

Stabilitas Lereng Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan *Software GEO5* dan Perhitungan Empiris pada Proyek Jalan Lintas Selatan Lot 1A STA 4+600

Arya Galih Ramadhan¹, Ani Sefrina², Himatul Farichah^{3*}

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya-60294, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Stabilitas Lereng, Dinding Penahan Tanah, Faktor Keamanan

***Correspondence email:**

himatul_farichah.ts@upnjatim.ac.id

Submitted: 05-12-2024

Revised: 24-01-2025

Accepted: 05-02-2025

Published: 05-02-2025

ABSTRAK

Jalan Lintas Selatan LOT 1A terletak di Brumbun hingga Pantai Sine, Kabupaten Tulungagung yang membentang sepanjang 9,560 kilometer. Kondisi eksisting pesisir selatan kabupaten Tulungagung dikelilingi oleh perbukitan berbatu yang curam dan terjal sehingga memerlukan sebuah pekerjaan galian dan timbunan yang akan menghasilkan sebuah lereng. Pada proyek pembangunan Jalan Lintas Selatan (JLS) LOT 1A STA 4+600 terdapat lereng yang berada di bahu jalan. Perencanaan lereng dengan dinding penahan tanah diperlukan untuk mencegah terjadinya longsor. Dinding penahan tanah dibangun untuk menjaga stabilitas lereng dan melindungi infrastruktur jalan utama. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan *software GEO5* dan perhitungan empiris. Pada *software Geo5*, lereng dimodelkan dan dianalisis sesuai dengan kondisi lereng eksisting sebelum dan sesudah diberi perkuatan dinding penahan tanah. Hasil yang diperoleh yaitu bahwa lereng tanpa perkuatan menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,45. Nilai tersebut tidak memenuhi standar minimum yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017. Untuk meningkatkan stabilitas lereng, dilakukan analisis dengan menambahkan perkuatan dinding penahan tanah, yang menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 2,20, melebihi standar minimum yang ditetapkan, yaitu $SF \geq 1,5$. Selain analisis stabilitas lereng, dilakukan pula evaluasi terhadap dinding penahan tanah untuk memastikan keamanannya terhadap bahaya penggulingan, penggeseran, dan keruntuhan daya dukung tanah. Perhitungan faktor keamanan dinding penahan tanah dilakukan menggunakan metode empiris dan analisis numerik dengan perangkat lunak *Geo5*. Hasil analisis perangkat lunak menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 6,48 untuk penggulingan, 5,43 untuk penggeseran, dan 3,01 untuk keruntuhan daya dukung. Sementara itu, hasil perhitungan empiris menunjukkan nilai sebesar 3,44 untuk penggulingan, 5,37 untuk penggeseran, dan 3,20 untuk keruntuhan daya dukung.

ABSTRACT

Keywords:

Slope Stability, Retaining Wall, Safety Factor

Jalan Lintas Selatan LOT 1A is located in Brumbun to Sine Beach, Tulungagung Regency which stretches for 9.560 kilometers. The existing condition of the southern coast of Tulungagung regency is surrounded by steep and steep rocky hills that require excavation and embankment work that will produce a slope. In the construction project of Jalan Lintas Selatan (JLS) LOT 1A STA 4+600 there is a slope located on the shoulder of the road. Slope planning with retaining walls is needed to prevent landslides. Retaining walls are built to maintain slope stability and protect the main road infrastructure. In this study, slope stability calculations with retaining wall reinforcement were carried out using GEO5 software and empirical calculations. In the GEO5 software, the slope is modeled and analyzed according to the existing slope conditions before and after being reinforced with retaining walls. The results obtained were that the slope without reinforcement showed a factor of safety value of 1.45. This value does not meet the minimum standard set in SNI 8460:2017. To improve the stability of the slope, an analysis was carried out by adding retaining wall reinforcement, which resulted in a safety factor value of 2.20, exceeding the minimum standard set, namely $SF \geq 1.5$. In addition to the slope stability analysis, an evaluation of the retaining wall was also carried out to ensure its safety against the danger of overturning, sliding, and collapse of the soil bearing capacity. The calculation of the safety factor of the retaining wall was carried out using the empirical method and numerical analysis with Geo5 software. The results of the software analysis showed safety factor values of 6.48 for overturning, 5.43 for sliding, and 3.01 for bearing capacity collapse. Meanwhile, the empirical calculation results showed values of 3.44 for overturning, 5.37 for sliding, and 3.20 for bearing capacity collapse.

PENDAHULUAN

Untuk mengatasi permasalahan ketimpangan wilayah utara-selatan Jawa Timur, Pemerintah Provinsi Jawa Timur tengah membangun infrastruktur Jalan Lintas Selatan (JLS). Salah satu penyebab ketertinggalan pada wilayah selatan Jawa Timur adalah kondisi geografis yang didominasi oleh rangkaian perbukitan (Fahmi & Santoso, 2021). Untuk mengatasi kesenjangan tersebut, kebijakan pembangunan Provinsi Jawa Timur difokuskan pada wilayah selatan melalui “Program Pengembangan Wilayah Selatan Jawa Timur”, yang memprioritaskan pembangunan “Jalan Lintas Selatan (JLS)” Jawa Timur. Dengan adanya program tersebut diharapkan mampu membuka akses jalan di wilayah Selatan Jawa Timur. Jalan Lintas Selatan (JLS) membentang di sepanjang garis pantai selatan Jawa Timur yang

melalui 8 kabupaten dari Kabupaten Pacitan hingga Banyuwangi. Jalan Lintas Selatan (JLS) terbagi menjadi beberapa bagian, salah satunya adalah Lot 1A yang berada di Kabupaten Tulungagung. Jalan Lintas Selatan Lot 1A terletak di Brumbun hingga Pantai Sine, Kabupaten Tulungagung yang membentang sepanjang 9,560 kilometer. Kondisi eksisting pesisir selatan kabupaten Tulungagung dikelilingi oleh perbukitan berbatu yang curam dan terjal sehingga memerlukan sebuah pekerjaan galian dan timbunan yang akan menghasilkan sebuah lereng.

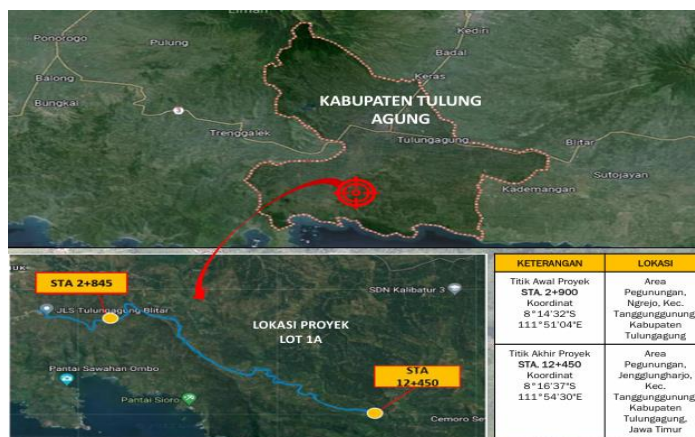
Lereng merupakan bidang morfologi dengan geometri tertentu yang mampu menahan beban yang bervariasi dan apabila kondisinya tidak stabil dapat menimbulkan risiko longsor (Khodijah et al., 2022). Permukaan tanah pada lereng memiliki sudut kemiringan tertentu yang dapat memengaruhi kestabilan pada lereng tersebut. Apabila terjadi ketidakstabilan pada suatu lereng, diperlukan analisis stabilitas untuk menentukan metode perbaikan dan perkuatan yang tepat (Fauzi et al., 2019). Analisis stabilitas tersebut bertujuan untuk menghitung faktor keamanan lereng dan menilai apakah lereng tersebut aman dari potensi longsor (Hartono et al., 2022). Dimana faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio gaya dorong lereng terhadap gaya menahannya (Alfana et al., 2024). Jika hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa lereng berpotensi longsor, maka dengan diberikan tambahan perkuatan, seperti penggunaan dinding penahan tanah yang dapat meningkatkan keamanan lereng dan mencegah terjadinya longsor di masa depan.

Dinding penahan tanah merupakan suatu struktur konstruksi yang dirancang untuk menahan beban tanah secara vertikal ataupun terhadap kemiringan lereng yang dimana daya dukung tanah tersebut tidak memadai (Yusuf et al., 2020). Dinding penahan tanah menjadi perkuatan yang efektif untuk mengatasi masalah lereng curam atau berpotensi longsor. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk mengatasi tekanan lateral tanah atau tekanan tanah di belakang dinding. Dinding penahan tanah bekerja dengan mendistribusikan beban tanah secara merata ke dalam struktur, mencegah pergerakan tanah dan menahan gaya dorong yang dapat menyebabkan longsor (Apriani et al., n.d.). Keunggulan lain dari dinding penahan tanah adalah desain yang fleksibel, sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi tanah dan topografi yang beragam (Ciomas & Bogor Agus Dermawan, 2022). Meskipun dinding penahan tanah memiliki desain yang fleksibel, tetap diperlukan analisis terhadap bahaya penggulingan, bahaya pergeseran, serta menganalisis daya dukung tanah (Khoeri et al., 2024).

Pada proyek pembangunan Jalan Lintas Selatan (JLS) LOT 1A STA 4+600 terdapat lereng yang berada di bahu jalan. Perencanaan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah diperlukan untuk mencegah terjadinya longsor. Dinding penahan tanah dibangun untuk menjaga stabilitas lereng dan melindungi infrastruktur jalan utama. Angka keamanan lereng dengan perkuatan dinding penahan, yang sering dikenal dengan *Safety Factor* (SF), menjadi target penelitian ini. Dinding penahan tanah tersebut berguna untuk menstabilkan lereng dari bahaya guling, geser, dan keruntuhan daya dukung (Syahwaner et al., 2019). Perhitungan stabilitas lereng dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan perhitungan empiris dan program GEO5. Perangkat lunak GEO5 adalah program geoteknik yang berfungsi untuk memastikan bahwa suatu konstruksi dirancang dengan benar dan memiliki tingkat keamanan yang memadai (GEO5, 2020). Dalam aplikasi ini, analisis dilakukan untuk menentukan faktor keamanan lereng, kemudian ditinjau lebih lanjut dengan menambahkan elemen perkuatan seperti dinding penahan tanah. Program ini mempercepat penyederhanaan perhitungan struktural.

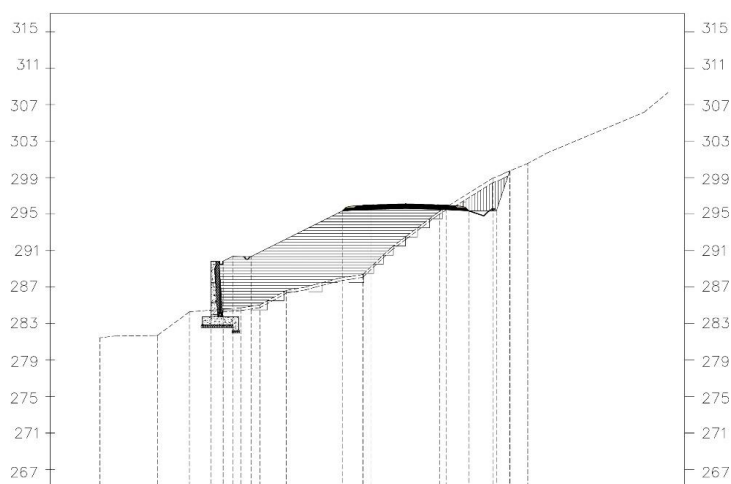
METODE

Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian, yaitu Lot 1A dari Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan. Analisis yang dilakukan berfokus pada perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah dalam kondisi statis. Metode yang digunakan mencakup pemanfaatan perangkat lunak *Geo5* serta perhitungan empiris untuk mendukung hasil analisis.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini melibatkan data primer dan sekunder. Data sekunder mencakup gambar penampang melintang STA 4+600 (Gambar 2), data parameter tanah dari hasil pengujian laboratorium (Tabel 3), syarat faktor keamanan dinding penahan tanah (Tabel 2), serta data beban merata berdasarkan SNI 8460:2017 (Tabel 1). Dinding penahan yang digunakan adalah dinding f'c 30 dan berat jenis beton sebesar 2,4 ton/m³ atau setara dengan 24 kN/m³. Data primer yang didapatkan berupa perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak Geo5 yang diverifikasi dengan hasil perhitungan empiris. Penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas untuk menganalisis stabilitas lereng dan kinerja dinding penahan tanah. Untuk memastikan keakuratan hasil simulasi, perangkat lunak yang digunakan telah diverifikasi dengan membandingkan hasil analisis numerik dengan hasil perhitungan empiris.



Gambar 2. Cross Section STA 4+600

Sumber: Data Ukur Proyek (2024)

Tabel 1. Beban Merata

| Kelas Jalan | Beban Lalu Lintas (kPa) | Beban di Luar Jalan (*) (kPa) |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|
| I | 15 | 10 |
| II | 12 | 10 |
| III | 12 | 10 |

Keterangan: (*) bangunan perumahan yang ada di sekitar lereng.

Sumber: SNI 8460 (2017)

Analisis Stabilitas Lereng

Sebelum melakukan pemasangan dinding penahan tanah sebagai perkuatan, diperlukan analisis stabilitas lereng untuk menentukan kebutuhan dan efektivitas perkuatan (Aini et al., 2020). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*Safety Factor*, SF) dari lereng tanpa tambahan perkuatan. Langkah ini penting untuk memastikan apakah suatu lereng memerlukan dinding penahan atau tidak. Berdasarkan SNI 8460:2017, sebuah lereng dianggap aman jika analisis stabilitas lereng menunjukkan nilai SF minimal sebesar 1,5 pada kondisi jangka panjang (Azanna, 2021). Nilai ini menjadi batasan standar yang harus dipenuhi agar lereng dapat dinyatakan stabil dan terhindar dari risiko longsor. Apabila suatu lereng tidak memenuhi nilai faktor keamanan yang ditetapkan, maka diperlukan tambahan perkuatan, salah satunya berupa dinding penahan tanah.

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak geo5 dengan pendekatan Limit Equilibrium Method (LEM), di mana salah satu metode yang digunakan adalah metode Bishop. Metode Bishop membagi lereng menjadi irisan-irisan vertikal, di mana keseimbangan momen dihitung untuk setiap irisan guna menentukan faktor keamanan (*safety factor*) (Yusuf et al., 2020). Dalam Geo5, pemodelan dan analisis lereng dilakukan berdasarkan kondisi lereng eksisting sebelum dan sesudah penambahan dinding penahan tanah (Muntaha et al., 2022).

Analisis Dinding Penahan Tanah

Analisis dinding penahan tanah dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geo5*, yang menghasilkan tiga nilai faktor keamanan, yaitu faktor keamanan terhadap guling, faktor keamanan terhadap geser, dan faktor keamanan terhadap daya dukung. Berdasarkan SNI 8460:2017, nilai-nilai faktor keamanan tersebut disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Faktor Keamanan Dinding Penahan Tanah

| Stabilitas | Syarat Faktor Keamanan |
|---------------|------------------------|
| Guling | SF ≥ 2 |
| Geser lateral | SF $\geq 1,5$ |
| Daya dukung | SF ≥ 3 |

Sumber: SNI 8460 (2017)

Perhitungam Empiris

Ketika melakukan analisis kemiringan dengan dinding penahan menggunakan perhitungan empiris, teori yang dikeluarkan oleh Rankine, Terzaghi, Hansen, dan Vesic digunakan.

1. Stabilitas dalam menghadapi pengaruh luar

a) Penggulingan (*Overturning*)

Menurut Hardiyatmo (2011) faktor keamanan terhadap penggulingan dijelaskan dengan rumusan berikut::

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 2 \dots\dots\dots (1)$$

keterangan:

F_{gl} = Faktor aman guling

$\sum M_w$ = $\sum W b_1$

$\sum M_{gl}$ = $\sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$

$\sum M_w$ = Total momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = Total momen yang menyebabkan penggulingan (kN.m)

W = Berat tanah di atas pelat pondasi dan berat dinding penahan (kN)

B = Lebar alas dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = Total gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = Total gaya vertikal (kN)

b) Penggeseran (*Sliding*)

Menurut Hardiyatmo (2011), faktor keamanan terhadap penggeseran dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

Untuk tanah $c - \varphi$ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$)

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_b \dots\dots\dots (3)$$

keterangan:

$\sum R_h$ = Gaya tahan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

W = Berat total dinding penahan serta tanah di atas pelat pondasi (kN)

δ_b = Sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi, biasanya berkisar antara 1/3 – (2/3) dari sudut geser internal tanah (φ)

c_a = $a_d \times c$

c_a = Adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)

c = Kohesi tanah dasar (kN/m²)

a_d = Faktor pondasi

B = Lebar pondasi (m)

$\sum P_h$ = Total gaya horizontal yang bekerja (kN)

c) Kapasitas daya dukung tanah (*Bearing Capacity*)

Menurut Hardiyatmo (2011), kapasitas dukung ultimit untuk beban eksentris dan beban miring dihitung berdasarkan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975). Persamaannya didefinisikan sebagai berikut:

$$qu = c d_c i_c N_c + d_q i_q Df \gamma N_q + d_y i_y 0.5 b \gamma N_y \dots\dots\dots (4)$$

keterangan:

- d_c, d_q, d_γ = Faktor kedalaman
- i_c, i_q, i_γ = Faktor kemiringan beban
- N_c, N_q, N_γ = Faktor kapasitas daya dukung
- e = Eksentrisitas beban (m)
- c = Kohesi (t/m²)
- γ = Berat isi tanah (kN/m³)
- Df = Kedalaman pondasi (m)
- B = Lebar kaki dinding penahan (m)

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung didefinisikan sebagai berikut:

$$SF = \frac{q_u}{q} \geq 3 \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

- q = Tekanan yang diberikan oleh beban struktur (kN/m²)
- q_u = Kapasitas dukung untuk tanah ultimit (kN/m²)

Tahap Analisis Data

Adapun langkah-langkah perhitungan dan analisis pada penelitian ini direncanakan sebagai berikut:

1. Pengolahan data dari hasil uji laboratorium yang digunakan untuk menganalisis baik dengan metode numeris maupun perhitungan empiris
2. Analisis stabilitas lereng tanpa tambahan perkuatan menggunakan *software Geo5*
3. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan *software Geo5*
4. Analisis perkuatan dinding penahan tanah menggunakan *software Geo5*
5. Perhitungan secara empiris nilai faktor keamanan dari dinding penahan tanah
6. Rekapitulasi hasil nilai faktor keamanan

HASIL

Analisis dilakukan dengan memasukkan data karakteristik tanah dan bentuk geometri lereng pada objek yang diteliti. Pada pengujian laboratorium diperoleh data parameter tanah seperti berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser. Mengacu pada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga (2019), sudut gesek (δ) antara tanah dan tiang umumnya (1/3 – 2/3) ϕ . Data parameter tanah yang diperlukan pada perangkat lunak *Geo5* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Parameter Tanah

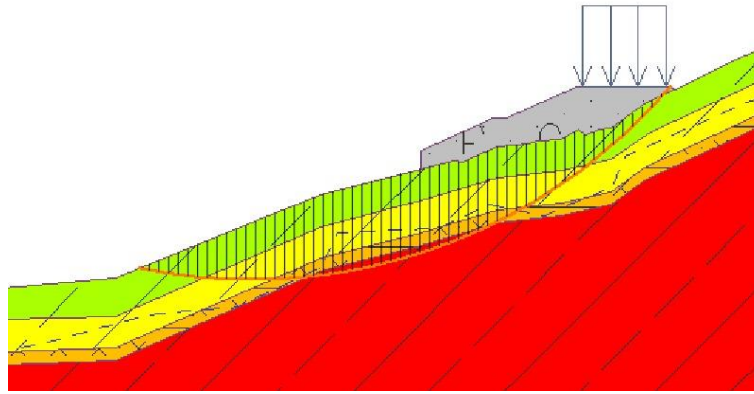
| Parameter Tanah | Satuan | Jenis Tanah | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Timbunan | Tanah Lapis 1 | Tanah Lapis 2 | Tanah Lapis 3 | Tanah Lapis 4 |
| Kohlesi (c) | kN/m ² | 39,62 | 20,59 | 18,63 | 20,59 | 22,56 |
| Sudut gelselr (ϕ) | ° | 48,40 | 16,11 | 20,70 | 20,70 | 18,43 |
| Berat Jenis (γ) | kN/m ³ | 13,82 | 11,06 | 13,75 | 13,70 | 13,37 |
| Sudut Gesek (δ) | ° | 32,27 | 7,37 | 9,17 | 9,13 | 8,91 |

Sumber: Dokumen Perusahaan pada Pengujian Laboratorium (2024)

Data beban merata diperoleh dengan menjumlahkan beban lalu lintas dan beban di luar jalan. Berdasarkan SNI 8460:2017, beban lalu lintas untuk kelas 1 adalah 15 kPa, sedangkan beban di luar jalan untuk kelas 1 adalah 10 kPa, sehingga total beban merata adalah 25 kPa atau 25 kN/m³.

1. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Geo5

Analisis stabilitas lereng perlu dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan apakah lereng tersebut memerlukan perkuatan. Gambar 3 menunjukkan geometri pemodelan lereng yang dianalisis menggunakan *software Geo5*.



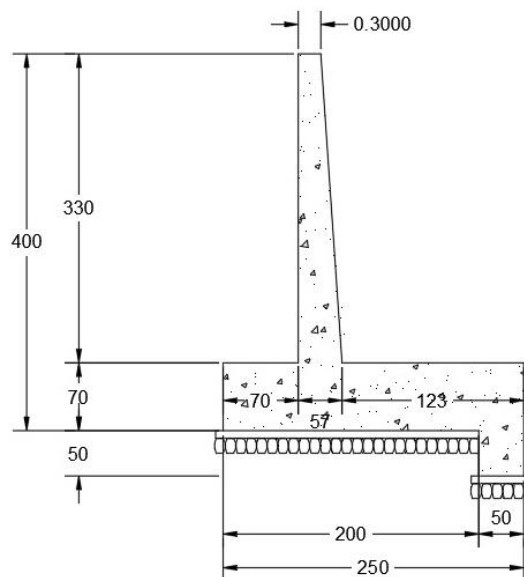
Gambar 3. Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan Dinding Penahan Tanah Software Geo5

Setelah dilakukan analisis terhadap stabilitas lereng tanpa perkuatan dinding penahan tanah menggunakan software Geo5 dengan pendekatan metode Bishop, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

- Nilai faktor keamanan stabilitas lereng sebesar 1,45
- Momen penahan (M_p) memperoleh nilai 469305,56 kNm/m
- Momen geser (M_a) memperoleh nilai 323505,38 kNm/m
- Jumlah tekanan aktif (F_a) memperoleh nilai 3726,59 kN/m
- Jumlah tekanan pasif (F_p) memperoleh nilai 5406,12 kN/m

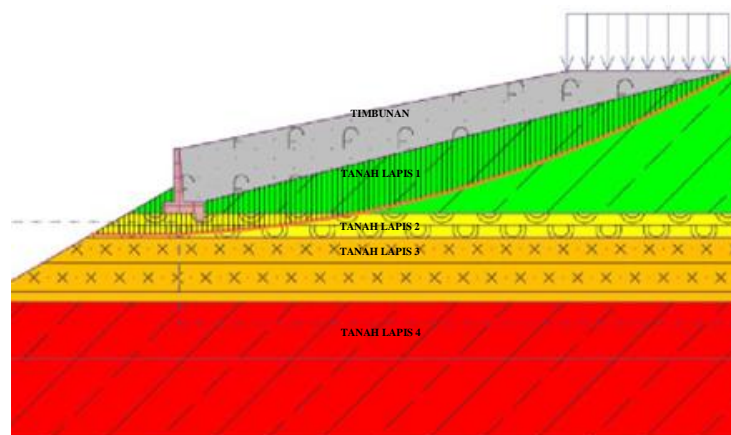
Hasil analisis stabilitas lereng tanpa tambahan perkuatan didapatkan hasil faktor keamanan sebesar 1,45. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut lebih rendah dari standar yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017, yaitu $SF \geq 1,5$, sehingga perlu dilakukan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah untuk meningkatkan nilai faktor keamanan lereng.

Penambahan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan spesifikasi yang disajikan pada gambar 4, digunakan untuk analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah. Gambar 5 menunjukkan geometri pemodelan lereng dengan tambahan perkuatan dinding penahan tanah dalam kondisi statis.



Gambar 4. Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Sumber: Data Perencanaan Proyek (2024)



Gambar 5. Pemodelan Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dengan Menggunakan Software Geo5

Setelah dilakukan analisis terhadap stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan software Geo5 dengan pendekatan metode Bishop, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Nilai faktor keamanan stabilitas lereng sebesar 2,20
- b. Momen penahan (M_p) memperoleh nilai 15099,64 kNm/m
- c. Momen geser (M_a) memperoleh nilai 6874,49 kNm/m
- d. Jumlah tekanan aktif (F_a) memperoleh nilai 429,39 kN/m
- e. Jumlah tekanan pasif (F_p) memperoleh nilai 943,14 kN/m

Hasil analisis stabilitas lereng dengan tambahan perkuatan diperoleh hasil faktor keamanan sebesar 2,20. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut telah memenuhi standar yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017, yaitu $SF \geq 1,5$. Dengan demikian, penambahan perkuatan dinding penahan tanah dapat meningkatkan nilai faktor keamanan.

Rekapitulasi hasil analisis stabilitas lereng sebelum dan sesudah penambahan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan Software Geo5 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Sebelum dan Sesudah Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Software Geo5

| Hasil Analisis | Satuan | Sebelum Perkuatan | Sesudah Perkuatan |
|--------------------------------|--------|-------------------|-------------------|
| Stabilitas Lereng | - | 1,45 | 2,20 |
| Momen Penahan (M_p) | kNm/m | 469305,56 | 15099,64 |
| Momen Geser (M_a) | kNm/m | 323505,38 | 6874,49 |
| Jumlah tekanan aktif (F_a) | kN/m | 3726,59 | 429,39 |
| Jumlah tekanan pasif (F_p) | kN/m | 5406,12 | 943,14 |

Tahap berikutnya setelah dilakukan analisis stabilitas lereng adalah menganalisis terhadap desain dinding penahan tanah yang akan digunakan. Data geometri yang digunakan untuk merencanakan dinding penahan tanah tipe kantilever meliputi: tebal lantai 0,7 m, panjang tapak 0,7 m dan 1,23 m, sudut kemiringan 27° , material beton mutu $f'c$ 30 Mpa, tinggi dinding rencana 4 m, dan tebal dinding 0,3 m dan 0,6 m. Data geometri tersebut kemudian dimasukkan pada software Geo5 dan hasil analisis akan otomatis menunjukkan nilai faktor keamanan sebagai berikut:

- a) Faktor keamanan terhadap penggulingan (*overturning*)
 - a. Nilai faktor keamanan terguling adalah 6,48, yang lebih besar dari 2,00, maka dianggap aman
 - b. Momen penahan (M_{res}) memperoleh nilai 343,47 kNm/m
 - c. Momen guling (M_{ovr}) memperoleh nilai 53,00 kNm/m
- b) Faktor keamanan terhadap penggeseran (*sliding*)
 - a. Nilai Faktor keamanan geser adalah 5,43, yang lebih dari 1,50 maka dianggap aman
 - b. Tekanan penahan horizontal (H_{res}) memperoleh nilai 125,69 kNm/m
 - c. Tekanan horizontal aktif (H_{act}) memperoleh nilai 23, kNm/m
- c) Faktor keamanan terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*)
 - a. Nilai faktor keamanan daya dukung tanah adalah 3,01 atau lebih dari 3,00, maka dianggap aman
 - b. Daya dukung tanah rencana pondasi (R_d) memperoleh nilai 238,24 kPa
 - c. Tegangan tertinggi yang dapat dicapai pada kondisi ekstrim (σ) memperoleh nilai 79,16 kPa

Rekapitulasi hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan Software Geo5 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Dinding Penahan Tanah Menggunakan Software Geo5

| Parameter Keamanan | Angka Aman | SNI 8460:2017 | Keterangan |
|-----------------------|------------|---------------|------------|
| Penggulingan | 6,48 | SF \geq 2 | Aman |
| Penggeseran | 5,43 | SF \geq 1,5 | Aman |
| Kapasitas daya dukung | 3,01 | SF \geq 3 | Aman |

2. Hasil Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Perhitungan Empiris

Perhitungan secara empiris untuk nilai keamanan stabilitas daya dukung dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan keruntuhan menghasilkan hasil sebagai berikut:

a. Faktor keamanan terhadap penggulingan (*overturning*)

Untuk menghitung faktor keamanan terhadap penggulingan digunakan persamaan (1) dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$F_{gl} = 3,44$$

Menurut SNI 8460:2017, faktor keamanan minimal 2 diperlukan untuk mencegah guling. Faktor keamanan terhadap guling adalah 3,44, yang lebih besar dari 2,00 menurut perhitungan empiris, sehingga aman.

b. Faktor keamanan terhadap penggeseran (*sliding*)

Untuk menghitung faktor keamanan terhadap penggulingan perlu dihitung gaya tahan dinding penahan tanah terlebih dahulu pada persamaan (3), yang diperoleh hasil sebagai berikut:

..... Untuk tanah $c - \varphi$ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$) digunakan persamaan (3)

$$\sum R_n = 244,287 \text{ kN}$$

Sehingga, untuk perhitungan faktor keamanan menggunakan persamaan (2)

$$F_{gs} = 5,37$$

Menurut SNI 8460:2017, diperlukan faktor keamanan minimal 1,50 terhadap geser lateral. Faktor keamanan terhadap geser lateral adalah 5,37, yang lebih besar dari 1,50 menurut perhitungan empiris, sehingga aman.

c. Faktor keamanan terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*)

Untuk menghitung faktor keamanan terhadap keruntuhan daya dukung tanah perlu dihitung daya dukung terlebih dahulu pada persamaan (4) yang diperoleh hasil sebagai berikut:

$$qu = 236,419 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga, untuk untuk perhitungan faktor keamanan menggunakan persamaan (5)

$$SF = 3,20$$

Menurut SNI 8460:2017, diperlukan faktor keamanan minimal 3,00 terhadap daya dukung tanah. Faktor keamanan terhadap daya dukung tanah adalah 3,20, yang lebih besar dari 3,00 menurut perhitungan empiris, sehingga aman.

Rekapitulasi Hasil Analisis Dinding Penahan Tanah

Tabel 5 menampilkan hasil perbandingan antara perhitungan empiris dan software Geo5 untuk nilai keamanan dinding penahan yang berkaitan stabilitas penggulingan, pergeseran, dan keruntuhan daya dukung.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis Dinding Penahan Tanah

| Stabilitas | Perhitungan Empiris | Program Geo5 | Faktor Aman | Keterangan |
|-------------------|---------------------|--------------|---------------|------------|
| Penggulingan | 3,44 | 6,48 | SF \geq 2 | Aman |
| Penggeseran | 5,37 | 5,43 | SF \geq 1,5 | Aman |
| Daya dukung tanah | 3,20 | 3,01 | SF \geq 3 | Aman |

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot 1A STA 4+600, dapat disimpulkan bahwa perkuatan dinding penahan tanah pada lereng secara signifikan meningkatkan stabilitas lereng. Hal ini terbukti dari hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan, yang menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,45. Nilai tersebut tidak memenuhi standar minimum yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017. Untuk meningkatkan stabilitas lereng, dilakukan analisis dengan menambahkan perkuatan dinding penahan tanah, yang menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 2,20, melebihi standar minimum yang ditetapkan, yaitu $SF \geq 1,5$.

Selain analisis stabilitas lereng, dilakukan pula evaluasi terhadap dinding penahan tanah untuk memastikan keamanannya terhadap bahaya penggulingan, penggeseran, dan keruntuhan daya dukung tanah. Perhitungan faktor keamanan dinding penahan tanah dilakukan menggunakan metode empiris dan analisis numerik dengan perangkat lunak Geo5. Hasil analisis perangkat lunak menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 6,48 untuk penggulingan, 5,43 untuk penggeseran, dan 3,01 untuk keruntuhan daya dukung. Sementara itu, hasil perhitungan empiris menunjukkan nilai sebesar 3,44 untuk penggulingan, 5,37 untuk penggeseran, dan 3,20 untuk keruntuhan daya dukung.

Hasil dari analisis numerik dan empiris menunjukkan keselarasan, di mana dinding penahan tanah terbukti stabil terhadap gaya geser dan gaya guling dengan faktor keamanan masing-masing $\geq 1,5$ dan ≥ 2 , serta stabil terhadap keruntuhan daya dukung dengan faktor keamanan ≥ 3 . Penggunaan perangkat lunak Geo5 menghasilkan nilai yang sejalan dengan perhitungan secara empiris, sehingga memastikan dinding penahan tanah memenuhi standar keamanan yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Q., Raimon Kopa, D., & Har, R. (2020). *Analisis Kestabilan Lereng Studi Kasus Kelongsoran Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 27.6 Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam*.
- Alfana, S., Assafira, R. A., Situmorang, A., & Masvika, H. (2024). Analisis Stabilitas Lereng dengan Dinding Penahan Tanah menggunakan Perhitungan Manual dan ASDIP Retain v.4.7.6. *Jurnal Ilmiah Universitas Semarang*, 10(1). <https://doi.org/10.26623/teknika.v19i1.7855>
- Apriani, D. W., Hadid, M., Studi, P., Sipil, T., & Kalimantan, T. (n.d.). *KRITERIA DESAIN DINDING PENAHAN PADA TANAH CAMPURAN*.
- Azanna, D. O. (2021). Analisis Stabilitas Lereng Tiga Dimensi. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(2), 210. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v4i2.76>
- Ciomas, K., & Bogor Agus Dermawan, K. (2022). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Desa Mekarjaya (Vol. 15, Issue 2)*.
- Fauzi, A., Sukobar, Wahyudi, D., & Moeljono, T. (2019). Analisa Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya Studi Kasus Proyek Pekerjaan Kanal Utama Row 80 Kawasan Industri JIPE-Gresik. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(2). <http://iptek.its.ac.id/index.php/jats>
- GEO5. (2020). *Geotechnical Software Suite GEO5 Engineering Manuals*. www.finesoftware.eu
- Hardiyatmo, H. (2011). *ANALISIS & PERANCANGAN FONDASI* (2nd ed.). GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS.
- Hartono, J., Saleh, M., & Primaswari, G. (2022). Stabilitas Lereng Timbunan Sta. 24+100 Jalan Akses Pulau Balang Menggunakan GeoStudio. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 32–39. <https://doi.org/10.56911/jik.v1i1.18>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2019). *KUMPULAN KORELASI PARAMETER GEOTEKNIK DAN FONDASI*.
- Khodijah, S., Sonya Monica, U., Ersyari, J., Khoirullah, N., & Sophian, R. I. (2022). ANALISIS KESTABILAN LERENG MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS DALAM KONDISI STATIS DAN DINAMIS PADA PIT X, TANJUNG ENIM, SUMATRA SELATAN. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 6(4).
- Khoeri, H., Pradana, R., Isvara, W., & Irwanto, R. (2024). Geotechnical Stability Assessment and Soil Improvement Recommendations using Soil Grouting and Drainage Tunnels (Case study: Retaining wall displacement at a transmission tower site). *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 12(2), 131–143. <https://doi.org/10.33558/bentang.v12i2.8306>
- Muntaha, M., Wahyuni, F., Firdausi Nuzula, J., & Faisa Ralindra, D. (2022). Stabilitas Dinding Penahan Tanah Menggunakan Pondasi Strauss Pile dan Soil Nailing pada Proyek Jalan Lintas Selatan LOT 7 Blitar STA 6+570. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(4). <http://iptek.its.ac.id/index.php/jats>
- Syahwaner, Y., Yusa, M., & Satibi, S. (2019). *ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN TIANG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (STUDI KASUS JALAN DIPONEGORO KM. 2 PASIR PENGARAIAN)* (Vol. 11, Issue 1).
- Yusuf, E., Sarita, U., Minmahddun, A., & Machmud Hasan Masikki, S. (2020). METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN DINDING PENAHAN TANAH (Studi Kasus Pekerjaan Talud Jl. Dewi Sartika Kota Kendari Paket 4 PHJD Sultra Tahun 2020). *Jurnal Media Konstruksi*, 05(2).