

**PERKUATAN LERENG UNTUK PENANGGULANGAN LONGSOR DI RUAS
JALAN PROVINSI PAKKAT-TARA BINTANG**

Semangat Marudut Tua Debataraja^{1*}, Mhd. Yushanafi Siregar¹, Arnoldus Laia²,
Indisman Laia²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia
Jl. Teladan No 15 Medan. Telp: 061-7362927

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Darma Agung Medan

*Email : semangattuadebataraja@gmail.com

ABSTRAK

Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang di Sumatera Utara merupakan jalur vital yang menghubungkan wilayah pegunungan dengan topografi curam dan kerap mengalami longsor. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng dan merancang solusi perkuatan yang efektif untuk meminimalkan risiko longsor. Metode penelitian meliputi survei lapangan, uji laboratorium karakteristik tanah, analisis stabilitas menggunakan metode kesetimbangan batas (Bishop dan Janbu), serta simulasi numerik dengan PLAXIS. Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan (FK) lereng pada segmen kritis berkisar antara 0,85 hingga 1,15, yang mengindikasikan kondisi tidak stabil. Berdasarkan hasil tersebut, dirancang dinding penahan tanah tipe kantilever dengan tulangan D16-150 dan bored pile berdiameter 60 cm kedalaman 6 m. Setelah perkuatan, simulasi menunjukkan peningkatan FK hingga >1,5, serta aman terhadap gaya geser (FK=1,78) dan guling (FK=2,35). Penelitian ini merekomendasikan implementasi segera pada segmen dengan FK terendah, disertai perbaikan sistem drainase dan penghijauan untuk keberlanjutan jangka panjang.

Kata kunci : Stabilitas lereng, dinding penahan kantilever, geogrid, faktor keamanan, PLAXIS

ABSTRACT

The Pakkat-Tara Bintang Provincial Road in North Sumatra is a vital route connecting mountainous areas with steep topography and frequent landslides. This study aims to analyze slope stability and design effective reinforcement solutions to minimize landslide risk. Research methods include field surveys, soil laboratory testing, stability analysis using limit equilibrium methods (Bishop and Janbu), and numerical simulation with PLAXIS. The analysis results show that the slope safety factor (SF) in critical segments ranges from 0.85 to 1.15, indicating unstable conditions. Based on these results, a cantilever retaining wall with D16-150 reinforcement and bored piles of 60 cm diameter and 6 m depth was designed. After reinforcement, simulations showed an increase in SF to >1.5, and safety against shear (SF=1.78) and overturning (SF=2.35). This study recommends immediate implementation on segments with the lowest SF, along with drainage system improvement and reforestation for long-term sustainability.

Keywords: Slope stability, cantilever retaining wall, geogrid, safety factor, PLAXIS

PENDAHULUAN

Stabilitas lereng merupakan aspek krusial dalam perancangan dan pembangunan infrastruktur jalan, terutama di wilayah dengan kontur berbukit atau pegunungan. Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang yang menghubungkan beberapa kecamatan di Kabupaten Pakpak Bharat dan Tapanuli Tengah, Sumatera Utara, merupakan salah satu jalur yang sering mengalami bencana longsor. Kondisi topografi dengan kemiringan lereng mencapai 30° – 45° , jenis tanah lempung berlanau dengan kohesi rendah, serta curah hujan tahunan >2.500 mm menjadi faktor utama penyebab ketidakstabilan lereng. Sebagaimana dijelaskan oleh (Terzaghi, 2024), stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh interaksi antara kekuatan tanah dan gaya-gaya yang bekerja pada massa tanah, di mana kemiringan yang curam secara signifikan meningkatkan gaya penggerak yang bekerja pada lereng.

Dampak longsor tidak hanya membahayakan keselamatan pengguna jalan, tetapi juga memutus akses transportasi, menghambat distribusi logistik, dan menimbulkan kerugian ekonomi akibat biaya perbaikan yang berulang. Berdasarkan data Dinas Pekerjaan Umum setempat, dalam lima tahun terakhir tercatat lebih dari 12 kejadian longsor yang mengakibatkan penutupan jalan selama 3–14 hari. Fenomena ini sesuai dengan temuan (Iverson, 2000), yang menekankan bahwa air, khususnya saat musim hujan, memainkan peran penting dalam ketidakstabilan lereng melalui peningkatan tekanan air pori yang menurunkan kekuatan geser tanah. (Sassa, 2000), juga mengidentifikasi bahwa stabilitas lereng dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kemiringan lereng, sifat fisik dan mekanik tanah, kondisi hidrogeologi, serta faktor eksternal seperti gempa dan curah hujan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas stabilitas lereng di wilayah Indonesia. (Zakaria, 2020), menganalisis stabilitas lereng di Jawa Barat dan menyimpulkan bahwa faktor geologi, penggunaan lahan, dan intensitas hujan memainkan peran besar dalam mempengaruhi kestabilan lereng. (Seprianto *et al.*, 2021), meneliti pengaruh tekanan air pori terhadap stabilitas lereng tanah lempung dan menemukan bahwa peningkatan kadar air

secara signifikan menurunkan faktor keamanan lereng. Namun, penelitian yang secara komprehensif merancang solusi perkuatan spesifik berdasarkan data geoteknik lokal dan perhitungan struktur terperinci di wilayah Sumatera Utara masih terbatas.

Metode perkuatan lereng telah berkembang pesat dengan berbagai teknik yang dapat diterapkan sesuai dengan karakteristik lereng dan lingkungan sekitarnya. Sementara itu, (Das, 2023), menjelaskan bahwa dinding penahan tanah yang dirancang dengan baik dapat membantu meningkatkan faktor keamanan lereng, terutama pada lereng-lereng yang curam. Selain itu, (Abid *et al.*, 2025), mengemukakan efektivitas metode anchoring atau penulangan tanah dengan angkur untuk mengendalikan gaya geser yang bekerja pada lereng dengan beban tambahan.

Dalam era modern, penggunaan perangkat lunak berbasis geoteknik seperti PLAXIS, GeoStudio, dan SLIDE telah mempermudah analisis stabilitas lereng. (LANE, 2021), menunjukkan bahwa perangkat lunak ini memungkinkan simulasi kondisi lereng yang kompleks dan penghitungan faktor keamanan dengan pendekatan numerik yang lebih akurat. (Duncan *et al.*, 2014), juga menegaskan bahwa pendekatan berbasis numerik, seperti metode elemen hingga, kini banyak digunakan untuk memberikan hasil yang lebih akurat dan rinci, terutama dalam analisis yang melibatkan kondisi yang lebih kompleks (Bowles, 2021), dalam bukunya *Foundation Analysis and Design* menekankan pentingnya pemahaman yang mendalam tentang mekanika tanah dalam merancang struktur perkuatan lereng yang aman dan ekonomis.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengevaluasi tingkat stabilitas lereng di sepanjang Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang menggunakan metode analisis yang terintegrasi, (2) mengidentifikasi segmen-segmen kritis dengan faktor keamanan terendah, dan (3) merancang solusi perkuatan berupa dinding penahan tanah kantilever berikut perhitungan tulangan dan bored pile yang sesuai dengan kondisi setempat. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara analisis stabilitas lereng dengan desain struktur perkuatan yang detail, serta penggunaannya sebagai dasar rekomendasi teknis yang aplikatif bagi pemangku kepentingan di lapangan,

sebagaimana pendekatan yang direkomendasikan oleh (Fondjo *et al.*, 2021), dalam studi tentang stabilisasi tanah ekspansif.

Mengingat pentingnya jalan ini, baik untuk transportasi lokal maupun kegiatan ekonomi, menjaga stabilitas dan keamanannya dalam jangka panjang sangatlah penting. Melalui analisis yang komprehensif dan pemilihan metode penulangan yang tepat, risiko longsor di masa depan dapat diminimalkan, sehingga keamanan dan keberlanjutan infrastruktur jalan dapat terjaga sebagaimana direkomendasikan oleh (Statik, 2023), dalam kajiannya tentang stabilitas lereng dan penanggulangannya di wilayah tropis basah.

METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang melibatkan survei lapangan, pengumpulan data, analisis stabilitas lereng, serta rekomendasi penulangan. Proses ini melibatkan pendekatan geoteknik, analisis numerik, dan simulasi untuk mendapatkan hasil yang akurat mengenai stabilitas lereng di Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang. Tahapan-tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

Studi Literatur

Pada tahap awal, dilakukan studi literatur terkait teori dan metode yang relevan mengenai stabilitas lereng dan teknik penulangan. Literatur yang digunakan mencakup teori stabilitas lereng, metode penulangan (geosintetik, dinding penahan, angkur), serta perangkat lunak geoteknik untuk analisis. Studi ini bertujuan untuk memahami dasar teori yang mendasari penelitian serta metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya.

1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Data Topografi : Pemetaan lereng dilakukan untuk mendapatkan profil lereng secara detail, termasuk kemiringan, ketinggian, dan panjang lereng di Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang.
- b. Data Geoteknik : Pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah, seperti berat jenis, kohesi, sudut geser dalam, permeabilitas, dan sifat

mekanik lainnya. Data ini diperoleh melalui uji laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari lokasi penelitian.

- c. Data Hidrologi : Kondisi curah hujan dan aliran air di daerah penelitian sangat penting dalam menganalisis stabilitas lereng. Data hidrologi seperti intensitas curah hujan, pola aliran air, dan kondisi drainase dikumpulkan untuk mempertimbangkan pengaruh air pada stabilitas lereng
- d. Data Beban Lalu Lintas : Beban tambahan akibat kendaraan yang melintas di jalan juga dipertimbangkan dalam analisis, karena dapat memengaruhi stabilitas lereng

2. Analisis Stabilitas Lereng

Setelah data terkumpul, dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan dua pendekatan:

- a. Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium Method) : Dalam metode ini, stabilitas lereng dihitung menggunakan metode Bishop dan Janbu untuk mendapatkan faktor keamanan. Faktor keamanan (safety factor) merupakan indikator utama dalam menentukan apakah lereng berada dalam kondisi stabil atau tidak. Nilai faktor keamanan yang lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa lereng berisiko longsor.
- b. Analisis Numerik dengan Perangkat Lunak Geoteknik : Perangkat lunak seperti *PLAXIS* atau *SLIDE* digunakan untuk melakukan simulasi numerik. Analisis numerik ini mempertimbangkan lebih banyak variabel dan memungkinkan pemodelan yang lebih rinci dari kondisi tanah, kemiringan lereng, dan pengaruh air. Simulasi ini menghasilkan faktor keamanan lereng yang lebih akurat serta memprediksi potensi pergerakan tanah

3. Identifikasi Zona Risiko

Berdasarkan hasil analisis, lereng yang memiliki faktor keamanan rendah diidentifikasi sebagai zona risiko. Zona-zona ini diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanannya terhadap longsor. Prioritas penanganan diberikan pada segmen jalan yang memiliki faktor keamanan paling rendah atau yang terletak di area dengan potensi longsor paling tinggi

Perencanaan Penulangan

Setelah zona risiko diidentifikasi, dilakukan perencanaan penulangan untuk meningkatkan stabilitas lereng. Metode penulangan yang dipertimbangkan meliputi:

- a. Pemasangan Geogrid atau Geotextile : Bahan geosintetik ini dipasang di bawah permukaan tanah untuk meningkatkan kekuatan tarik dan mengurangi pergerakan tanah.
- b. Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) : Pada area dengan kemiringan yang sangat curam, dinding penahan tanah dirancang untuk menahan massa tanah agar tidak bergerak. Desain dinding penahan disesuaikan dengan beban yang harus ditahan dan karakteristik tanah di lokasi.
- c. Sistem Drainase : Untuk mengurangi tekanan air pori yang dapat memicu longsor, sistem drainase yang lebih baik direncanakan. Drainase permukaan dan subdrainase ditambahkan di lereng untuk mengalirkan air hujan secara efektif, mengurangi infiltrasi air ke dalam tanah.
- d. Angkur (Anchoring) : Jika lereng memerlukan penulangan tambahan, angkur dapat dipasang untuk menahan gaya geser yang bekerja pada lereng.

Simulasi dan Evaluasi Penulangan

Setelah desain penulangan direncanakan, dilakukan simulasi ulang menggunakan perangkat lunak geoteknik untuk mengevaluasi efektivitas penulangan. Hasil simulasi menunjukkan apakah penulangan yang dirancang mampu meningkatkan faktor keamanan lereng dan mengurangi risiko longsor. Jika perlu, desain penulangan akan direvisi untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Pelaporan dan Rekomendasi

Hasil akhir dari analisis stabilitas lereng dan penulangan disusun dalam bentuk laporan. Laporan ini mencakup hasil perhitungan faktor keamanan, rekomendasi penulangan, serta prioritas penanganan berdasarkan tingkat risiko longsor di berbagai segmen jalan. Rekomendasi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam implementasi teknis di lapangan untuk mencegah terjadinya longsor di Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengumpulan Data

- a. Data Topografi
Berdasarkan survei lapangan yang dilakukan, Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang memiliki topografi yang bervariasi dengan kemiringan lereng antara 30° hingga 45°. Kemiringan yang curam ini secara signifikan meningkatkan risiko ketidakstabilan lereng, terutama di daerah-daerah yang tidak dilengkapi dengan penahan alami atau struktur penulangan. Peta kontur menunjukkan bahwa ada beberapa segmen dengan elevasi yang tinggi dan perubahan ketinggian yang tiba-tiba, yang meningkatkan kerentanan terhadap longsor.
- b. Data Geoteknik
Pengujian laboratorium terhadap sampel tanah menunjukkan bahwa jenis tanah di lokasi penelitian didominasi oleh tanah lempung berlanau dengan kohesi rendah dan sudut geser dalam sebesar 18° hingga 22°. Berdasarkan hasil uji ini, tanah pada beberapa segmen jalan memiliki karakteristik yang mudah longsor ketika terkena air dalam jumlah besar, karena permeabilitas tanah yang rendah menyebabkan air terperangkap, meningkatkan tekanan air pori.
- c. Data Hidrologi
Data curah hujan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa daerah Pakkat-Tara Bintang memiliki intensitas curah hujan tahunan yang tinggi, mencapai lebih dari 2.500 mm per tahun. Infiltrasi air yang tinggi ke dalam tanah, terutama pada musim hujan, menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan penurunan kekuatan geser tanah, yang memicu longsor.

Hasil Analisis Stabilitas Lereng

- a. Metode Keseimbangan Batas
Berdasarkan perhitungan metode Bishop dan Janbu, beberapa segmen lereng menunjukkan faktor keamanan (safety factor) yang rendah. Faktor keamanan rerata di segmen-segmen berisiko adalah sekitar 0,9 hingga 1,2, yang berarti lereng dalam kondisi tidak stabil atau sangat

mendekati ambang kestabilan. Pada segmen yang paling kritis, terutama pada area dengan kemiringan di atas 40° , faktor keamanan berada di bawah 1,0, menunjukkan bahwa lereng berisiko tinggi mengalami longsor jika tidak ada tindakan perbaikan.

b. Simulasi Perangkat Lunak

Simulasi menggunakan perangkat lunak *PLAXIS* memberikan hasil yang lebih rinci mengenai kondisi deformasi dan distribusi tegangan di sepanjang lereng. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan air pori menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan pergerakan tanah pada lereng yang curam. Model numerik menunjukkan bahwa selama musim hujan, deformasi tanah mencapai 10-15 cm di beberapa titik kritis, yang cukup signifikan untuk memicu keruntuhan lereng.

Pembahasan

a. Faktor Penyebab Ketidakstabilan Lereng

Dari hasil analisis, beberapa faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan lereng di Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang diidentifikasi :

1. Kemiringan Lereng yang Curam : Lereng dengan kemiringan di atas 30° secara alami lebih rentan terhadap longsor, terutama di daerah dengan tanah berbutir halus seperti lempung berlanau yang cenderung kehilangan kekuatan saat jenuh air.
2. Tekanan Air Pori yang Tinggi : Hasil simulasi dan data hidrologi menunjukkan bahwa curah hujan yang tinggi dan kurangnya sistem drainase yang memadai menyebabkan penumpukan air di dalam tanah, yang meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan kekuatan geser tanah.
3. Kekuatan Tanah yang Rendah : Karakteristik tanah lempung berlanau dengan sudut geser dalam yang rendah menunjukkan bahwa tanah di lokasi ini memiliki kapasitas yang terbatas untuk menahan beban lateral, terutama ketika terpengaruh oleh air.

b. Evaluasi Solusi Penulangan

Berdasarkan hasil analisis, metode penulangan yang diusulkan untuk meningkatkan stabilitas lereng mencakup :

1. Pemasangan Geogrid : Penggunaan geogrid pada lereng dengan kemiringan tinggi menunjukkan peningkatan faktor keamanan sebesar 20% berdasarkan simulasi ulang di *PLAXIS*. Geogrid mampu memperkuat tanah dan mengurangi pergerakan lateral, sehingga meningkatkan stabilitas lereng.
2. Dinding Penahan Tanah : Pada segmen-segmen dengan risiko longsor tertinggi, penggunaan dinding penahan tanah direncanakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dinding penahan dapat meningkatkan faktor keamanan hingga mencapai 1,5, yang dianggap cukup aman untuk menghindari longsor.
3. Sistem Drainase : Implementasi sistem drainase yang lebih baik, seperti saluran drainase permukaan dan subdrainase, direncanakan untuk mengurangi infiltrasi air ke dalam tanah. Penurunan tekanan air pori akibat sistem drainase ini mampu meningkatkan faktor keamanan hingga 1,3 pada kondisi basah.

c. Perbandingan dengan Studi Sebelumnya

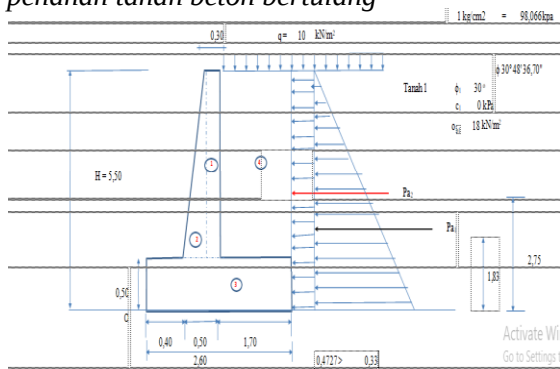
Hasil penelitian ini sejalan dengan studi sebelumnya oleh Priyono (2011), yang menemukan bahwa lereng dengan kemiringan tinggi dan tanah lempung sangat rentan terhadap longsor di wilayah pegunungan Sumatera. Selain itu, metode penulangan seperti penggunaan geogrid dan dinding penahan tanah terbukti efektif di berbagai studi lain dalam meningkatkan stabilitas lereng (Koerner, 2012; Das, 2010).

d. Dampak Implementasi

Implementasi penulangan yang direncanakan diperkirakan akan mengurangi frekuensi longsor di Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang secara signifikan. Dengan sistem penulangan yang tepat, biaya perawatan dan perbaikan jalan akibat longsor dapat diminimalkan,

serta keselamatan pengguna jalan dapat ditingkatkan. Berdasarkan simulasi ulang setelah penulangan, faktor keamanan rata-rata di daerah rawan longsor meningkat hingga di atas 1,3, yang merupakan ambang aman untuk kestabilan lereng.

Perhitungan stabilitas dan tulangan dinding penahan tanah beton bertulang



Gambar 1. Diagram tegangan tanah terhadap dinding

Berat Jenis Tanah	: 25 kN
Berat Jenis Beton	: 24 kN
Bertulang	
fc	: 30 MPa
u	: 0,6
fy	: 525 MPa
Gs	: 2, 539 Gram/cm ³
	9,81
	24,90759
Gbeton	: 2400 kg/cm ³
Penyelesaian	

1. Dengan Teori Rankine Hitung Nilai Ca

$$Ca : \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 32}{1 + \sin 32} = 0,333$$

2. Periksa Terhadap Guling

a. Hitung gaya-gaya horizontal yang bekerja pada dinding akibat tekanan tanah aktif dan beban merata tambahan

H_s (akibat beban tambahan)

$$= \frac{W_s}{W} = \frac{10}{25} = 0,400 \text{ m}$$

$$P1 = C_a w h_s = 0,333 \cdot 18 \cdot 0,400 = 2,400 \text{ kN/m}^2$$

$$P2 = C_a w h = 0,333 \cdot 18 \cdot 5,50 = 33,00 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{a1} = 2,400 \cdot 5,50 = 13,20 \text{ kN}$$

$$\text{Lengan} = H/2 = 2,75 \text{ m}$$

$$H_{a2} = \frac{1}{2} 33,00 \cdot 5,50 = 90,75 \text{ kN}$$

$$= 103,95$$

$$\text{Lengan} = H/3 = 1,8333 \text{ m}$$

b. Hitung besar momen guling

$$M_0 = \frac{H_{a1}}{2} + \frac{H_{a2}}{3} = \frac{13,20}{2,75} + \frac{90,75}{1,8333} = 202,7 \text{ kN.m}$$

c. Hitung besar momen penahan M_b

$$W_1 = 0,30 \cdot 5,00 \cdot 24 = 35 \text{ kN}$$

$$\text{lengan} = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 27,00 \text{ kN.m}$$

$$W_2 = 0,20 \cdot 5,00 \cdot 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ kN}$$

$$\text{lengan} = 0,53 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 6,40 \text{ kN.m}$$

$$W_3 = 2,60 \cdot 0,50 \cdot 24 = 31,2 \text{ kN}$$

$$\text{lengan} = 1,30 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 40,56 \text{ kN.m}$$

$$W_4 = 1,70 \cdot 5,00 \cdot 25 = 212,50 \text{ kN}$$

$$\text{lengan} = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 371,88 \text{ kN.m}$$

$$W_5 = 1,70 \cdot 10 = 17 \text{ kN}$$

$$\text{lengan} = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 29,75 \text{ kN.m}$$

$$\sum W = R = 308,7 \text{ kN}$$

$$= \text{lengan} = 6,08$$

$$\text{Momen} \sum M/M_s = 475,6 \text{ kN.m}$$

d. Cek FK

$$FK_{\text{guling}} = \frac{M_b}{M_c} = \frac{475,59}{202,7} = 2,35 > 2$$

3. Periksa terhadap geser

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser} &= H_{a1} + H_{a2} \\ &= 13,20 + 90,75 \\ &= 103,95 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya penahan} &= R \\ &= 0,6 \cdot 308,7 \\ &= 185,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FK_{geser} &= \frac{165,22}{103,95} \\ &= 1,7818 > 1,5 \end{aligned}$$

4. Hitung tegangan tanah di bawah telapak dinding dengan mengambil momen terhadap titik 0

$$\begin{aligned} X &= \frac{M_b - M_0}{R} = \frac{476 - 202,7}{308,7} \\ &= 0,8841 \text{ m} \end{aligned}$$

Eksentrisitas $e = 3,8/2 - 1,5171 = 0,3829$
 Resultan gaya R bekerja dalam daerah eksentrisitas sebesar 0,3829 m terhadap tengah telapak dinding untuk panjang 1 m dinding, maka tegangan pada telapak dinding dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} e &= 0,4159 \\ q &= \frac{R_y}{L} \times \frac{R_y \cdot e \cdot (L/2)}{L^3/12} \\ &= -\frac{R_y}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) \\ q_{toe} &= \frac{308,7}{2,60} \times \left(1 + \frac{6,00 (0,416)}{2,60} \right) \\ &= 232,695 \text{ kN/m}^2 \\ q_{heel} &= \frac{308,7}{2,60} \times \left(1 - \frac{6,00 (0,416)}{2,60} \right) \\ &= 4,766 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5. Desain penulangan lentur pada bagian dinding

a. Tulangan lentur, perhitungan kebutuhan tulangan di dasarkan pada momen lentu yang timbul pada dinding akibat gaya horizontal yang timbul dikalikan dengan faktor beban sebesar 1,6 bagian kritis untuk perhitungan momen lentur adalah pada dasar dinding (pertemuan dengan telapak) yang dapat dianggap sebagai kantilever dengan tinggi 5 m.

Maka :

$$\begin{aligned} P_1 &= C_a w h_s \\ &= 1,6 \cdot 0,333 \cdot 18 \cdot 0,400 \\ &= 3,840 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= C_a w h \\ &= 1,6 \cdot 0,333 \cdot 18 \cdot 5,00 \\ &= 48,000 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{a1} &= 3,8400 \cdot 5 \\ &= 19 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{lengan} = H/2 = 5 : 2 = 2,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{a2} &= \frac{1}{2} \cdot 48 \cdot 5 \\ &= 120,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lengan} &= H/3 = 5 : 3 = 1,67 \text{ m} \\ M_\mu &= 19,200 \cdot 2,5 + 120,00 \cdot 1,67 \\ &= 248,00 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Tebal dinding adalah 1000 mm, $b = 1000 \text{ mm}$ dan $d = 1000 - 40$ (selimut)-8 (setengah diameter tulangan) = 952 mm

Maka :

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_\mu}{\phi b d^2} = \frac{248,00 \cdot 1000000}{0,9 \cdot 1000 \cdot 952^2} \\ &= 0,304 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= (0,85[f_c])/f_y [1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85[f_c]}}] \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{55} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,304}{30}} \right] \\ &= 0,0006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho b d = 0,000583 \cdot 1000 \cdot 952 \\ &= 555 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang **D16-150** ($A_s = 1340,4 \text{ mm}^2$)

- b. Tulangan hizontal, sebagai tulangan susut dan suhu. Tulangan horizontal minimum yang diperlukan pada dasar dinding sesuai SNI 2847 : 2013 Pasal 14.3.4 adalah :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 500 \\ &= 1000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena sisi luar dinding penahan tanah senantiasa terekspos dengan udara luar dan ketebalan dinding yang lebih dari 250 mm, maka sesuai SNI 2847 : 2013 Pasal 14.3.4 diperlukan minimal $\frac{1}{2}$ hingga $\frac{2}{3}$ dari luas tulangan horizontal untuk dipasang di sisi luar dinding dan sisanya dipasang pada sisi dalam dinding dalam. Dalam hal ini luas tulangan yang dibutuhkan ($=200 \text{ mm}^2$) dibagi merata pada kedua sisi dinding sehingga masing-masing sisi dinding dibutuhkan :
 $0,5 A_s = 0,5 \cdot 1000 = 500 \text{ mm}^2$
 Dipasang **D16-150** ($A_s = 1340,4 \text{ mm}^2$).

Sebagai tulangan vertical pada dinding sisi luar untuk menumpu tulangan horizontal, dpat dipasang tulangan $\emptyset 10 - 150$.

- c. Desain terhadap geser. Penampang kritis untuk tinjauan geser adalah jarak $d = 952$ mm dari dasar dinding. Penampang inti terletak pada $5,00 - 0,952 = 4,048$ m dari tepi atas dinding, sehingga :

$$P_1 = C_a w h_s = 1,6 \cdot 0,333 \cdot 18 \cdot 0,400$$

$$= 3,84 \text{ kN/m}^2$$

$$P_2 = C_a w h_s = 1,6 \cdot 0,333 \cdot 18 \cdot 4,048$$

$$= 38,9 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{a1} = 3,84 \cdot 4,048 = 15,544 \text{ kN}$$

$$H_{a2} = \frac{1}{2} \cdot 38,9 \cdot 4,048$$

$$= 78,65 \text{ kN}$$

$$V\mu = H_{a1} + H_{a2} = 94,20 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = \phi(0,17\lambda\sqrt{f_c})bwd$$

$$= 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 952$$

$$= 664826 \text{ N}$$

$$= 664,8 \text{ kN} > V\mu$$

$$M\mu = V_u \cdot \frac{1,7}{2} = 214,88 \cdot 0,85$$

$$= 182,65 \text{ kN.m}$$

6. Desain bagian tumit (*heel*). Gaya geser dan momen lentur yang dipikul pada bagian tumit disebabkan oleh timbunan tanah di belakang dinding, berat sendiri bagian tumit, serta berat beban tambahan. Maka :

$$V\mu = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 5,5 \cdot 16 + 1,7 \cdot 0,5 \cdot 24 + 1,6 \cdot 1,7 \cdot 0,400 \cdot 10$$

$$= 214,88 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = \phi(0,17\lambda\sqrt{f_c})bwd$$

$$= 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 450,5$$

$$= 314605,0 \text{ N}$$

$$= 314,6 \text{ kN} > V\mu$$

$$R_h = \frac{M\mu}{\phi b d^2} = \frac{162,65 \cdot 1000000}{0,9 \cdot 1000 \cdot 450,5^2}$$

$$= 1,00$$

$$\rho_{perlu} = \frac{(0,85[f_c]/f_y)[1 - \sqrt{1 - (2R_h)/(0,85[f_c])}]}{\frac{0,85 \cdot 30}{525} [1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,00}{0,9 \cdot 30}}]}$$

$$= 0,0019$$

$$A_{s\text{ perlu}} = \rho b d = 0,00194 \cdot 1000 \cdot 450,5$$

$$= 876 \text{ mm}^2$$

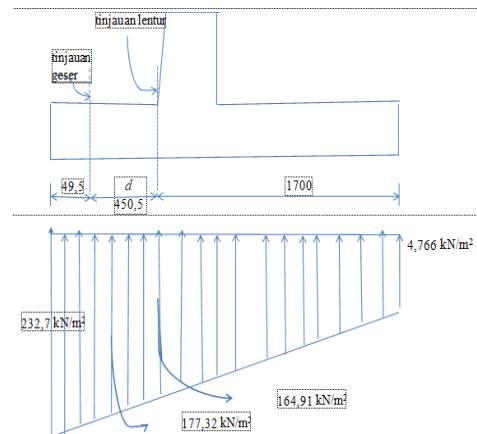
$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{525} \cdot 1000 \cdot 450,5$$

$$= 1201,33 \text{ mm}^2$$

Dipasang **D16-150** ($A_s = 1340,4 \text{ mm}^2$)

Dalam arah tegak lurus dapat dipasas tulangan **$\emptyset 10$ -150**.

7. Desain bagian ujung kaki (*toe*). Bagian ujung kaki dianggap sebagai suatu balok kantilever yang menerima tekanan tanah seperti yang dihitung dalam langkah 5, yang diampikan emblai dalam gambar dibawah ini



Gambar 2. Diagram momen lentur yang dipiku telapak pondasi dinding

Penampang kritis untuk perhitungan geser diukur sejak d dari muka dinding penahan tanah. Besar gaya geser terfaktor yang bekerja dihitung dari besar tegangan tanah dikali dengan faktor 1,6 dikurangi dengann berat sendiri bagian ujung kaki hingga jarak d dari muka dinding dikalikan denan faktor 1,2. Maka:

$$V\mu = 1,6 \cdot 0,0495 \cdot \frac{232,7 + 177,32}{2} - 1,2 \cdot 0,5 \cdot 0,0495 \cdot 24$$

$$= 15,52 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = \phi(0,17\lambda\sqrt{f_c})bwd$$

$$= 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 450,5$$

$$= 314605,0 \text{ N}$$

$$= 314,6 \text{ kN} > V\mu$$

Penampang kritis untuk perhitungan momen lentur diambil tepat di depan muka dinding penahan tanah :

$$M_u = 1,5 \left[(160,14 \cdot 1,1 \frac{1,1}{2}) + \frac{1}{2} \cdot 1,1 \cdot (232,7 - 160) \cdot \frac{2}{3} \cdot 1,1 \right] - 1,2 \left[1,1 \cdot 0,5 \cdot \frac{1,1}{2} \cdot 24 \right]$$

$$= 193,13 \text{ kNm}$$

$$R_h = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{193,13 \cdot 1000000}{0,9 \cdot 1000 \cdot 450,5^2} = 1,057$$

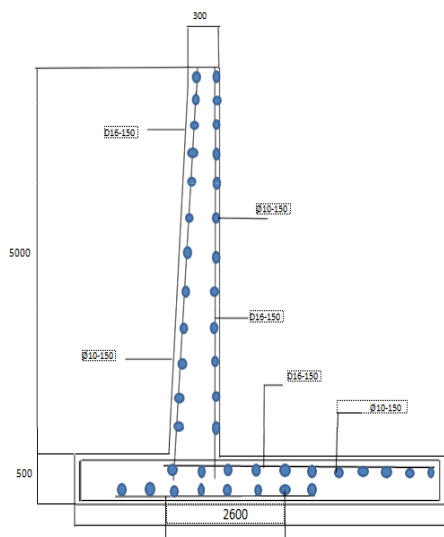
$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{(0,85 [f_c]) / f_y [1 - \sqrt{1 - (2R_h) / (0,85 [f_c])}]]}{\frac{0,85 \cdot 30}{525} [1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,057}{0,9 \cdot 30}}]} = 0,0021$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho b d = 0,0021 \cdot 1000 \cdot 450,5 = 876 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{525} \cdot 1000 \cdot 450,5 = 1201,33 \text{ mm}^2$$

Dipasang **D16-150** ($A_s = 1340,4 \text{ mm}^2$)
Dalam arah tegak lurus dapat dipasangkan tulangan **Ø10-150**.

Gambar penulangan struktur dinding penahan tanah :



Gambar 3. Dimensi dinding penahan tanah odel kantilever

- Perhitungan kebutuhan Boredpile Potongan 1

Rumus Meyerhof : (*Data Sondir*)

$$Q_b = \text{III} \cdot A_b \cdot q_c$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \text{III} &= 0,5 \\ A_b &= \text{Luas Tiang} = 0,2826 \text{ m}^2 \\ d \text{ Tiang} &= 0,6 \text{ m} \\ q_c &= \text{nilai sondir rata-rata} \\ &\quad (8d+4d) \end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} Q_b &= 1411,42 \\ F &= 2 \text{ untuk tiang tanpa} \\ &\quad \text{pembesaran pembagian} \\ Q_a &= \frac{Q_b}{F} \\ &= 705,708 \text{ kN} \\ &= 70,5708 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tiang bore pile :} \\ &= 33,2448 \\ &= 15 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya lateral :} \\ &= 1559,25 \text{ kN} \\ &= 103,95 \text{ kN/tiang} \end{aligned}$$

Kapasitas dukun ijin terhadap gaya lateral :

$$\begin{aligned} M_{\text{max}} &= r \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p \\ \phi &= 32 \\ r &= 18 \text{ kN/m}^2 \\ d \text{ Tiang} &= 0,6 \text{ m} \\ L \text{ Tiang} &= 6,00 \text{ m} \\ K_p &= \tan^2 \cdot (45 + \phi/2) \\ &= 3,255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{max}} &= r \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p \\ &= 18 \cdot 0,6 \cdot 216,00 \cdot 3,255 \\ &= 7593,316 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_u &= 1,5 \cdot r \cdot d \cdot L^2 \cdot K_p \\ &= 1,5 \cdot 18 \cdot 0,6 \cdot 36,00 \cdot 3,255 \\ &= 1898,316 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \cdot ((H_u) / (d \cdot K_p \cdot r)) \\ &\quad \frac{1}{2} \\ &= 0,82 \cdot 27,00 \\ &= 22,14 \end{aligned}$$

Sehingga untuk nilai M_u :

$$\frac{2 \cdot M_u}{0 \cdot \frac{2 \cdot f}{3}} = \frac{2 \cdot M_u}{0 \cdot \frac{22,14}{3}}$$

$$1898,32 = \frac{2 \cdot M_u}{14,76}$$

$$M_u = 14009,5721 \text{ kNm}$$

$$H_a = \frac{H_u}{Sf} = \frac{1898,316}{1,5}$$

$$= 1265,544 \text{ kN/tiang}$$

b. Defleksi tiang vertical gaya leteral :

Diketahui :

$$F_c' = 20 \text{ Mpa}$$

E_p - Modulus elastisitas tiang Beton

$$= 4700 \cdot (F_c')^{1/2}$$

$$= 47000 \text{ MPa}$$

I_p = Momen inersia penampang tiang

$$= (1/64) \cdot \pi \cdot d^4$$

$$= 0,015625 \cdot 3,14 \cdot 0,0256$$

$$= 0,001256 \text{ m}^4$$

$$nh = 166 - 3518 \text{ (HCH-Teknik Pondasi II hal 29)}$$

$$= 1842 \text{ kN/m}^3$$

$$\alpha = ((nh)/(E_p \cdot I_p))^{1/5}$$

$$\text{dimana : } nh = 1842$$

$$E_p/I_p = 37420382$$

$$= 9,8449\text{E-}06$$

$$^aL = 5,9069\text{E-}05 < 2$$

dianggap sebagai tiang pendek (kaku)

c. Defreksi lateral tiang ujung jepit :

$$y_o = \frac{2 \cdot H_a}{L^2 \cdot nh} = \frac{2 \cdot 1265,54}{36,00 \cdot 1842}$$

$$= 0,03816938 < 1 \text{ cm}$$

d. Tulangan Bore Pile Potongan

a. Tulangan Utama

$$\text{Panjang} = 6,00 \text{ m}$$

$$\text{Berat Besi D19} = 2,233 \text{ kg/m}$$

$$\text{Koefisien} = 1,20$$

$$\text{Diameter} = 600 \text{ mm}$$

Bore Pile

$$\text{Jumlah} = 15 \text{ bh}$$

Bore Pile

$$\text{Luas Bore} = 282600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pile} = 1213 \text{ mm}^2$$

(Kebutuhan tulangan Bore Pile 0,5% dari luasa)

$$\text{Luas Besi D19} = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah} = 4,98615 \text{ btg}$$

$$\text{Besi D19} = 8 \text{ btg}$$

$$\text{Berat Besi D19} = 107,184 \text{ kg/tiang}$$

$$\text{Total berat Besi D19} = 1929,31 \text{ kg}$$

e. Tulangan Sengkang

$$\text{Berat Besi D10} = 0,61667 \text{ kg/m}$$

$$\text{Koefisien} = 1,20$$

$$\text{Jumlah} = 15 \text{ bh}$$

Bore Pile

$$\text{Diameter} = 60 \text{ cm}$$

Bore Pile

$$\text{Keliling Bore Pile} = 1,884 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 0,15 \text{ m}$$

Sengkang

$$\text{Panjang} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah} = 41$$

Lilitan

$$\text{Berat} = 57,161 \text{ kg}$$

Sengkang/

tiang

$$\text{Total berat Sengkang} = 857,41 \text{ kg}$$

Besi D10

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan penting terkait stabilitas lereng dan metode penulangan di Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang:

- a. Ketidakstabilan Lereng : Lereng di sepanjang Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang sebagian besar memiliki kemiringan yang curam, dengan nilai faktor keamanan di beberapa segmen berada di bawah 1,0. Hal ini menunjukkan bahwa lereng-lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan sangat berisiko mengalami longsor, terutama pada saat musim hujan.
- b. Pengaruh Tekanan Air Pori : Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan lereng di lokasi ini adalah peningkatan tekanan air pori akibat tingginya curah hujan dan kondisi drainase yang kurang memadai. Air yang terperangkap di dalam tanah menurunkan kekuatan geser tanah, sehingga meningkatkan risiko longsor.
- c. Efektivitas Metode Penulangan: Beberapa metode penulangan yang diusulkan, seperti pemasangan geogrid, pembangunan dinding penahan tanah, dan perbaikan sistem drainase, terbukti efektif meningkatkan stabilitas lereng. Simulasi menunjukkan bahwa metode-metode ini mampu meningkatkan faktor keamanan lereng hingga di atas ambang aman 1,3, sehingga risiko longsor dapat diminimalkan.
- d. Pentingnya Sistem Drainase : Sistem drainase yang baik sangat penting untuk mengurangi infiltrasi air ke dalam tanah dan menurunkan tekanan air pori. Hal ini menjadi kunci dalam menjaga stabilitas lereng, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi seperti Pakkat-Tara Bintang.

Secara keseluruhan, analisis stabilitas lereng menunjukkan bahwa penulangan yang tepat sangat dibutuhkan untuk menjaga keamanan Ruas Jalan Pakkat-Tara Bintang, terutama pada segmen-segmen dengan risiko longsor tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Abid, M. S., Saxena, A., Zornberg, J. G., & Asce, F. (2025). Geosynthetic Encased Stone Columns under Unsaturated Soft Soil Conditions. *Pan-American Conference on Unsaturated Soils*, 1–12.

Bowles. (2021). *FoundationAnalysisAndDesign.pdf*

Das, B. M. (2023). Principles of Geotechnical Engineering PDF Braja M Das Principles of Geotechnical Engineering. *Book*.

Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*.

Fondjo, A. A., Theron, E., & Ray, R. P. (2021). Stabilization of Expansive Soils Using Mechanical and Chemical Methods : A Comprehensive Review. *Civil Engineering and Architecture*, 9(5), 1295–1308.
<https://doi.org/10.13189/cea.2021.090503>

Iverson, M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration • b dO 0 K) J x sin. *WATER RESOURCES RESEARCH*, 36(7), 1897–1910.

Joseph E. Bowles, P.E., S. E. (2021). *FoundationAnalysisAndDesign.pdf*.

LANE, D. V. G. I. I. a n d P. A. (2021). Slope stability analysis by ® nite elements. *GeÂotechnique*, 3, 387–403.

Sassa, W. F. and K. (2000). *A Modified Geotechnical Simulation Model for the Areal Prediction of Landslide Motion* (p. 43).

Seprianto, S., Studi, P., Teknik, S., & Tarumanagara, U. (2021). ANALISIS PENGARUH TEKANAN AIR PORI PADA LERENG YANG DIPERKUAT. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(1), 139–148.

Statik, L. (2023). ANALISIS PERHITUNGAN STABILITAS LERENG STATIK dan DINAMIK 1. *Departemen Pekerjaan Umum*.

Terzaghi, K. (2024). *soil mechanics in engineering practice*.

Zakaria. (2020). Analisis stabilitas lereng dan penanggulangan kelongsoran dengan metode keseimbangan batas dan metode elemen hingga. *Itera*, 21115057.