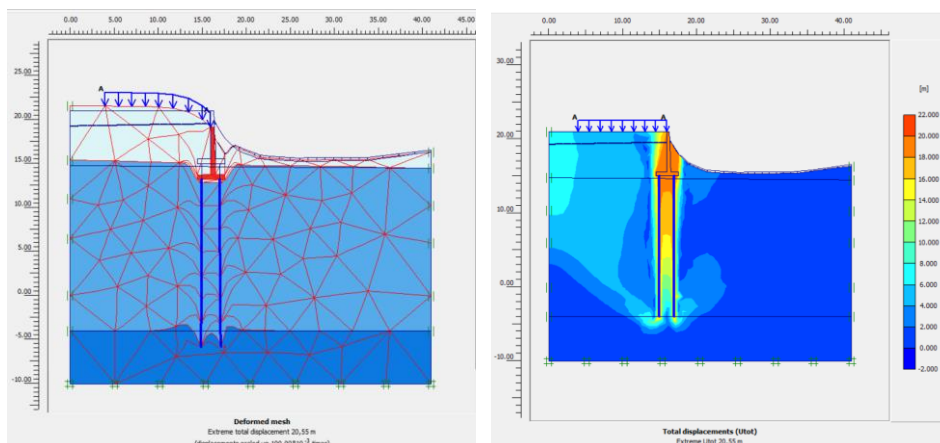
Gambar 4. Perkuatan dengan DPT dan Tiang Pancang Kedalaman 12 Meter

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang telah dilakukan dengan penerapan kombinasi dinding penahan tanah (DPT) dan tiang pancang pada berbagai variasi kedalaman, diperoleh perubahan nilai faktor keamanan (safety factor/SF) yang cukup signifikan. Pada Gambar 4, dengan kedalaman tiang pancang 12 meter, diperoleh nilai SF sebesar 1,540. Nilai ini menunjukkan bahwa lereng telah mengalami peningkatan stabilitas dibandingkan kondisi eksisting, meskipun masih berada pada kategori aman terbatas (marginal stability). Pola deformasi yang terlihat menunjukkan bahwa pergerakan tanah masih terjadi, namun telah berkurang akibat kontribusi perkuatan dari DPT dan tiang pancang dalam menahan gaya lateral tanah.



Gambar 5. Perkuatan dengan DPT dan Tiang Pancang Kedalaman 16 Meter

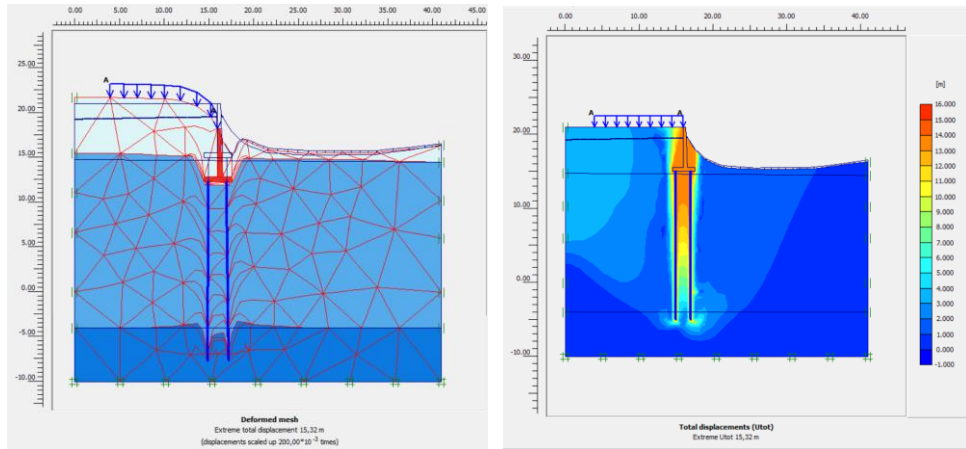
Pada Gambar 5, kedalaman tiang pancang 16 meter menghasilkan nilai SF sebesar 1,124, lebih rendah dibandingkan kedalaman 12 meter sebesar 1,540. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kedalaman tiang tidak selalu meningkatkan stabilitas lereng secara linier. Secara geoteknik, kondisi tersebut diduga terjadi karena ujung tiang masih berada pada lapisan tanah transisi yang belum stabil sehingga interaksi pile-soil belum bekerja optimal dalam menahan gaya lateral tanah. Selain itu, bidang gelincir kemungkinan berkembang lebih dalam dan melewati ujung tiang, sehingga perkuatan belum mampu memotong bidang longsor secara efektif. Akibatnya, kontribusi tiang terhadap peningkatan faktor keamanan masih rendah.



Gambar 6. Perkuatan dengan DPT dan Tiang Pancang Kedalaman 19 Meter

Pada variasi kedalaman 19 meter (Gambar 6), terjadi peningkatan nilai SF yang cukup signifikan menjadi 2,354. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem perkuatan sudah bekerja secara efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng. Tiang pancang pada

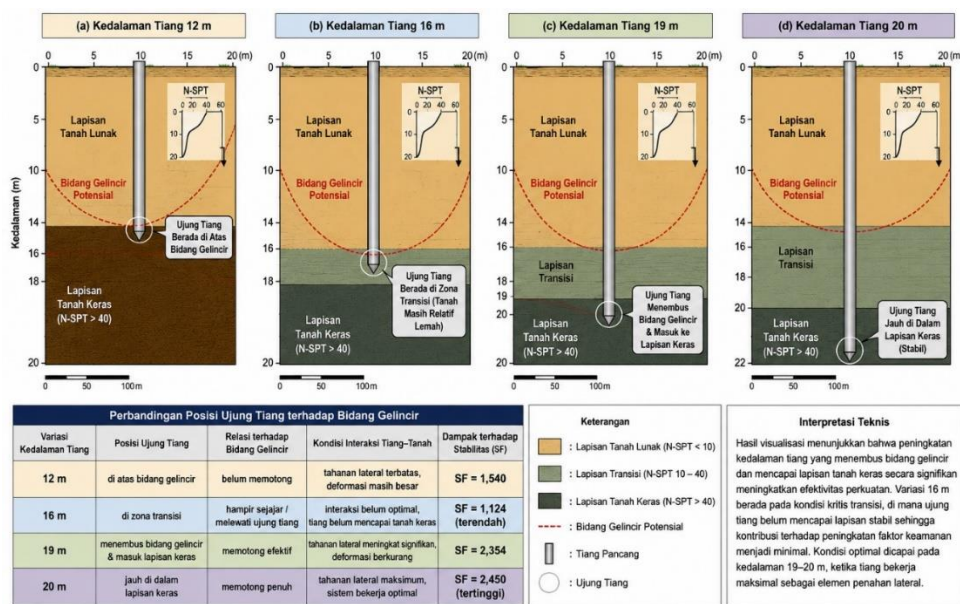
kedalaman ini diduga telah menembus lapisan tanah yang lebih kuat, sehingga mampu berfungsi sebagai elemen penahan yang efektif terhadap pergerakan massa tanah. Pola deformasi yang dihasilkan juga menunjukkan penurunan yang cukup drastis dibandingkan variasi sebelumnya.



Gambar 7. Perkuatan dengan DPT dan Tiang Pancang Kedalaman 20 Meter

Kemudian pada Gambar 7, dengan kedalaman tiang pancang 20 meter, nilai SF kembali meningkat menjadi 2,450 yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh variasi yang dianalisis. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman 20 meter merupakan kondisi yang sangat optimal dalam meningkatkan stabilitas lereng. Perkuatan pada kedalaman ini mampu menahan gaya geser secara maksimal serta mengurangi deformasi tanah secara signifikan, sehingga lereng berada dalam kondisi sangat aman.

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi kedalaman tiang pancang sangat berpengaruh terhadap peningkatan stabilitas lereng. Kedalaman optimum yang diperoleh dari penelitian ini berada pada kisaran 19 hingga 20 meter, di mana nilai faktor keamanan telah memenuhi kriteria desain dan memberikan performa perkuatan yang paling efektif dalam menahan potensi longsor. Visualisasi perbandingan terhadap pengujian ini dapat dilihat dalam Gambar 8 berikut.



Catatan: Profil tanah dan bidang gelincir merupakan hasil analisis numerik (Plaxis 8.6) dan disediakan untuk keperluan visualisasi.

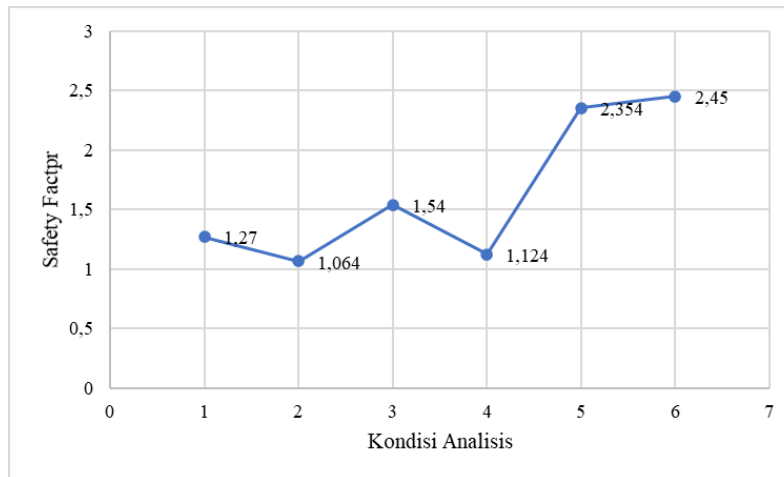
Gambar 8. Visualisasi Perbandingan Posisi Ujung Tiang Terhadap Bidang Gelincir pada Setiap Variasi

3.3 Analisis Pengaruh Variasi Kedalaman Tiang Pancang

Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan Plaxis 8.6 untuk menentukan nilai keamanan lereng disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Safety Factor

No	Kondisi Analisis	Keterangan	Safety Factor
1	Existing sebelum longsor	-	1,270
2	Existing longsor + beban	-	1,064
3	Perkuatan	DPT + Tiang pancang 12 Meter	1,540
4	Perkuatan	DPT + Tiang pancang 16 Meter	1,124
5	Perkuatan	DPT + Tiang pancang 19 Meter	2,354
6	Perkuatan	DPT + Tiang pancang 20 Meter	2,450



Gambar 9. Diagram Nilai Safety Factor

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan, kondisi lereng eksisting sebelum longsor memiliki nilai SF sebesar 1,270, yang menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi tidak aman karena masih berada di bawah batas minimum stabilitas ($SF < 1,5$). Kondisi ini semakin memburuk ketika lereng mengalami longsor dan diberikan beban tambahan, di mana nilai SF menurun menjadi 1,064. Penurunan ini mengindikasikan bahwa keberadaan beban eksternal sangat berpengaruh dalam meningkatkan gaya penggerak, sehingga memperbesar potensi terjadinya kegagalan lereng.

Upaya perkuatan kemudian dilakukan dengan menerapkan kombinasi dinding penahan tanah (DPT) dan tiang pancang dengan variasi kedalaman yang berbeda. Pada kedalaman tiang 12 meter, nilai SF meningkat menjadi 1,540, yang menunjukkan adanya peningkatan stabilitas hingga mencapai kondisi aman terbatas. Namun demikian, pada variasi kedalaman 16 meter, nilai SF justru mengalami penurunan menjadi 1,124. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman tersebut belum efektif dalam menahan bidang gelincir, kemungkinan karena ujung tiang belum mencapai lapisan tanah yang lebih stabil sehingga kontribusi perkuatan masih belum optimal.

Selanjutnya, peningkatan yang sangat signifikan terjadi pada kedalaman tiang pancang 19 meter dengan nilai SF sebesar 2,354. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem perkuatan telah bekerja secara efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng. Pada kedalaman ini, tiang pancang diperkirakan telah menembus lapisan tanah keras sehingga mampu memberikan tahanan lateral yang maksimal terhadap pergerakan tanah. Kondisi ini semakin membaik pada kedalaman 20 meter, di mana nilai SF meningkat menjadi 2,450, yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh variasi yang dianalisis. Hal ini menandakan bahwa kedalaman tersebut merupakan kondisi yang sangat optimal dalam meningkatkan kestabilan lereng.

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi kedalaman tiang pancang memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap peningkatan nilai faktor keamanan lereng. Semakin dalam tiang pancang yang digunakan, maka kecenderungan nilai SF akan semakin meningkat, terutama ketika tiang telah mencapai lapisan tanah yang lebih kompeten. Dengan demikian, kedalaman tiang pancang menjadi parameter penting dalam desain perkuatan lereng, di mana kedalaman optimum pada penelitian ini berada pada kisaran 19 hingga 20 meter yang mampu memberikan kondisi lereng yang sangat aman.

3.4 Penentuan Kedalaman Tiang Optimum

Penentuan kedalaman tiang optimum dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil analisis nilai faktor keamanan (safety factor/SF) pada setiap variasi kedalaman tiang pancang yang telah dimodelkan. Parameter utama yang digunakan dalam menentukan kedalaman optimum adalah kemampuan sistem perkuatan dalam meningkatkan stabilitas lereng hingga memenuhi kriteria keamanan, yaitu nilai $SF \geq 1,5$, serta efisiensi dari segi teknis.

Berdasarkan hasil analisis, variasi kedalaman tiang pancang 12 meter menghasilkan nilai SF sebesar 1,540, yang telah memenuhi kriteria minimum stabilitas, namun masih berada pada kategori aman terbatas (marginal). Sementara itu, pada kedalaman 16 meter, nilai SF justru mengalami penurunan menjadi 1,124, yang menunjukkan bahwa kedalaman tersebut tidak efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng. Hal ini mengindikasikan bahwa ujung tiang belum mencapai lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan gaya geser yang bekerja.

Pada kedalaman 19 meter, nilai SF meningkat secara signifikan menjadi 2,354, yang menunjukkan bahwa sistem perkuatan telah bekerja secara optimal dalam meningkatkan kestabilan lereng. Kondisi ini diperkuat dengan asumsi bahwa tiang pancang telah menembus lapisan tanah yang lebih keras dan stabil, sehingga mampu memberikan tahanan lateral yang besar terhadap pergerakan massa tanah. Selanjutnya, pada kedalaman 20 meter, nilai SF kembali meningkat menjadi 2,450. Meskipun terjadi peningkatan, selisih nilai SF antara kedalaman 19 meter dan 20 meter relatif kecil jika dibandingkan dengan peningkatan yang terjadi dari kedalaman sebelumnya.

Dengan mempertimbangkan aspek teknis dan efisiensi, kedalaman tiang pancang 19 meter dapat ditetapkan sebagai kedalaman optimum dalam penelitian ini. Hal ini dikarenakan pada kedalaman tersebut telah diperoleh nilai SF yang tinggi dan memenuhi kriteria keamanan dengan peningkatan yang signifikan, tanpa memerlukan tambahan kedalaman yang lebih besar yang berpotensi meningkatkan biaya konstruksi. Oleh karena itu, kedalaman 19 meter dianggap sebagai solusi yang paling efektif dan efisien dalam perkuatan lereng menggunakan kombinasi dinding penahan tanah (DPT) dan tiang pancang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan Plaxis 8.6, kondisi lereng eksisting menunjukkan nilai faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) sebesar 1,270 dan menurun menjadi 1,064 setelah diberikan beban tambahan, sehingga mengindikasikan bahwa lereng berada dalam kondisi tidak stabil dan berpotensi mengalami longsor. Penerapan kombinasi dinding penahan tanah (DPT) dan tiang pancang terbukti mampu meningkatkan stabilitas lereng melalui peningkatan nilai faktor keamanan pada setiap variasi kedalaman tiang yang dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kedalaman tiang pancang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas sistem perkuatan lereng. Pada kedalaman 12 meter diperoleh nilai SF sebesar 1,540,

sedangkan pada kedalaman 16 meter nilai SF menurun menjadi 1,124 akibat ujung tiang masih berada pada zona transisi tanah sehingga interaksi pile-soil dan pemotongan bidang gelincir belum bekerja secara optimal. Peningkatan stabilitas yang signifikan terjadi pada kedalaman 19 meter dan 20 meter dengan nilai SF masing-masing sebesar 2,354 dan 2,450, karena tiang telah menembus lapisan tanah keras dan mampu memberikan tahanan lateral yang lebih efektif terhadap pergerakan massa tanah.

Berdasarkan aspek teknis dan efisiensi perkuatan, kedalaman tiang pancang 19 meter ditetapkan sebagai kondisi optimum karena telah mampu meningkatkan stabilitas lereng secara signifikan dengan nilai faktor keamanan yang memenuhi kriteria desain, sementara penambahan kedalaman hingga 20 meter hanya memberikan peningkatan nilai SF yang relatif kecil. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa posisi ujung tiang terhadap bidang gelincir dan lapisan tanah keras merupakan faktor utama dalam menentukan keberhasilan perkuatan lereng menggunakan kombinasi DPT dan tiang pancang.

REFERENCES

- Adams, B. M. (2021). Slope Stability Acceptance Criteria for Opencast Mine Design. *Geotechnical Engineer, Golder Associates (NZ) Limited*.
- Adnan, A. D. H. (2026). Aplikasi Metode Numerik dalam Analisis Stabilitas Lereng pada Proyek Konstruksi Jalan. *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 03, 341–346.
- Alfana, S., & Assafira, R. R. A. (2023). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Perhitungan Manual dan Asdip Retain V.4.7.6*. Universitas Semarang.
- Destiyani, O., Haza, Z. F., & Darmawan, A. (2022). Tinjauan Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa dengan Permodelan Numeris (Studi Kasus Jalan Plono Kebun Teh Nglinggo Kabupaten Kulonprogo Yogyakarta). *Civitech*. [https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive, IV\(1\), 1–10](https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive, IV(1), 1–10).
- Gazali, A., Sidiq, A., & Surya, A. (2020). Analisis Stabilitas Lereng Dan Penanggulangan Longsoran Menggunakan Program Plaxis V.8.2. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31602/jk.v3i1.3593>
- Hutahaean, G. C. G., Fathani, T. F., & Ismanti, S. (2025). Analisis Kinerja Dinding Penahan Tanah dan Fondasi Tiang pada Perkuatan Lereng di Kawasan Wisata Lombok. *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur*.
- Iqbal, P., Muslim, D., Permana, H., & Syahbana, A. J. (2021). *Soil characteristics , revised soil classification , and soil geochemistry related to soil suitability of West Lampung tropical volcanic residual soil , Sumatra , Indonesia*. 72(3), 1–10.
- Islamey, M. N. F. (2022). *Analisis Stabilitas Tanah dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Program Plaxis 8.2*. Universitas Islam Indonesia.
- Ko, F., Abbey, S. J., Booth, C. A., & Nukah, P. D. (2025). Current understanding and uncertainties associated with climate change and the impact on slope stability : A systematic literature review. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(January), 563–595. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2025.01.011>
- Lembang, L. D. (2021). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750)*. Universitas Islam Indonesia.
- Louhenapessy, W. G. (2022). Strategi Baru untuk Analisis Stabilitas Lereng Batuan On The Method Of Rock Slope Stability Analysis. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas – Vol. 6, No. 1, Juli 2022*, 6(1), 27–38.

- Muhammad, A., Sadiq, A., & Umar, B. (2025). Evaluasi Stabilitas Lereng pada Area Longsor di Ruas Jalan Tator-Enrekang Km.242+400. *Barakka, Jurnal Bangunan Konstruksi*, 03(2), 187–193.
- Rachman, M. (2024). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Keseimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga*. Universitas Islam Indonesia.
- Ramzan, M., Cui, P., Ualiyeva, D., Ahmed, N., & Aslam, M. (2026). Optimizing landslide susceptibility mapping under climatic variability: A hybrid approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2025.07.012>
- Rizki, M. Y. (2023). Bendungan Rotiklot Sebagai Infrastruktur Pengendali Air Bagi Masyarakat. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 99(1), 1–11. <https://doi.org/10.11591/ijere.v99i1.paperID>
- Septiani, D. A. (2026). Gambaran Tingkat Kesiapsiagaan Masyarakat Menghadapi Bencana Tanah Longsor di Dukuh Secang Sambirejo Berdasarkan laporan Disasters in Numbers oleh Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED , 2023), tercatat 399 kejadian bencana alam di . *Calory Journal: Medical Laboratory Journal Volume 4, Nomor 1 Maret 2026*, 4, 1–29.
- Setyobudi, R. (2025). Scripta Technica : Journal of Engineering and Applied Technology Analisis Stabilitas Lereng Berbasis Model Matematis untuk Perencanaan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan. *Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology Vol 1 No 2 Desember 2025*, Hal. 48-57, 1(2).
- Silaban, M. E., & Pratama, M. F. D. (2025). The Stability Analysis of Embankment Soil Slopes in the International School Project. *Jurnal Pensil : Pendidikan Teknik Sipil 14 (2025) 89 - 106*, 14, 89–106. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v14i1.48584>
- Siregar, C. A. (2023). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Program Slope/W dan Plaxis*. Yayasan Pendidikan Keunagan dan Perbankan Bandung.
- Sundari, W., Krisnasiwi, I., & Banunaek, F. S. (2024). Analisa Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius Kecamatan Amarasi Barat Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL Volume 12, No. 02, Desember Tahun 2024*, 12(02), 1–10.
- Sutanto, H., Alkas, J., & Sutanto, F. (2025). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor pada Desa Gurimbang Kabupaten Berau Kalimantan Timur. *BASIN JURNAL TEKNIK GEOLOGI Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 8(2). <https://doi.org/10.30872/jtgeo.v8i1.22975>
- Sutejo, D. P., & Hartoyo, Y. (2023). Analisis Kestabilan Lereng Lowwall Pada Penambangan Batugamping di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII Tahun 2023 (ReTII)*, 2023(November), 12–18.