

DESAIN PERKUATAN LERENG PADA TANAH SOFT SOIL DI RUAS JALAN PAKKAT – TARA BINTANG, KABUPATEN HUMBANG HASUNDUTAN (KM SBG 173 + 000)

Semangat Marudut Tua Debataraja¹, Temaziso Tafonao²) dan Darman Tafonao³)

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Darma Agung, Medan

E-mail:

Semangattuadebataraja@gmail.com¹⁾

temzitafonao@gmail.com²⁾

darmantafonao22@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Jalur Pakkat - Tara Bintang di Humbang Hasundutan khususnya di Km SBG 173+000, sering mengalami tanah longsor berulang. Wilayah ini memiliki tanah yang mudah terkikis terutama ketika turun hujan. Selain itu, topografi yang curam dengan kemiringan lereng yang tinggi meningkatkan risiko terjadinya tanah longsor. DPT yang sudah ada sebelumnya tidak dapat secara efektif menahan gaya dorong tanah sehingga sering rusak, menyebabkan kerugian ekonomi dan gangguan akses masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang solusi yang lebih efisien dalam memperkuat lereng dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang. Harapan dari desain ini adalah dapat meningkatkan kestabilan lereng, mengurangi kemungkinan tanah longsor, dan memperbaiki aksesibilitas ke wilayah Pakkat - Tara Bintang. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa geoteknik untuk memahami sifat tanah lunak pada area tersebut, dan menghitung struktur perkuatan yang dibuat untuk menahan tekanan lateral dari tanah. Diharapkan desain yang dihasilkan dapat memiliki ketahanan yang lebih lama dan memberikan perlindungan yang lebih efektif terhadap potensi longsor di masa mendatang. Dengan kata lain, penggunaan dinding penahan tanah beton bertulang untuk memperkuat lereng mampu secara besar-besaran meningkatkan ketahanan lereng pada tanah lunak, sekaligus mendukung kelancaran lalu lintas dan peningkatan penyelamatan infrastruktur di area tersebut.

Kata Kunci : Soft Soil, Stabilitas Lereng

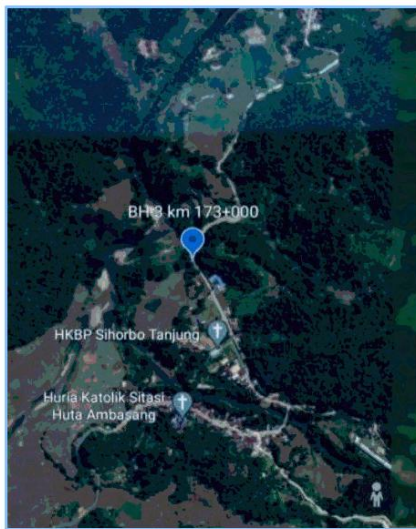
ABSTRACT

The Pakkat - Tara Bintang route in Humbang Hasundutan, especially at Km SBG 173+000, often experiences repeated landslides. This area has soil that is easily eroded, especially when it rains. In addition, steep topography with high slopes increases the risk of landslides. The pre-existing DPT cannot effectively withstand the pushing forces of the ground so it is often damaged, causing economic losses and disruption of community access. This research aims to design a more efficient solution for strengthening slopes using reinforced concrete retaining walls. The hope of this design is that it can increase slope stability, reduce the possibility of landslides, and improve accessibility to the Pakkat - Tara Bintang area. The technique used in this research is geotechnical analysis to understand the nature of the soft soil in the area, and calculate the strengthening structures made to withstand lateral pressure from the soil. It is hoped that the resulting design will last longer and provide more effective protection against potential landslides in the future. In other words, the use of reinforced concrete retaining walls to strengthen slopes can greatly increase the resilience of slopes on soft soil, while supporting smooth traffic and improving infrastructure safety in the area.

Keywords: Soft Soil, Slope Stability.

1. PENDAHULUAN

Daerah Pakkat – Tara Bintang merupakan daerah yang memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah. Namun, aksesibilitas ke kawasan ini sering terhambat oleh bencana alam khususnya tanah longsor. Kejadian longsor yang berulang kali terjadi di ruas jalan Pakkat – Tara Bintang terutama di Km SBG 173 + 000 telah menyebabkan kerusakan infrastruktur yang signifikan dan kerugian ekonomi bagi masyarakat setempat.



Gbr. Lokasi Titik Penyelidikan Tanah (GPS-citra satelit).

Ini merupakan masalah yang memerlukan tindakan segera dari pihak yang berwenang untuk mencegah terjadinya kerugian yang lebih besar dimasa depan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tanah di wilayah ini umumnya lunak dan rentan terhadap erosi terutama selama musim hujan. Selain itu, topografi yang curam dengan gradien lereng yang tinggi juga meningkatkan potensi terjadinya tanah longsor. Dinding penahan tanah (DPT) yang dibangun sebelumnya tidak mampu menahan gaya dorong tanah secara efektif, akibatnya sering mengalami kerusakan.

Dengan mempertimbangkan masalah yang telah diuraikan diatas, maka tujuan

penelitian ini adalah merancang perkuatan lereng menggunakan beton bertulang yang lebih efektif dan efisien. Dengan demikian, diharapkan dapat meningkatkan stabilitas lereng, mengurangi resiko terjadinya longsor dan mendukung kelancaran aksesibilitas di wilayah Pakkat – Tara Bintang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1.1 Pengertian Tanah Soft Soil

Tanah soft soil adalah jenis tanah yang memiliki ciri-ciri lempung halus dengan kekuatan yang rendah dan daya dukung yang kurang baik. Tanah ini umumnya memiliki kadar udara yang tinggi, teksturnya lunak, dan memiliki kepadatan rendah, sehingga rentan terhadap embun beku atau penurunan beban. Karena dapat dikompres, tanah ini seringkali mengalami masalah stabilitas, terutama dalam proyek pembangunan seperti jalan, jembatan, atau bangunan. Biasanya diperlukan teknik perkuatan atau perbaikan tanah untuk mengatasi struktur tanah lunak agar di atasnya aman dan stabil.

2.1.2 Karakteristik Tanah Soft Soil:

1. Kekuatan Geser Rendah

Tanah soft soil memiliki kekuatan geser yang rendah, sehingga tidak dapat menahan gaya geser yang besar. Geseran adalah kemampuan dasar untuk tetap utuh saat ditekan. Karena kekuatan gesernya yang rendah, tanah soft soil dapat dengan mudah tergeser atau bergeser ketika diberi beban yang signifikan. Ini adalah masalah besar dalam konstruksi industri karena struktur yang dibangun di atas tanah dengan kekuatan geser rendah berpotensi gagal atau runtuh.

2. Kandungan Air Tinggi

Tanah soft soil cenderung mengandung kadar air yang tinggi, terutama jika lokasinya dekat dengan sungai, rawa, atau wilayah pantai. Udara yang terkandung dalam tanah membuat tanah menjadi jenuh, sehingga menurunkan

kemampuan daya dukung tanah. Saat tanah jenuh udara, partikel tanah terpisah lebih jauh oleh udara, mengurangi kekuatan tanah secara drastis.

3. Kompresibilitas Tinggi

Kompresibilitas yang tinggi merupakan salah satu isu utama dengan tanah soft soil, yang berarti tanah ini cenderung terkompresi atau mengecilkan volumenya ketika terkena beban. Tanah ini mempunyai kecenderungan untuk mengalami penurunan yang signifikan ketika bangunan berat dibangun di atasnya. Penyusutan ini terjadi karena tanah yang memiliki tingkat kelembapan yang tinggi umumnya mengalami pemadatan ketika udara mengalir keluar atau saat mengalami tekanan karena beban yang diberikan.

2.2 Perkuatan Lereng

Perkuatan lereng merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan lereng yang rentan terhadap longsor atau keruntuhan. Keutamaan perkuatan lereng adalah untuk menghindari pergerakan tanah yang berpotensi menimbulkan longsor atau merusak infrastruktur di sekitar atau di atas lereng tersebut. Penguatan ini sangat penting terutama di wilayah dengan kondisi lereng curam, tanah lunak, atau pola curah hujan tinggi, yang dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya kegagalan lereng.

Karl Terzaghi, yang dikenal sebagai "bapak mekanika tanah," menjelaskan bahwa perkuatan lereng adalah proses memperkuat tanah dengan tujuan untuk menghindari kegagalan geser (kegagalan geser). Terzaghi menekankan pentingnya memahami sifat mekanik tanah, seperti kohesi dan sudut geser dalam, dalam merancang perkuatan lereng. Dengan memahami karakteristik tanah, desain perkuatan lereng dapat lebih efektif dalam mencegah kelongsoran.

Craig dalam bukunya "Soil Mechanics" menjelaskan bahwa perkuatan lereng melibatkan penguatan tanah dengan cara

mengurangi tegangan geser atau meningkatkan daya dukung tanah. Penggunaan dinding penahan, tanah paku, dan penguat material seperti geotekstil adalah beberapa teknik yang dapat diterapkan. Craig juga menekankan analisis bahwa stabilitas lereng harus memperhitungkan kondisi drainase, karena udara yang tertahan di dalam tanah dapat mengurangi stabilitas lereng secara signifikan.

2.3 Stabilitas Lereng

Kestabilan lereng merupakan kemampuan tanah pada suatu lereng untuk menjaga keseimbangan terhadap gaya-gaya yang dapat menyebabkan longsor atau keruntuhan. Faktor-faktor seperti sifat tanah, kemiringan lereng, elevasi, kondisi udara tanah, dan beban struktural mempengaruhi kestabilan lereng secara signifikan. Lereng yang kokoh dapat menanggung gaya geser dari beban tanah dan beban lainnya, sedangkan lereng yang tidak stabil rentan terhadap keruntuhan saat terjadi hujan lebat atau gempa bumi.

Dalam konteks teori Rankine, stabilitas lereng dapat diinterpretasikan dengan mempertimbangkan prinsip tekanan tanah pasif dan aktif. Rankine menyatakan bahwa tekanan tanah aktif terjadi ketika lereng atau dinding penahan tanah menjauhi massa tanah, sedangkan tekanan pasif terjadi ketika tanah menahan gerakan. Pada lereng yang tidak stabil, tekanan tanah aktif bisa lebih besar dari tekanan tanah pasif, sehingga menyebabkan lereng tersebut amblas. Teori ini berguna untuk menghitung tekanan tanah dan gaya yang ada di lereng, sehingga membantu dalam perencanaan langkah-langkah stabilisasi.

2.4 Metode Perkuatan Lereng

2.3.1 Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall)

Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) adalah konstruksi yang dibuat untuk menahan material tanah di bagian belakangnya guna menghindari terjadinya tanah longsor atau pergeseran. Panel ini sering dipakai di daerah dengan lereng curam atau saat perlu perbedaan tinggi tanah, seperti di tepi jalan, jembatan,

perumahan di wilayah berbukit, atau proyek infrastruktur lainnya.

2.3.2 Paku Tanah (Soil Nailing)

Paku tanah adalah Merupakan metode untuk memperkuat lereng dengan cara menempatkan baja (paku tanah) secara horizontal atau miring ke dalam tanah untuk meningkatkan stabilitasnya. Paku tanah berfungsi untuk memperkuat dan menstabilkan tanah di lereng, sehingga dapat mencegah terjadinya pergerakan atau longsor. Metode ini berfungsi baik untuk tanah yang tidak stabil atau tanah dengan butiran halus hingga sedang, dan umumnya digunakan dalam proyek infrastruktur seperti terowongan, jalan raya, dan dinding penahan.

2.3.3 Geosintetik (Geosynthetic Reinforcement)

Geosintetik (Geosynthetic Reinforcement) Merupakan material buatan manusia yang dipakai dalam teknik rekayasa tanah untuk memperkuat, merusak, menjaga, atau mencegah erosi tanah. Geosintetik dipergunakan dalam berbagai situasi teknik sipil, meliputi pembuatan jalan, bendungan, tembok penahan tanah, lereng, dan proyek manajemen udara. Pemanfaatan geosintetik meningkatkan stabilitas dan ketahanan tanah, terutama pada area dengan tanah buruk atau tidak stabil.

2.3.3 Bore Pile

Bore Pile adalah tipe dari fondasi dalam yang terbuat dengan cara menggali tanah ke bawah secara tegak lurus sampai mencapai kedalaman tertentu, kemudian diisi dengan beton dan tulangan untuk membentuk tiang. Pondasi ini berfungsi untuk mengalihkan beban struktur dari tanah atas ke tanah yang lebih dalam dan lebih kuat. Bore tumpukan sangat efektif ketika digunakan di area dengan tanah tidak stabil atau memiliki daya dukung rendah di permukaan. Pengeboran bisa dilakukan dengan beragam metode seperti membosankan kering, membosankan basah, dan penggali berulir, bergantung pada situasi tanah yang ada di lapangan. Bore tumpukan

biasanya dipergunakan pada proyek bangunan tinggi, jembatan, dan infrastruktur lainnya yang memerlukan daya dukung dan kestabilan struktur yang tinggi.

Dalam perhitungan kapasitas daya dukung borepile, salah satu rumus yang sering digunakan adalah Rumus Meyerhof. Rumus ini menyatakan hubungan antara daya dukung ujung bore tiang (Q_b), luas penampang tiang (A_b), dan nilai tegangan tanah pada ujung tiang (q_c), melalui persamaan : $Q_b = U \cdot A_b \cdot q_c$. Rumus ini memungkinkan insinyur untuk memperkirakan daya dukung pondasi secara akurat untuk menjaga kestabilan struktur dan menghindari kegagalan pondasi akibat beban yang terlalu besar pada tanah.

3. METODE PELAKSANAAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada jalan Pakkat – Tara Bintang Kecamatan Humbang Hasundutan Km SBG 173 + 000.

Gambar : Peta lokasi penelitian.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Untuk merancang perkuatan lereng yang lebih efektif di daerah Pakkat – tara Bintang, diperlukan metode pengumpulan data yang komprehensif dan akurat. Berikut adalah:

1. Survei Topografi.
Survei topografi dilakukan untuk memetakan kondisi lereng dan morfologi daerah penelitian. Mengukur ketinggian, kecuraman lereng, dan geometri permukaan tanah sangat krusial dalam menentukan karakteristik lereng. Perangkat seperti Total Station atau GPS geodetik dapat dipakai untuk memperoleh peta topografi yang presisi. Informasi ini berguna untuk merancang struktur perkuatan yang cocok dengan keadaan kemiringan lereng yang ada.
2. Investigasi Geoteknik.
Penelitian geoteknik dilakukan untuk memperoleh informasi tentang karakteristik fisik dan mekanik tanah di suatu lokasi. Pengujian seperti Standard Penetration Test (SPT) atau Cone

Penetration Test (CPT) bisa dilakukan untuk menilai kekuatan dan kekerasan tanah. Memperoleh data tentang sifat tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, permeabilitas, dan indeks plastisitas dengan melakukan pengambilan sampel tanah dan menganalisis di laboratorium. Temuan dari penyelidikan akan digunakan sebagai panduan untuk merencanakan struktur dinding penahan tanah yang dapat menanggulangi tekanan dari tanah yang lembut di sekitarnya.

3. Pemantauan Curah Hujan dan Drainase.

Karena curah hujan berperan besar dalam menyebabkan longsor, pengumpulan informasi tentang seberapa kuat dan seberapa merata curah hujan yang turun di daerah ini sangat krusial. Sensor hujan otomatis atau stasiun cuaca bisa dipasang untuk mengawasi pola curah hujan. Selain itu, sistem drainase di sekitar lereng harus diperiksa untuk mengamati bagaimana air mengalir di permukaan dan di dalam tanah. Penggunaan data drainase dapat mendukung perancangan sistem manajemen air yang lebih efektif guna mencegah kejenuhan udara di lereng yang dapat menyebabkan longsor.

4. HASIL dan PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Geoteknik

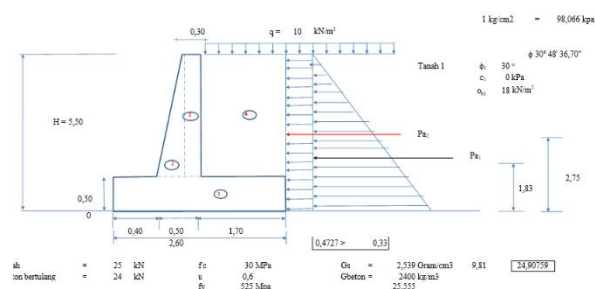
Kawasan Pakat - Tara Bintang memiliki karakteristik geoteknik yang menantang, terutama terkait dengan seringnya terjadi longsor. Menurut penelitian sebelumnya, tanah di daerah ini umumnya digolongkan sebagai tanah lunak atau tanah soft soil, yang cenderung tidak stabil dan rentan terhadap erosi, khususnya pada musim hujan. Tanah lunak memiliki kemampuan dukungan yang rendah, sehingga rentan tererosi oleh aliran udara dan menyebabkan penurunan kestabilan lereng. Selain itu, topografi daerah ini juga terjal dengan lereng yang curam, sehingga gaya gravitasi yang bekerja pada tanah membuatnya rentan, terutama saat terjadi banjir akibat curah hujan yang tinggi.

Di wilayah ini, kemungkinan terjadinya longsor juga disebabkan oleh kondisi topografi yang curam selain tanah yang lembek. Jalan di Km SBG 173 + 000 sering mengalami longsor karena campuran tanah lunak dan kemiringan lereng yang sangat curam. DPT yang telah dibuat sebelum ini di lokasi tersebut tidak berfungsi dengan baik untuk menahan tekanan tanah. Hal ini bisa disebabkan oleh kurang memperhatikan desain terhadap kondisi tanah setempat dan tekanan lateral dari tanah basah saat musim hujan. Ketidakkampuan DPT menahan gaya dorong tanah mengakibatkan kerusakan infrastruktur yang berulang dan kerugian ekonomi bagi masyarakat yang bergantung pada akses jalan raya.

Agar masalah ini dapat diatasi, penelitian bertujuan untuk merancang perkuatan lereng menggunakan beton bertulang yang lebih efektif dan efisien. Beton bertulang dipilih karena mampu menahan gaya dorong tanah yang lebih kuat dari struktur penahan tanah sebelumnya. Desain peningkatan lereng harus mempertimbangkan sifat-sifat tanah yang lunak, topografi yang curam, dan faktor-faktor eksternal seperti hujan lebat. Penggunaan metode pembangunan yang lebih mutakhir dan evaluasi geoteknik yang detail akan menurunkan stabilitas lereng, menurunkan kemungkinan terjadinya tanah longsor, serta pada akhirnya memperbaiki aksesibilitas di daerah Pakkat - Tara Bintang. Mengharapkan bahwa hal tersebut dapat mengurangi frekuensi longsor dan meningkatkan keamanan serta kenyamanan bagi masyarakat setempat.

4.2 Desain perkuatan lereng

Berikut ini desain perkuatan lereng berdasarkan hasil analisa dan perhitungan teknis



4.3 Perhitungan Stabilitas Lereng

1. Dengan teori rankine, hitung nilai C_a

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

2. Periksa terhadap guling

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

H_s (akibat beban tambahan) =

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

$$P_1 = C_a w h_s = 0,333 \times 18 \times 0,400 = 2,400 \text{ kN/m}^2$$

$$P_2 = C_a w h = 0,333 \times 18 \times 5,50 = 33,00 \text{ kN/m}^2$$

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

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

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

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

- b. Hitung besar momen guling

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

- c. Hitung besar momen penahan M_b

Besarnya momen penahan terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel Momen Penahan

Komp onen	berat (kN)									lengan (m)	Momen (kN.m)	
w ₁	0,30	x	5,00	x	24			=	36	0,75	27,00	
w ₂	0,20	x	5,00	x	0,5	x	24	=	12	0,53	6,40	
w ₃	2,60	x	0,50	x	24			=	31,2	1,30	40,56	
w ₄	1,70	x	5,00	x	25			=	212,50	1,75	371,88	
w ₅	1,70	x	10					=	17	1,75	29,75	
							ΣW	R	=	308,7	6,08	ΣM/M _b

$$d. FK_{guling} = \frac{M_b}{M_0} = \frac{475,59}{202,7} = 2,35 > 2 \text{ OK.}$$

3. Periksa terhadap geser

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

$$= 103,95 \text{ kN}$$

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

$$FK_{geser} = \frac{185,22}{103,95} = 1,7818 > 1,5 \text{ OK.}$$

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

$$X = \frac{Mb - M_0}{R} = \frac{476 - 202,7}{308,7} = 0,8841 \text{ m}$$

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

$$e = 0,4159$$

$$q = \frac{Rv}{L} \times \frac{R_v \times e \times (L/2)}{L^3/12} = \frac{R_v}{L} (1 \pm \frac{6e}{L})$$

$$\begin{aligned} q_{toe} &= \frac{308,7}{2,60} \times (1 + \frac{6,00 (0,416)}{2,60}) \\ &= 232,695 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{heel} &= \frac{308,7}{2,60} \times (1 - \frac{6,00 (0,416)}{2,60}) \\ &= 4,766 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5. Desain penulangan lentur pada bagian dinding

- a. Tulangan lentur

Perhitungan kebutuhan tulangan didasarkan pada momen lentur yang timbul pada dinding akibat gaya horinzontal yang timbul dikalikan dengan faktor beban sebesar 1,6. Bagian kritis untuk perhitungan momen lentur adalah pada dasar dinding (pertemuan dengan telapak) yang dianggap sebagai kantilever dengan tinggi 5 m.

Maka:

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

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

$$H_{a1} = 3,8400 \times 5 = 19,2 \text{ kN}$$

$$H_{a2} = \frac{1}{2} 48 \times 5 = 120,00 \text{ kN}$$

$$M_u = 19,200 \times 2,5 + 120,00 \times 1,67$$

$$= 248,00 \text{ kN.m}$$

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

$$\text{Lengan} = H/3 = 5 : 3 = 1,67 \text{ m}$$

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

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{248,00 \times 1000000}{0,9 \times 1000 \times 952^2} = 0,304$$

$$\rho_{\text{perlu}} = (0.85[f'_c]/f_y) [1 - \sqrt{1 - (2R_n)/(0.85[f'_c])}] = \frac{0,85 \times 30}{525} [1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,304}{0,9 \times 30}}] = 0,0006$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho b d = 0,000583 \times 1000 \times 952 = 555 \text{ mm}^2$$

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

Untuk keekonomisan desain, maka pada bagian setengah tinggi dari dinding, dapat dihitung kembali momen lentur yang terjadi dan hitung kembali kebutuhan tulangan untuk dinding tinggi 2,5 m.

$$P_1 = C_a w h_s = 1,6 \times 0,333 \times 18 \times 0,400 = 3,84 \text{ kN/m}^2$$

$$P_2 = C_a w h = 1,6 \times 0,333 \times 18 \times 2,5 = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{a1} = 3,8400 \times 2,5 = 9,600 \text{ kN}$$

$$H_{a2} = \frac{1}{2} 24 \times 2,5 = 30,00 \text{ kN}$$

$$M_u = 9,600 \times 1,25 + 30,00 \times 0,83 = 37,00 \text{ kN.m}$$

$$\text{Lengan} = H/2 = 2,5 : 2 = 1,3 \text{ m}$$

$$\text{Lengan} = H/3 = 2,5 : 3 = 0,83 \text{ m}$$

Tebal dinding adalah $(1000 + 600)/2 = 800 \text{ mm}$, $b = 1000 \text{ mm}$ dan $d = 800 - 40$ (selimut) - 8 (setengah diameter tulangan) = 752 mm. Maka

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{37,00 \times 1000000}{0,9 \times 1000 \times 752^2} = 0,073$$

$$\rho_{\text{perlu}} = (0.85[f'_c]/f_y) [1 - \sqrt{1 - (2R_n)/(0.85[f'_c])}] = \frac{0,85 \times 30}{525}$$

$$[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,073}{0,9 \times 30}}] = 0,0001$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho b d = 0,0001 \times 1000 \times 752 = 104 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{min}} = 0,0015 \times 1000 \times 400 = 600 \text{ mm}^2$$

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

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

$$A_{s \text{ min}} = 0,002 \times 1000 \times 500 = 1000 \text{ mm}^2$$

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 1/2 hingga 2/3 dari luas tulangan horinzontal untuk dipasang di sisi luar dinding dan sisanya dipasang pada sisi dalam dinding. Dalam hal ini luas tulangan yang dibutuhkan ($= 2000 \text{ mm}^2$) dibagi merata pada kedua sisi dinding sehingga masing-masing sisi dinding dibutuhkan:

$$0,5 A_s = 0,5 \times 1000 = 500 \text{ mm}^2$$

Dipasang **D16-150** ($A_s = 1340,4 \text{ mm}^2$). Sebagai tulangan vertikal pada dinding sisi luar untuk menumpu tulangan horinzontal, dapat dipasang tulangan **Ø10 - 150**

- c. Desain terhadap geser. Penampang kritis untuk tinjauan geser adalah sejarak $d = 952 \text{ mm}$ dari dasar dinding. Penampang ini terletak pada $5,00 - 0,952 = 4,048 \text{ m}$ dari tepi atas dinding, sehingga

$$P_1 = C_a w h_s = 1,6 \times 0,333 \times 18 \times 0,400 = 3,84 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= C_a w h = 1,6 \times 0,333 \times 18 \times 4,4048 \\
 &= 38,9 \text{ kN/m}^3 \\
 H_{a1} &= 3,84 \times 4,048 = 15,544 \text{ kN} \\
 H_{a2} &= \frac{1}{2} 38,861 \times 4,048 = 78,65 \text{ kN} \\
 V_u &= H_{a1} + H_{a2} = 94,20 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= \phi(0.17 \lambda \sqrt{f'_c}) b_w d = \\
 &0,75 \times 0,17 \times 1\sqrt{30} \times 1000 \times 952 \\
 x &= 664826 \text{ N} = 664,8 \text{ kN} > V_u \quad \text{OK!}
 \end{aligned}$$

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

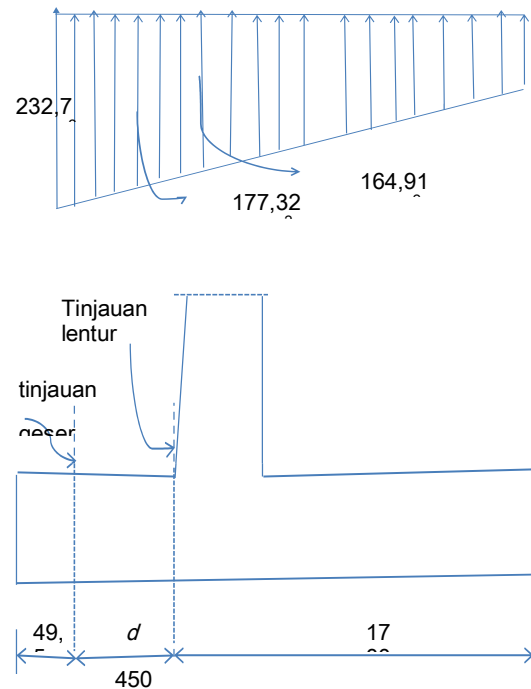
$$\begin{aligned}
 V_u &= 1,2 \times 1,7 \times 5,5 \times 16 + 1,7 \times \\
 &0,5 \times 24 + 1,6 \times 1,7 \times 0,400 \times \\
 &10 = 214,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi(0.17 \lambda \sqrt{f'_c}) b_w d = \\
 &0,75 \times 0,17 \times 1\sqrt{30} \times 1000 \times \\
 &450,5 = 314605,0 \text{ N} > \text{OK!} \\
 M_u &= V_u \times \frac{1,7}{2} = 214,88 \times 0,85 = 182,65 \\
 &\text{kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{182,65 \times 1000000}{0,9 \times 1000 \times 450,5^2} = 1,00 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= (0.85 \sqrt{f'_c}) / f_y [1 - \sqrt{1 - \\
 &(2R_n) / (0.85 \sqrt{f'_c})}] = \frac{0,85 \times 30}{525} [1 - \\
 &\sqrt{1 - \frac{2 \times 1,00}{0,9 \times 30}}] = 0,0019 \\
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho b d = 0,00194 \times 1000 \times 450,5 \\
 &= 876 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{525} 1000 \times 450,5 = \\
 &1201,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang **D16 – 150** ($A_s = 1340,4 \text{ mm}^2$)
 Dalam arah tegak lurus dapat dipasang tulangan **Ø 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 ditampilkan kembali dalam Gambar dibawah ini



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 dengan berat sendiri bagian ujung kaki hingga sejarak d dari muka dinding dikalikan dengan faktor 1,2, maka:

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1,6 \times 0,0495 \frac{232,7 + 177,32}{2} - 1,2 \times \\
 &0,5 \times 0,495 \times 24 = 15,52 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= \phi(0.17 \lambda \sqrt{f'_c}) b_w d = \\
 &0,75 \times 0,17 \times 1\sqrt{30} \times 1000 \times \\
 &450,5 = 314605 \text{ N} = 314,6 \text{ kN} > \\
 &V_u \quad \text{OK!}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,6 [(160,14 \times 1,1 \frac{1,1}{2}) + (\frac{1}{2} \times 1,1 \times \\
 &(232,7 - 160) \times \frac{2}{3} \times 1,1)] - 1,2 [1,1 \times \\
 &0,5 \times \frac{1,1}{2} \times 24] = 193,13 \text{ kN.m} \\
 R_h &= \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{193,13 \times 1000000}{0,9 \times 1000 \times 450,5^2} = 1,057
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = (0.85[f_c]_{\text{max}})/f_y [1 - \sqrt{1 - (2R_n)/(0.85[f_c]_{\text{max}})}] = \frac{0.85 \times 30}{525} \times [1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1.057}{0.9 \times 30}}] = 0.0021$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho b d = 0.0021 \times 1000 \times 450.5 = 926.92 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} b d = \frac{1.4}{525} \times 1000 \times 450.5 = 1201.33 \text{ mm}^2$$

Dipasang **D16-150** ($A_s = 1340.4 \text{ mm}^2$).
Dalam arah tegak lurus dapat dipasang tulangan **Ø10 – 150**

8. Gambar penulangan struktur dinding penahan tanah.

4.4 Perhitungan kebutuhan Bore Pile

1. Potongan 1

Rumus Meyerhof : (Data Sondir)

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

$$\text{III} = 0.5$$

$$A_b = \text{Luas Tiang} = 0.2826 \text{ m}^2$$

$$\text{dia. Tiang} = 0.6 \text{ m}$$

$$q_c = \text{nilai sondir rata-rata } (8d+4d)$$

$$Q_b = 1411.42$$

F = 2 untuk tiang tanpa pembesaran dibagian

$$Q_a = \frac{Q_b}{F} = 705.708 \text{ kN}$$

$$= 70.5708 \text{ ton}$$

Kebutuhan tiang bore pile :

$$= 33.2449$$

$$= 15 \text{ tiang}$$

Gaya Lateral :

$$= 1559.25 \text{ kN}$$

$$= 103.95 \text{ kN/tiang}$$

Kapasitas dukung ijin terhadap gaya lateral :

$$M_{\text{max}} = \gamma \times d \times L^3 \times K_p$$

$$\Phi = 32$$

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^2$$

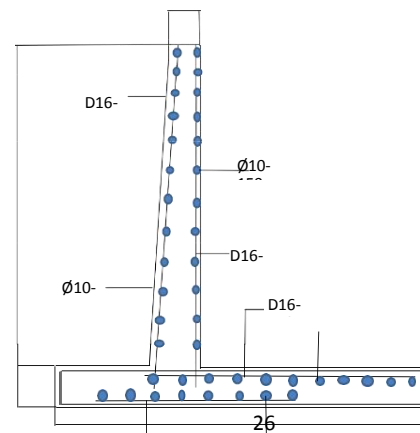
$$\text{dia. Tiang} = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang} = 6.00 \text{ m}$$

$$K_p = \tan^2 \alpha (45 + \phi/2) = 3.255$$

$$\begin{aligned} M_{\text{max}} &= \gamma \times d \times L^3 \times K_p \\ &= 18 \times 0.6 \times 216.00 \times 3.255 \\ &= 7593.264 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_u &= 1.5 \times \gamma \times d \times L^2 \times K_p \\ &= 1.5 \times 18 \times 0.6 \times 36.00 \times 3.255 \\ &= 1898.316 \text{ kN} \end{aligned}$$



Sehingga untuk nilai M_u :

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{2 \times M_u}{e + \frac{2 \times f}{3}} \\ &= \frac{2 \times M_u}{0 + \frac{2 \times 22.4}{3}} \end{aligned}$$

$$1898.3 = \frac{2 \times M_u}{14.76}$$

$$M_u = 14009.5721 \text{ kN.m}$$

$$H_a = \frac{H_u}{S_f}$$

$$= \frac{1898,316}{1,5}$$

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

2. Defleksi Tiang Vertikal Gaya Lateral

Diketahui :

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

E_p = Modulus elastisitas tiang beton

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

$$= 47000 \text{ MPa}$$

I_p = Momen inersia penampang tiang

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

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

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

3. Defleksi lateral tiang ujung jepit

$$Y_0 = \frac{2 \times H a}{L^2 \times n h}$$

$$= \frac{2 \times 1265,54}{36,00 \times 1842}$$

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

OK!

4. Tulangan bore pile

TULANGAN UTAMA

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

$$\text{Berat besi D 19} = 2,233 \text{ kg/m'}$$

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

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

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

$$\text{Luas bore pile} = 282600 \text{ mm}^2$$

$$= 1413 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Jumlah besi D19} = 4,98615 \text{ btg}$$

$$\approx 8 \text{ btg}$$

$$\text{Berat besi D 19} = 107,184 \text{ kg/tiang}$$

$$\text{Total berat besi D 19} = 1929,31 \text{ kg}$$

TULANGAN SENGKANG

$$\text{Berat besi D 10} = 0,61667 \text{ kg/m'}$$

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

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

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

$$\text{Keliling bore pile} = 1,884 \text{ m}$$

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

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

$$\text{Jumlah lilitan} = 41$$

$$\text{Berat sengkang/tiang} = 57,161 \text{ kg}$$

$$\text{Total berat besi D 10} = 857,41 \text{ kg}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Tanah soft soil adalah jenis tanah yang memiliki ciri-ciri lempung halus dengan kekuatan yang rendah dan daya dukung yang kurang baik. Tanah ini umumnya memiliki kadar udara yang tinggi, teksturnya lunak, dan memiliki kepadatan rendah, sehingga rentan terhadap embun beku atau penurunan beban.
2. Perkuatan lereng merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan lereng yang rentan terhadap longsor atau keruntuhan.
3. Kestabilan lereng merupakan kemampuan tanah pada suatu lereng untuk menjaga keseimbangan terhadap gaya-gaya yang dapat menyebabkan longsor atau keruntuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1996). Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill, New York.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice (3rd Edition). Wiley.
- Craig, R. F. (2004). Soil Mechanics (7th Edition). Spon Press, Taylor & Francis.
- Debataraja, T.M.S., 2012, Uji Triaksial Tidak Terkonsolidasi – Tidak Terdrainase dan Uji Tekan Bebas Pada Tanah Di Lokasi PDAM Tirtanadi Medan Marelan dan Prediksi Dengan Metode Elemen Hingga, Tesis Magister Teknik sipil, Universitas Sumatera Utara.
- Terzaghi, Karl, and R. Peck. 1943. Fundamentals of Soil Mechanics.