

Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Slope/W* Pada Area Gudang Semen Pongkor

Paula Valerya Dorothy^[1], Asriwiyanti Desiani^[2]*, Cindarto Lie^[3]

^[1] Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 40164, Indonesia

^[2] Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 40164, Indonesia

^[3] PT CND Geoteknika, Bandung, 40513, Indonesia

Email: asriwiyanti.desiani@eng.maranatha.edu*

*) Corresponding Author

Received: 09 July 2025; Revised: 05 Januari 2026; Accepted: 09 February 2026

How to cited this article:

Dorothy, P.V., Desiani, A., Lie C. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Slope/W* Pada Area Gudang Semen Pongkor. Jurnal Teknik Sipil, 22(1), 102–114. <https://doi.org/10.28932/jts.v22i1.12515>

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng di sekitar area Gudang Semen Pongkor, Kabupaten Bogor. Inspeksi awal menunjukkan adanya deformasi struktural signifikan pada bangunan gudang yang mengindikasikan potensi ketidakstabilan lereng. Penyelidikan geoteknik dilaksanakan melalui boring inti sedalam maksimum 30 meter, uji *Standard Penetration Test* (SPT), serta pengujian laboratorium terhadap sampel tanah tak terganggu. Data hasil penyelidikan digunakan untuk mengevaluasi faktor keamanan (FK) lereng dengan cara permodelan menggunakan perangkat lunak *GeoStudio SLOPE/W*. Hasil menunjukkan bahwa kondisi eksisting memiliki Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,23. (FK < 1,5). Oleh karena itu, dimodelkan kembali dengan tambahan *soldier pile* diameter 60 cm dan panjang 35 m dan *soil nailing* diameter 20 cm dan panjang 35 cm. Setelah dilakukan pemodelan perkuatan berupa *soldier pile* dan *soil nailing*, FK meningkat menjadi 1,50. Peningkatan nilai yang dihasilkan berada di dalam *range* aman (FK ≥ 1,5). Hasil ini menegaskan pentingnya dilakukan pengawasan serta pemeliharaan berkelanjutan melalui pemasangan instrumentasi seperti inclinometer dan piezometer guna memantau deformasi lereng dan mencegah potensi longsoran.

Kata kunci: Faktor Keamanan, Geoteknik, Lereng, *SLOPE/W*, Stabilitas Lereng.

ABSTRACT. *Slope Stability Analysis Using Slope/W In The Cement Pongkor Warehouse Area.* This study was conducted to analyze the slope stability around the Semen Pongkor Warehouse area in Bogor Regency. Initial inspections revealed significant structural deformation in the warehouse building, indicating potential slope instability. Geotechnical investigations were carried out through core drilling up to a maximum depth of 30 meters, Standard Penetration Test (SPT), and laboratory testing of undisturbed soil samples. The data obtained from these investigations were used to evaluate the slope's factor of safety (FoS) through modeling with *GeoStudio SLOPE/W* software. The results showed that the existing condition had a Factor of Safety (FoS) of 1.23 (FoS < 1.5). Therefore, a new model was developed with the addition of soldier piles (60 cm diameter, 35 m length) and soil nailing (20 cm diameter, 35 m length). After implementing these reinforcement measures, the FoS increased to 1.503, which fell within the safe range (FoS ≥ 1.5). These findings highlight the importance of continuous monitoring and maintenance by installing instruments such as inclinometers and piezometers to monitor slope deformation and prevent potential landslides.

Keywords: Factor of Safety, Geotechnics, Slope, *SLOPE/W*, Slope Stability.

1. PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang kerap terjadi di berbagai belahan dunia, termasuk di Indonesia yang memiliki morfologi wilayah kompleks dan curah hujan tinggi. Fenomena ini melibatkan pergerakan massa tanah atau batuan menuruni lereng akibat ketidakstabilan material penyusunnya. Dampaknya sangat signifikan, mulai dari kerusakan infrastruktur penting seperti jalan, jembatan, dan bangunan, hingga korban jiwa serta kerugian ekonomi yang besar. Suryajaya dan Suhendra (2019) menyatakan bahwa kenaikan muka air tanah memainkan peran penting dalam mengurangi kuat geser tanah, sehingga memicu potensi terjadinya longsor.

Analisis stabilitas lereng merupakan langkah fundamental untuk mengevaluasi keamanan lereng, baik pada lereng alami maupun buatan. Parameter utama yang digunakan dalam analisis ini adalah Faktor Keamanan (FK), yaitu perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak pada bidang gelincir potensial. Lereng dinyatakan stabil apabila nilai FK memenuhi kriteria minimum yang ditetapkan. Berbagai metode analisis telah dikembangkan untuk menghitung FK, di antaranya metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*), yang hingga saat ini masih banyak digunakan dalam praktik rekayasa geoteknik karena kesederhanaan dan keandalannya. Sebagai contoh, penelitian oleh Setiawan dkk., (2018) menunjukkan bahwa faktor keamanan pada lereng di Labuan Bajo yang tidak dipertimbangkan dengan baik dapat mengarah pada kejadian longsor yang fatal.

Namun demikian, analisis stabilitas lereng tidak lepas dari tantangan teknis akibat adanya ketidakpastian dalam parameter input geoteknik (Al Irsyad dkk., 2023). Variabilitas sifat tanah secara spasial maupun temporal, keterbatasan jumlah titik investigasi lapangan, serta potensi deviasi saat pengambilan sampel dan pengujian laboratorium dapat menyebabkan perbedaan antara parameter aktual di lapangan dengan yang diasumsikan dalam model. Penelitian oleh Cahyono dkk. (2023) menegaskan bahwa parameter tanah yang digunakan dalam model analisis harus diukur secara akurat dan harus mempertimbangkan berbagai kondisi lapangan untuk memperoleh estimasi yang lebih akurat tentang faktor keamanan lereng. Ketidakpastian ini berimplikasi langsung terhadap akurasi estimasi faktor keamanan, yang jika tidak ditangani secara cermat dapat mengarah pada desain perkuatan lereng yang tidak efisien atau bahkan gagal.

Stabilitas lereng menjadi sangat penting ketika berkaitan dengan keberlangsungan fasilitas industri yang berada di wilayah berkontur atau berbukit. Salah satu kasus terjadi di area Gudang Semen Pongkor di Kabupaten Bogor. Berdasarkan hasil inspeksi visual dan pengamatan teknis, ditemukan adanya retakan tanah serta deformasi vertikal pada struktur bangunan gudang, termasuk batang penguat diagonal yang bengkok dan kebocoran atap. Temuan ini mengindikasikan adanya potensi ketidakstabilan lereng yang perlu segera dianalisis dan ditangani secara teknis

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada analisis stabilitas lereng atau evaluasi perkuatan secara terpisah. Namun, kajian yang secara spesifik mengevaluasi efektivitas kombinasi sistem perkuatan berupa *soldier pile* dan *soil nailing* melalui pendekatan analisis numerik masih relatif terbatas, khususnya pada kondisi tanah lempung plastis jenuh. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan dalam mengevaluasi peningkatan Faktor Keamanan lereng akibat penerapan kombinasi perkuatan tersebut berdasarkan hasil pemodelan numerik.

Dalam penelitian ini, analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak GeoStudio *SLOPE/W* dengan metode *Morgenstern-Price*. Metode ini dipilih karena mampu mempertimbangkan keseimbangan gaya dan momen secara simultan, serta memungkinkan penggunaan fungsi distribusi gaya antarbongkah yang lebih realistis dibandingkan metode lain seperti Bishop atau Janbu. Dengan kemampuan tersebut, metode *Morgenstern-Price* dinilai lebih representatif untuk menganalisis lereng dengan kondisi geometri kompleks dan variasi lapisan tanah, seperti yang dijumpai pada area penelitian ini.

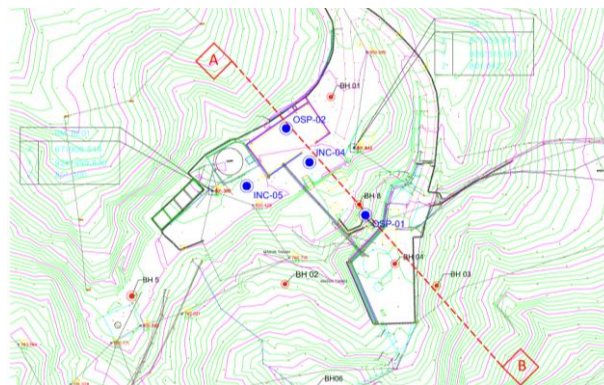
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi stabilitas lereng eksisting di area Gudang Semen Pongkor serta mengevaluasi efektivitas sistem perkuatan berupa *soldier pile* dan *soil nailing* dalam meningkatkan nilai Faktor Keamanan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian stabilitas lereng dan menjadi referensi teknis dalam perencanaan perkuatan lereng pada kondisi tanah serupa.

Penelitian-penelitian terdahulu terkait stabilitas lereng umumnya telah membahas penerapan sistem perkuatan seperti *soil nailing*, maupun *soldier pile* secara terpisah. Beberapa studi melaporkan bahwa *soil nailing* efektif meningkatkan stabilitas lereng pada kondisi tanah tertentu, sementara *soldier pile* banyak digunakan sebagai elemen penahan lateral pada lereng galian atau infrastruktur jalan. Namun, kajian yang mengevaluasi penerapan kombinasi kedua sistem perkuatan tersebut dalam satu model analisis numerik, khususnya pada lereng dengan tanah lempung plastis jenuh dan kondisi hidrologi yang kompleks, masih terbatas.

Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada lereng alami atau lereng jalan, sehingga belum secara memadai merepresentasikan kondisi lereng di sekitar fasilitas industri aktif yang memiliki keterbatasan ruang serta tuntutan keamanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mengevaluasi efektivitas kombinasi *soldier pile* dan *soil nailing* dalam meningkatkan stabilitas lereng melalui pendekatan analisis numerik yang komprehensif. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi lereng eksisting dan mengevaluasi peningkatan Faktor Keamanan akibat penerapan kombinasi sistem perkuatan tersebut menggunakan perangkat lunak GeoStudio *SLOPE/W*.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus yang difokuskan pada analisis stabilitas lereng di area Gedung Semen Pongkor, yang terletak di Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Lokasi ini dipilih karena telah teridentifikasi adanya indikasi kerusakan struktural dan potensi pergerakan tanah. Metodologi penelitian disusun secara sistematis, meliputi penyelidikan geoteknik lapangan, pengujian laboratorium, serta analisis numerik stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak GeoStudio *SLOPE/W*. sehingga diperlukan kajian mendalam untuk mengevaluasi kestabilan lereng serta merumuskan solusi teknis penguatan.



Gambar 1. Sketsa Lokasi Pengambilan Sampel

Penelitian diawali dengan penyelidikan geoteknik di lapangan berupa pemboran inti pada beberapa titik representatif, di area lereng hingga kedalaman maksimum 30 m. Pada setiap titik bor dilakukan pengambilan sampel tanah terganggu dan tak terganggu, serta pelaksanaan uji *Standard Penetration Test* (SPT) untuk memperoleh gambaran kepadatan dan konsistensi tanah. Selain itu, dilakukan pemasangan piezometer untuk memantau kondisi muka air tanah sebagai data pendukung dalam penentuan kondisi hidrologi lereng.



(a) Dokumentasi pada Saat Uji SPT dan Pengambilan Sampel Tanah



(b) Dokumentasi pada Saat Uji Sondir (CPT)



(c) Instalasi Piezometer

Gambar 2. Dokumentasi Pengumpulan Data Lapangan

Data stratigrafi tanah hasil pemboran digunakan untuk menyusun model geoteknik lereng. Berdasarkan hasil interpretasi, lapisan tanah secara umum diklasifikasikan menjadi lapisan lempung atas (*upper clay*), lempung bawah (*lower clay*), dan pasir (*sand*). *Upper clay* merupakan lapisan lempung berplastisitas sedang hingga tinggi yang berada pada kedalaman dangkal dan memiliki tingkat kejenuhan tinggi. *Lower clay* berada pada kedalaman menengah dengan konsistensi lebih kaku, sedangkan lapisan pasir berada pada bagian bawah lereng dan berfungsi sebagai lapisan dasar. Berikut ringkasan hasil uji lapisan tanah.

Tabel 1. Parameter Tanah yang Digunakan untuk Analisa Stabilitas Lereng

LAPISAN	BERAT ISI (kN/m ³)	KOHESI kPa	ϕ (°)
<i>Upper Clay</i>	16	10	10
<i>Lower Clay</i>	17	10	15
Tanah dasar	18	100	15

Sampel-sampel tanah yang telah diambil kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan serangkaian pengujian sifat fisik dan mekanik tanah. Pengujian laboratorium meliputi penentuan berat isi tanah (γ), kadar air (w), dan berat jenis tanah (G_s), yang dilakukan sesuai standar ASTM D7263, D2216, dan D854 (Froude dan Petley, 2018). Selain itu, dilakukan analisis distribusi ukuran butir melalui metode saringan dan hidrometer, serta pengujian geser langsung (*direct shear test*) untuk memperoleh parameter kuat geser berupa nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Tabel 2. Acuan Pengujian

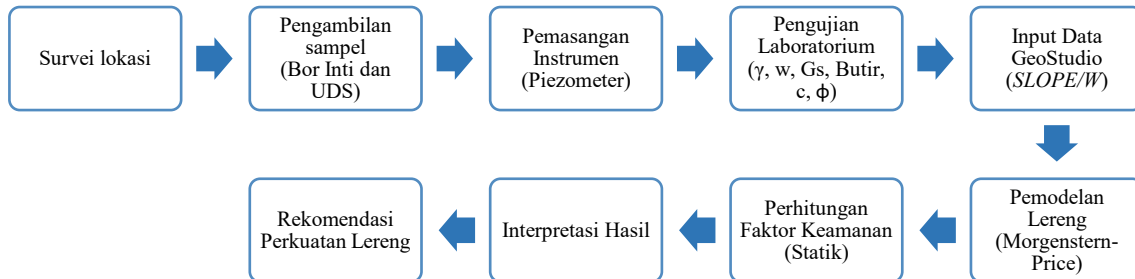
STANDAR ACUAN	JENIS PENGUJIAN
ASTM D7263	Berat Isi
ASTM D2216	Kadar Air
ASTM D854	Berat Jenis
ASTM D4318	<i>Atterberg limits</i>
ASTM D6913	Analisis Butiran
ASTM D7928	
ASTM D2850	Mekanik Tanah
ASTM D2435	

Parameter tanah hasil pengujian laboratorium kemudian diinterpretasikan untuk mendapatkan nilai parameter desain yang representatif bagi setiap lapisan tanah. Nilai parameter desain ini mempertimbangkan variasi kedalaman, kondisi kejenuhan, serta klasifikasi tanah, dan digunakan sebagai masukan dalam pemodelan numerik stabilitas lereng.

Tahap analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak GeoStudio 2024 modul *SLOPE/W*, yang memungkinkan analisis kestabilan lereng berdasarkan pendekatan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) (Singh dkk., 2025). Dalam penelitian ini digunakan metode *Morgenstern-Price* untuk menghitung nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*), metode ini dipilih karena mampu memberikan hasil yang lebih akurat untuk kondisi lereng dengan geometri kompleks dan variasi lapisan tanah, dengan mempertimbangkan variasi geometri lereng aktual, parameter tanah hasil pengujian, dan kondisi muka air tanah. Pemodelan dilakukan untuk kondisi statik maupun seismik (Shah dkk., 2023). Nilai $FK \geq 1$ menunjukkan lereng dalam kondisi aman, sedangkan $FK < 1$ menunjukkan potensi longsor (Leal Sousa dkk., 2021).

Parameter mekanik elemen perkuatan ditentukan berdasarkan asumsi material beton bertulang dan karakteristik interaksi tanah–struktur yang umum digunakan dalam analisis numerik. Pemodelan perkuatan bertujuan untuk mengevaluasi peningkatan nilai Faktor Keamanan lereng akibat kontribusi sistem perkuatan terhadap gaya penahan.

Data instrumentasi berupa piezometer tidak digunakan sebagai validasi kuantitatif dalam penelitian ini karena keterbatasan ketersediaan data monitoring. Oleh karena itu, hasil analisis numerik difokuskan pada evaluasi perbandingan nilai Faktor Keamanan antara kondisi eksisting dan kondisi setelah perkuatan, serta dibahas dalam konteks keterbatasan penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan terhadap sampel tanah tak terganggu (UDS) dan terganggu (DS) yang diperoleh dari empat titik bor di lokasi Gedung Semen Pongkor, dengan kedalaman hingga 30 meter. Pengujian bertujuan untuk memperoleh parameter fisik dan mekanik tanah sebagai dasar dalam analisis stabilitas lereng dan penentuan parameter desain. Jenis pengujian meliputi pengujian kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas-batas Atterberg, distribusi ukuran butir, serta uji geser langsung.

Parameter-parameter utama yang diuji mencakup: kadar air (w), berat isi tanah basah (γ), berat jenis tanah (G_s), batas-batas Atterberg (*liquid limit*, *plastic limit*), kohesi (c), sudut gesek dalam (ϕ), serta indeks pemampatan (C_c). Nilai-nilai ini menunjukkan variasi sifat tanah di lokasi penyelidikan yang umumnya terdiri dari lempung plastis menengah hingga tinggi (CH, CL, dan MH), dengan kadar air antara 24,59% hingga 43,98%, berat isi tanah berkisar antara 16,80 hingga 19,02 kN/m³, dan berat jenis tanah antara 2,65 hingga 2,81.

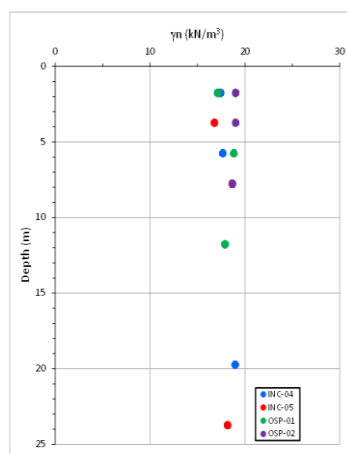
Distribusi ukuran butiran menunjukkan dominasi fraksi lempung dan lanau, serta kandungan pasir dan kerikil yang rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh klasifikasi USCS sebagai CH (*Clay with High Plasticity*), CL (*Low Plasticity Clay*), dan MH (*Inorganic Silt*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah di area Gudang Semen Pongkor didominasi oleh lempung plastisitas sedang hingga tinggi yang diklasifikasikan sebagai CH, CL, dan MH berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS). Kadar air tanah berada pada rentang 24,59% hingga 43,98% dengan nilai yang relatif mendekati batas cair, khususnya pada lapisan dangkal, yang menunjukkan kondisi tanah dalam keadaan plastis hingga jenuh. Berat isi tanah berkisar antara

16,80 hingga 19,02 kN/m³, dengan variasi yang dipengaruhi oleh kedalaman dan tingkat konsolidasi tanah.

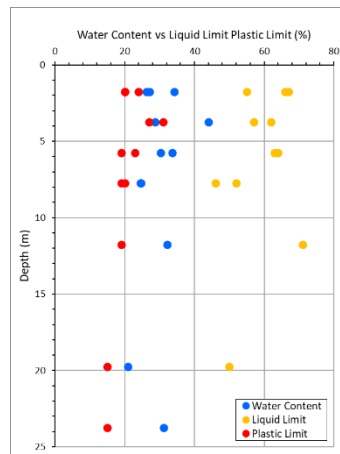
Analisis distribusi ukuran butir menunjukkan dominasi fraksi lempung dan lanau, dengan kandungan pasir dan kerikil yang relatif kecil. Kondisi ini berimplikasi pada rendahnya permeabilitas tanah serta tingginya sensitivitas terhadap perubahan kadar air. Nilai indeks pemampatan (C_c) berada pada rentang 0,72 hingga 1,09, yang mengindikasikan potensi deformasi vertikal yang cukup besar, terutama pada lapisan lempung jenuh.

Parameter kuat geser tanah hasil uji geser langsung menunjukkan nilai kohesi (c) antara 10,2 hingga 51,3 kPa dan sudut gesek dalam (ϕ) antara 20,2° hingga 49,2°. Nilai kohesi yang relatif tinggi umumnya ditemukan pada lapisan lempung plastis, sedangkan nilai sudut gesek dalam yang lebih besar dijumpai pada lapisan yang lebih dalam dengan tingkat kepadatan yang lebih baik. Parameter-parameter ini kemudian diinterpretasikan sebagai parameter desain dan digunakan dalam pemodelan stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak *SLOPE/W*.

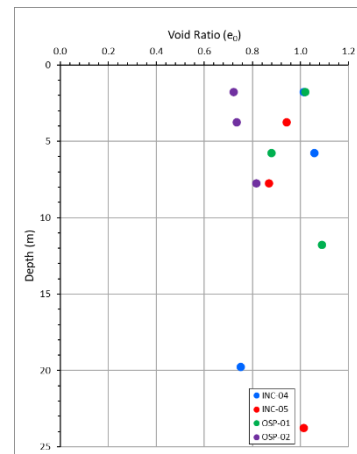
Grafik hubungan parameter tanah terhadap kedalaman yang ditunjukkan pada Gambar 4a hingga 4f memberikan gambaran variasi karakteristik tanah secara vertikal. Lapisan tanah bagian atas cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih lemah dibandingkan lapisan bawah, sehingga berpotensi menjadi bidang gelincir awal pada kondisi lereng eksisting.



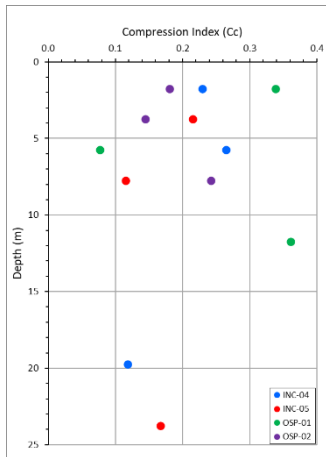
(a) Perbandingan Berat Isi dengan Kedalaman



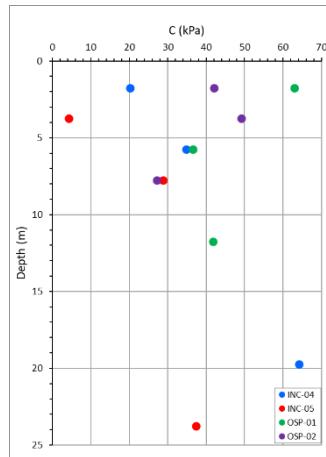
(b) Perbandingan Kadar Air dan Batas Cair Dengan Kedalaman



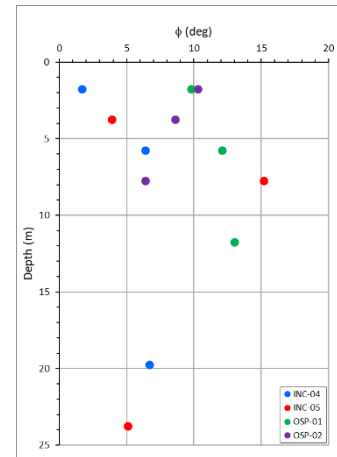
(c) Perbandingan Angka Pori dengan Kedalaman



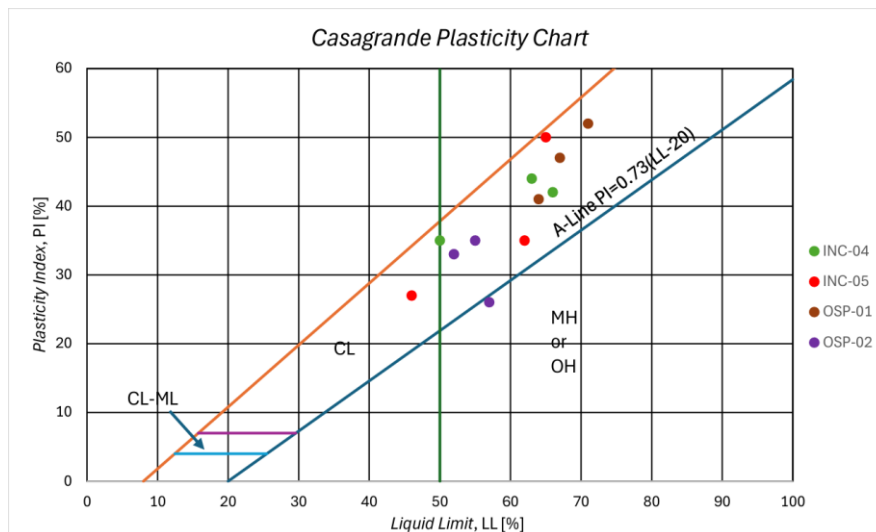
(d) Perbandingan Indeks Pemampatan (C_c) dengan Kedalaman



(e) Perbandingan Kohesi dengan Kedalaman



(f) Perbandingan Sudut Geser Dalam dengan Kedalaman

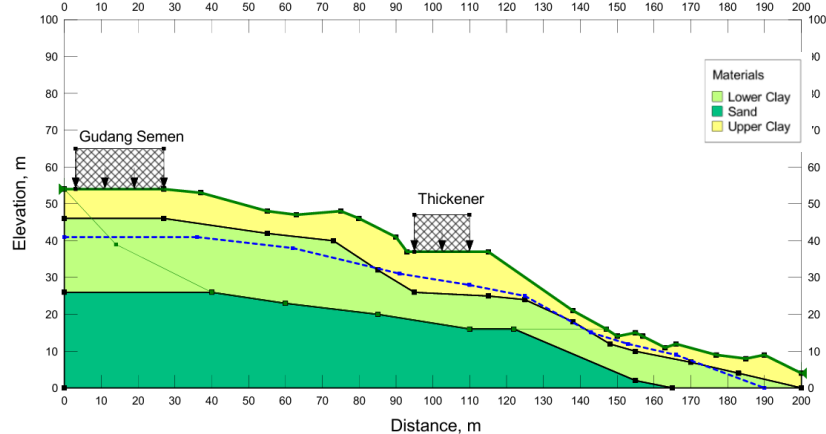


(f) Kurva Gradasi Sampel

Gambar 4. Grafik Parameter Tanah

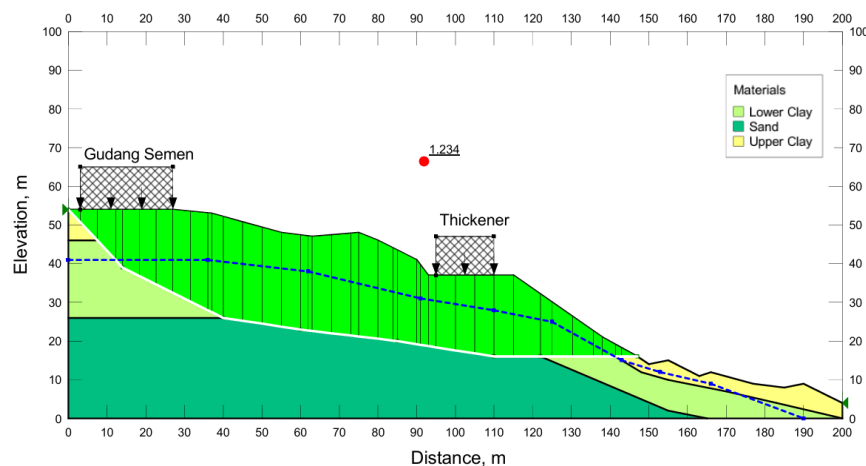
Temuan ini mengindikasikan bahwa lereng memiliki komposisi stratigrafi yang heterogen, dengan lapisan atas yang lemah secara geser dan lapisan bawah yang relatif lebih stabil. Kombinasi ini menjadi tantangan dalam desain perkuatan lereng, karena ketidakstabilan lokal dapat menjalar ke kedalaman yang lebih besar.

Analisa Stabilitas Lereng Gedung Semen



Gambar 5. Model Geoteknik Lereng Gudang Semen

Berdasarkan hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian laboratorium, disusun model geoteknik lereng Gudang Semen Pongkor yang merepresentasikan kondisi stratigrafi dan geometri lereng aktual. Model terdiri dari beberapa lapisan tanah, yaitu *upper clay* pada bagian atas, *lower clay* pada bagian tengah, dan lapisan pasir pada bagian bawah lereng. Parameter tanah yang digunakan dalam analisis merupakan parameter desain hasil interpretasi data laboratorium yang disesuaikan dengan kondisi lapangan.

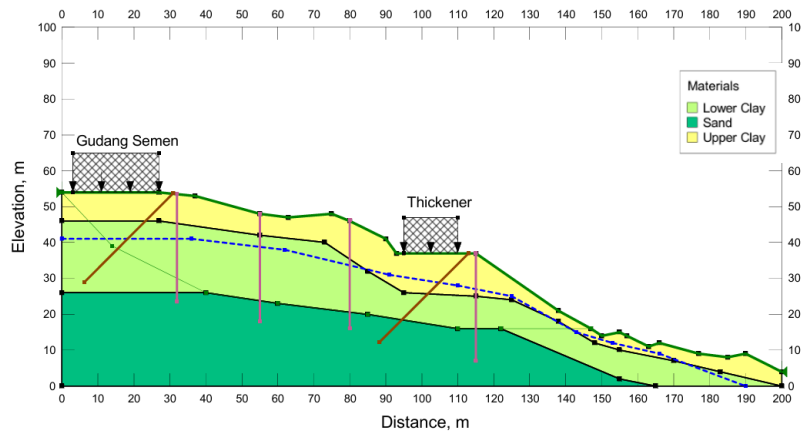


Gambar 6. Hasil Analisis Lereng Gudang Semen

Gambar 6 memperlihatkan hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting menunjukkan nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,23. Nilai ini berada di bawah kriteria keamanan yang direkomendasikan untuk kondisi jangka panjang, sehingga lereng dikategorikan dalam kondisi marginal hingga tidak stabil. Mekanisme kelongsoran yang terbentuk menunjukkan bidang gelincir yang berkembang pada lapisan *upper clay* yang memiliki plastisitas tinggi dan kondisi kejenuhan yang relatif besar. Kondisi ini menyebabkan penurunan kuat geser tanah, sehingga gaya penahan tidak mampu menahan gaya penggerak secara optimal.

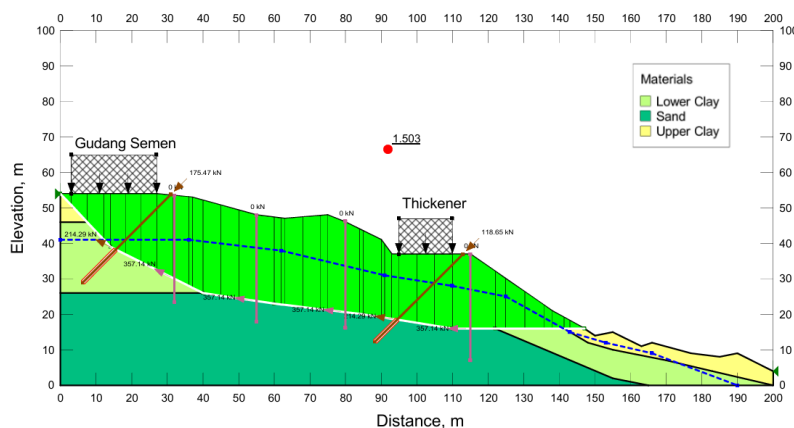
Tabel 3. Parameter Desain Struktur

	<i>SOLDIER PILE</i>	<i>SOIL NAILING</i>
MATERIAL	Beton Bertulang	Besin Tulangan dan Semen Grout
DIAMETER (mm)	600	200
KUAT GESER (kN)	400	100



Gambar 7. Model Geoteknik Perkuatan Lereng Terkini

Untuk meningkatkan stabilitas lereng, dilakukan pemodelan sistem perkuatan berupa kombinasi *soldier pile* dan *soil nailing*. *Soldier pile* berfungsi sebagai elemen penahan utama terhadap pergerakan lateral massa tanah, sedangkan *soil nailing* berperan meningkatkan kohesi semu dan kekakuan massa tanah di zona lereng. Sistem perkuatan ini dimodelkan dengan mempertimbangkan kontribusi masing-masing elemen terhadap peningkatan gaya penahan pada bidang gelincir potensial.



Gambar 8. Hasil Analisa Stabilitas Lereng Gudang Semen Setelah Diperkuat

Hasil analisis pada Gambar 8 setelah penerapan perkuatan menunjukkan peningkatan nilai Faktor Keamanan menjadi 1,50. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem perkuatan yang

dimodelkan mampu meningkatkan stabilitas lereng secara signifikan hingga memenuhi kriteria keamanan yang disyaratkan. Secara mekanis, peningkatan FK terjadi akibat bertambahnya tahanan geser dan berkurangnya deformasi lateral pada massa tanah, terutama pada lapisan *upper clay* yang sebelumnya menjadi zona lemah.

Meskipun hasil analisis menunjukkan peningkatan stabilitas lereng yang memadai, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama terkait tidak digunakannya data instrumentasi lapangan sebagai validasi kuantitatif terhadap hasil pemodelan numerik. Oleh karena itu, hasil analisis ini lebih difokuskan pada evaluasi komparatif antara kondisi eksisting dan kondisi setelah perkuatan. Penggunaan data monitoring lapangan secara kontinu direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya guna meningkatkan tingkat keandalan analisis stabilitas lereng

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penyelidikan geoteknik, pengujian laboratorium, dan analisis numerik menggunakan perangkat lunak GeoStudio *SLOPE/W* dengan metode *Morgenstern-Price*, dapat disimpulkan bahwa lereng di area Gudang Semen Pongkor didominasi oleh tanah lempung dengan plastisitas sedang hingga tinggi (CH, CL, dan MH) yang memiliki kadar air relatif tinggi. Karakteristik tanah tersebut menyebabkan lereng rentan terhadap penurunan kuat geser, khususnya pada lapisan *upper clay* yang berada pada kedalaman dangkal.

Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting menunjukkan nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,23, yang mengindikasikan bahwa lereng berada pada kondisi marginal dan belum memenuhi kriteria keamanan jangka panjang. Pemodelan sistem perkuatan berupa kombinasi *soldier pile* dan *soil nailing* menunjukkan peningkatan nilai FK menjadi 1,50, sehingga lereng dinyatakan berada dalam kondisi stabil. Peningkatan ini mencerminkan efektivitas sistem perkuatan dalam meningkatkan gaya penahan dan mengurangi potensi pergerakan massa tanah pada bidang gelincir potensial.

Penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi *soldier pile* dan *soil nailing* dapat menjadi solusi perkuatan yang efektif untuk lereng dengan kondisi tanah lempung plastis jenuh, khususnya pada area dengan keterbatasan ruang dan geometri lereng yang kompleks. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi numerik efektivitas kombinasi sistem perkuatan tersebut terhadap peningkatan Faktor Keamanan lereng.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena tidak menggunakan data instrumentasi lapangan sebagai validasi kuantitatif terhadap hasil pemodelan numerik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data monitoring lapangan, seperti piezometer dan inclinometer, guna mengevaluasi respons lereng secara aktual serta meningkatkan keandalan hasil analisis. Selain itu, kajian lanjutan dapat dikembangkan dengan

membandingkan efektivitas berbagai metode perkuatan atau metode analisis stabilitas lereng yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT CND Geoteknika atas dukungan dan kerja sama yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Bantuan fasilitas dan data yang disediakan sangat berarti dalam mendukung kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Irsyad, M. R., Rus, T. Y., dan Ain, M. I. (2023). *Comporative Analysis of Slope Enforcement Between Gravity Wall with Gabions and Borepiled on Samarinda – Bontang Axis Road Slide Sta. 3+450*. *Nusantara Civil Engineering Journal*, 2(02), 117–128. <https://doi.org/10.32487/nuce.v2i02.492>
- Cahyono, Y. D. G., Tamanak, M. A., dan Putri, R. H. K. (2023). Analisa Kemantapan Lereng *High Wall* Pada PT Mitra Setia Tanah Bumbu Kalimantan Selatan. *Jurnal Pertambangan*, 7(1), 39–45. <https://doi.org/10.36706/jp.v7i1.998>
- Froude, M. J., dan Petley, D. N. (2018). *Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(8), 2161–2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Leal Sousa, R., Vargas, E., Chaminé, H. I., Ribeiro E Sousa, L., dan Karam, K. (2021). *Risk assessment on landslides focused on the role of the water: Examples from model regions (Rio de Janeiro State and Hong Kong)*. *SN Applied Sciences*, 3(4), 423. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04300-5>
- Setiawan, L. C., Sentosa, G. S., dan Iskandar, A. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Metode Perkuatan *Ground Anchor* dan *Soil Nailing* di Labuan Bajo, NTT. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(1), 102. <https://doi.org/10.24912/jmts.v1i1.2247>
- Shah, N. A., Shafique, M., Ishfaq, M., Faisal, K., dan Van Der Meijde, M. (2023). *Integrated Approach for Landslide Risk Assessment Using Geoinformation Tools and Field Data in Hindukush Mountain Ranges, Northern Pakistan*. *Sustainability*, 15(4), 3102. <https://doi.org/10.3390/su15043102>
- Simorangkir, M. E., dan Suhendra, A. (2020). Studi Pengaruh Kemiringan, Jarak, Dan Panjang *Soil Nailing* Terhadap Stabilitas Lereng. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(3), 722. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i3.8754>
- Singh, G., Kumar, S., Karmakar, R., dan Mishra, A. K. (2025). *Rapid Assessment of Landslide Exposure to Element at Risk: A Decision Support tool in Regional Landslide Forecasting*. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6261551/v1>
- Suryajaya, E., dan Suhendra, A. (2019). Analisis Mitigasi Bencana Tanah Longsor Dan Metode Pengendaliannya (Studi Kasus Proyek Jalan Di Jambi). *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 177. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6189>
- Tarakashima, C., dan Zhafirah, A. (2023). Perkuatan *Soil Nailing* pada Lereng Singajaya Garut. *Jurnal Konstruksi*, 21(2), 217–223. <https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.21-2.1397>