

PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH KANTILEVER DAN STABILITAS LERENG DENGAN PLAXIS 2D PADA PROYEK JALAN TOL TEBING TINGGI – PARAPAT (STA 57+085)

Farhah Khairunnisa¹, Ahmad Sumantri², Rudianto Surbakti³

Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan^{1,2}, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan
Manajemen Rekayasa Konstruksi Gedung³, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan
farhahkhairunnisa@students.polmed.ac.id¹, ahmadsumantri@polmed.ac.id²,
rudiantosurbakti@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Dalam proyek konstruksi jalan tol, terbentuknya lereng dari pekerjaan timbunan dan galian merupakan tantangan umum. Lokasi yang ditinjau pada proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat, tepatnya di STA 57+085, memiliki timbunan tanah setinggi 6 meter yang rentan longsor. Penelitian ini fokus pada perencanaan dinding penahan tanah tipe kantilever, analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan perhitungan manual dan analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak Plaxis 8.6. Plaxis adalah program komputer berbasis metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara spesifik dalam melakukan analisis stabilitas dan deformasi dan dapat diaplikasikan dalam membuat berbagai macam permodelan geometri dan perkuatan dalam bidang geoteknik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap gaya geser, guling, dan kapasitas daya dukung tanah dan untuk mengetahui angka keamanan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan program Plaxis 8.6. Berdasarkan perhitungan manual stabilitas dinding penahan tanah didapatkan hasil angka keamanan terhadap guling sebesar $3,945 > 2$ (aman), angka keamanan terhadap geser sebesar $3,269 > 1,5$ (aman), dan angka keamanan terhadap kapasitas daya dukung tanah sebesar $5,893 > 3$ (aman). Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan hasil faktor keamanan 1,5614. Dengan nilai angka aman $> 1,25$, maka lereng aman terhadap keruntuhan.

Kata Kunci : Kantilever, Stabilitas Lereng, Plaxis 8.6, Analisis, Faktor Keamanan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada proyek jalan tol seringkali ada timbunan yang tinggi untuk membuat lalu lintas aman dan nyaman. Namun, timbunan yang tinggi meningkatkan beban yang diterima oleh tanah dasar semakin besar. Hal ini dapat mengurangi kestabilan tanah, sehingga mengakibatkan adanya gaya-gaya yang mendorong tanah. Gaya-gaya ini mendorong tanah yang lebih tinggi ke arah bawah, yang dikenal sebagai gaya potensial gravitasi, yang dapat menyebabkan terjadinya longsor (Ulhaq, 2023).

Untuk mencegah terjadinya kelongsoran agar teratasi dengan baik maka perlu dilakukannya beberapa metode diantaranya membuat terasering, menambah timbunan pada kaki lereng dan dipasang konstruksi penahan seperti dinding penahan tanah (DPT). Dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug. Dinding penahan tanah pada pekerjaan ini termasuk dalam jenis dinding penahan tanah berupa struktur kaku Cantilever wall, dengan kestabilan dinding diperoleh dari berat sendiri konstruksi tersebut.

Pada lokasi yang ditinjau yakni Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat Tahap 1 Seksi 4 Ruas Serbelawan – Pematang Siantar (STA 57+085) memiliki timbunan tanah setinggi 6 meter sehingga rentan terjadi kelongsoran. Untuk mencegah terjadinya kelongsoran perlu dilakukan penanganannya. Pada penelitian ini akan membahas tentang perencanaan dinding penahan tanah tipe cantilever wall sesuai dengan data yang didapat di lapangan dan perhitungan stabilitas terhadap gaya geser, guling dan daya dukung tanah serta menganalisis stabilitas lereng menggunakan software Plaxis 8.6.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka perumusan masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- Bagaimana menganalisis kestabilan struktur dinding penahan tanah (*cantilever wall*) untuk menahan gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah?
- Bagaimana perencanaan penulangan struktur dinding penahan tanah (*cantilever wall*)?
- Berapa nilai safety factor lereng dengan menggunakan program Plaxis?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang muncul dalam penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

- Menganalisis kestabilan struktur dinding penahan tanah (Retaining Wall) untuk menahan gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah;
- Merencanakan tulangan yang digunakan untuk struktur dinding penahan tanah (Retaining Wall);
- Untuk mengetahui nilai safety factor lereng dengan menggunakan program Plaxis 2D.

TINJAUAN PUSTAKA

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*retaining walls*) adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menahan tanah dan memberikan stabilitas pada lereng. Berdasarkan cara untuk mencapai kestabilannya, Dinding penahan tanah dibagi menjadi 6 jenis, yaitu:

- Dinding gravitasi, yaitu dinding yang mengandalkan beratnya untuk mencapai kestabilan tanah.
- Dinding kantilever, yaitu dinding beton bertulang yang menggunakan gaya dari bagian kantilever dindingnya untuk menahan massa tanah yang berada di belakang dinding tersebut.
- Dinding pertebalan belakang (*counterfort retaining wall*), dinding ini mirip dengan dinding kantilever, hanya saja yang membedakan dinding ini memiliki bagian tambahan dinding kantilever yang cukup panjang untuk menahan tekanan yang sangat tinggi di belakang dinding dan juga memiliki pertebalan pada bagian belakang dinding
- Dinding pertebalan depan (*buttressed retaining wall*), mirip dengan *counterfort wall* hanya saja pertebalannya berada disebelah depan.
- Dinding kisi (*crib walls*), dinding ini dibangun dari potongan-potongan beton *precast*, logam, atau kayu, dan topang oleh angkur-angkur yang ditanam di dalam tanah untuk mencapai kestabilan tanah.
- Tumpuan jembatan (*bridge abutment*), yaitu dinding dengan perluasan dinding tumpuan (*wing wall*) untuk menahan urugan jalan masuk (*approach fill*) dan juga menahan erosi.

Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding ini terdiri dari kombinasi dinding dengan beton bertulang yang berbentuk huruf T. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan tanah diatas tumit tapak (*heel*). Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi sebagai kantilever, yaitu bagian dinding vertikal (*stem*), tumit tapak (*heel*), dan ujung kaki tapak (*toe*). (Amalia Tanjung, 2016).

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan dinding penahan tanah, beberapa penyebabnya adalah tekanan tanah lateral, yang dapat berakibat pada kestabilan berupa stabilitas guling dan geser. Bentuk dan berat dari konstruksi dinding penahan tanah itu sendiri juga dapat mempengaruhi kestabilannya. Maka dari itu diperlukan perhitungan yang teliti untuk menghitung kestabilan dinding penahan tanah. Beberapa diantaranya adalah kestabilan guling, kestabilan geser, dan daya dukung tanah. Faktor-faktor tersebut akan dikatakan baik dan aman apabila mampu memenuhi nilai *factor safety* (FS).

Stabilitas guling merupakan stabilitas yang ditinjau atas dasar kondisi tanah yang mengalami guling karena diakibatkan oleh tekanan tanah aktif, tekanan tanah aktif yang berada dibagian belakang dinding menghasilkan momen yang menyebabkan terjadinya guling dengan pusat

penggulingan berada dibagian bawah fondasi (Hardiyatmo, 2006). Untuk contoh keadaan guling yang kemungkinan terjadi dapat dilihat pada Gambar 1.

Faktor aman terhadap penggulingan (FS_{guling}) dinyatakan dengan persamaan (1) berikut ini.

$$FS_{guling} = \frac{\Sigma MR}{\Sigma Mo} \geq 2,0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\Sigma Mo = \Sigma Ma \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

ΣMR = jumlah momen yang melawan guling (kN.m)

ΣMo = jumlah momen yang mengakibatkan guling (kN.m)

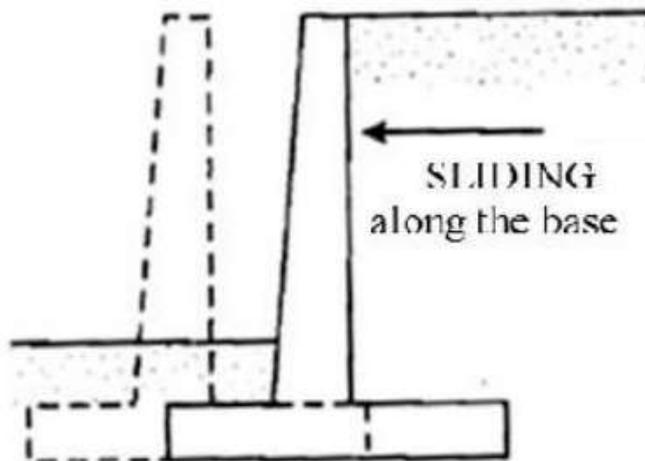


Gambar 1. Stabilitas Terhadap Gaya Guling
Sumber: (M.Das, 2007)

Berdasarkan (BSN, 2017) SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3 faktor keamanan minimum terhadap guling, $F_s \geq 2$.

(Hardiyatmo, 2002) menyatakan, umumnya tekanan tanah pasif yang disebabkan oleh tanah yang berada di depan kaki dinding sering diabaikan dalam perhitungan stabilitas terhadap guling, akan tetapi jika tahanan tanah pasif tetap diperhitungkan maka nilainya harus direduksi untuk mengantisipasi pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

Stabilitas dinding penahan tanah terhadap pergeseran dipengaruhi oleh gaya gesekan antara tanah dengan dasar fondasi serta tekanan tanah positif apabila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan. Untuk contoh keadaan geser yang kemungkinan terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Stabilitas Terhadap Gaya Geser
Sumber: (M.Das, 2007)

Faktor aman terhadap pergeseran dinyatakan dengan persamaan (3).

$$FS_{geser} = \frac{\Sigma FR}{\Sigma Fd} \geq 1,5 \dots\dots\dots(3)$$

Semua gaya dalam arah horizontal cenderung mendorong struktur dinding penahan tanah bergerak pada arah horizontal.

$$\Sigma Fd = \Sigma Pa \dots\dots\dots(4)$$

Dinding penahan tanah harus memiliki lebar telapak yang cukup agar timbul gaya gesekan antara dasar dinding dengan tanah untuk menahan gerakan akibat gaya-gaya horizontal. Besarnya gaya gesekan yang timbul pada dasar dinding tergantung pada berat konstruksi dinding penahan tanah serta koefisien gesekan. Untuk tanah yang memiliki $c > 0$ dan $\phi > 0$ dinyatakan dengan persamaan (5).

$$FR = (\Sigma V) \tan \delta' + Bc'a \dots\dots\dots(5)$$

Gaya pasif (P_p) juga merupakan gaya penahan horizontal, sehingga menjadi persamaan (6).

$$FS_{geser} = \frac{(\Sigma V) \tan \delta' + Bc'a + \Sigma P_p}{\Sigma P_{ah}} \dots\dots\dots(6)$$

Dalam banyak kasus, gaya pasif diabaikan dalam menghitung faktor keamanan. Secara umum, dapat ditulis $\delta' = k_1 \phi_2$ dan $c'a = k_2 c_2$. Dalam kebanyakan kasus, k_1 dan k_2 berada dalam kisaran $\frac{1}{3}$ sampai $\frac{2}{3}$. Maka dapat dinyatakan,

$$FS_{geser} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi_2) + B(k_2 c_2) + \Sigma P_p}{\Sigma P_{ah}} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan:

- ΣFR = tahanan dinding penahan tanah terhadap geser
- ΣV = jumlah gaya vertikal (kN)
- δ' = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi
- $c'a$ = $a_d \cdot c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)
- c = kohesi tanah dasar (kN/m²)
- a_d = faktor adhesi
- B = lebar fondasi
- ΣPh = jumlah gaya-gaya horizontal

Berdasarkan (BSN, 2017) SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3 faktor keamanan minimum terhadap geser, $F_s \geq 1,5$.

Hardiyatmo (2002) menyatakan, digunakan beberapa persamaan dalam menghitung stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah antara lain adalah persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi (1943), Mayerhof (1951), Hansen (1970) dan Vesic (1975). Dalam menghitung stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah umumnya digunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk mengetahui tegangan ultimit, kemudian metode Terzaghi (1943) untuk mengetahui tagangan maksimal dan tegangan minimal. Distribusi tegangan tanah akibat beban struktur dinding penahan tanah dapat dilihat di Gambar 3.

Eksentrisitas (e)

Dilakukan pengecekan terhadap eksentrisitas momen yang terjadi terhadap lebar kaki dinding penahan tanah. Hal tersebut dapat dihitung dengan persamaan (8).

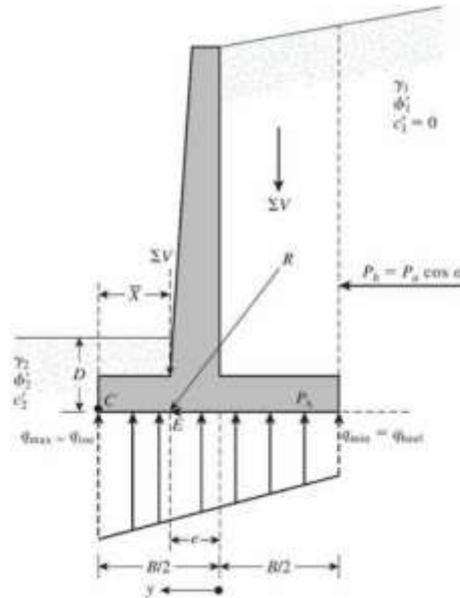
$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma MR - \Sigma MO}{\Sigma V} \dots\dots\dots(8)$$

Tekanan akibat beban struktur (q)

Hardiyatmo, (2002) menyatakan bahwa dalam perancangan, lebar fondasi dinding penahan dirancang sedemikian sehingga $e < B/6$. Hal ini bertujuan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar sehingga mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan.

$$q_{maks} = q_{kaki} = \frac{\Sigma V}{B \times 1} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots(9)$$

$$q_{min} = q_{tumpit} = \frac{\Sigma V}{B \times 1} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots(10)$$



Gambar 3. Distribusi Tegangan Tanah Akibat Beban Struktur DPT
Sumber: (Das, 2011)

Kapasitas daya dukung ultimit (qu)

Dalam perhitungan stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar menggunakan faktor-faktor kapasitas dukung bergantung pada sudut geser dalam tanah. Nilai kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan persamaan (11) dibawah ini.

$$q_u = c.Nc.Fcd.Fci + q.Nq.Fqd.Fqi + 0,5.γ.B'.Nγ.Fγd.Fγi \dots\dots\dots(11)$$

$$q = γ.D \dots\dots\dots(12)$$

$$B' = B - 2e \dots\dots\dots(13)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \times \tan \phi^2 \times (1 - \sin \phi^2) \times \frac{D}{B'} \dots\dots\dots(14)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \left(\frac{1-F_{qd}}{N_c \times \tan \phi^2}\right) \dots\dots\dots(15)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \dots\dots\dots(16)$$

$$\psi^\circ = \tan^{-1} \times \left(\frac{P_a}{\Sigma V}\right) \dots\dots\dots(17)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2 \dots\dots\dots(18)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\Psi^\circ}{\phi 2}\right)^2 \dots\dots\dots(19)$$

Dengan:

- $F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = faktor kedalaman
- $F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = faktor kemiringan beban
- B' = lebar efektif kaki dinding penahan (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m^3)
- N_c, N_q, N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung

Faktor keamanan terhadap keruntuhan kapasitas dukung dapat dihitung dengan persamaan (20) berikut.

$$FS_{\text{kapasitas dukung}} = \frac{qu}{q_{maks}} \geq 3 \dots\dots\dots(20)$$

Dengan:

- q_u = tekanan tanah ultimit (kN/m^2)
- q = tekanan akibat beban struktur (kN/m^2)

METODE PENELITIAN

Secara umum, perencanaan suatu pekerjaan memerlukan pedoman. Pedoman ini bisa berupa data, baik teknis maupun non-teknis. Data tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan, sehingga hasil yang dicapai setelah pelaksanaan diharapkan sesuai dengan maksud dan tujuan pekerjaan tersebut. Data yang digunakan sebagai dasar evaluasi dan analisis penelitian ini berupa data sekunder. Adapun data sekunder yang diperlukan pada penelitian ini di antaranya adalah:

1. Data tanah
Data tanah yang dibutuhkan meliputi:
 - a. berat volume tanah (γ),
 - b. kohesi (c), dan
 - c. sudut geser dalam tanah (ϕ).

2. Data dinding penahan tanah
Data dinding penahan tanah yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut:
 - a. dimensi dinding penahan tanah,
 - b. mutu beton yang digunakan ($f'c$), dan
 - c. berat volume beton (γ_c).

Subjek penelitian dalam konteks penelitian ini adalah proyek jalan Tebing Tinggi – Parapat (STA 57+085). Lokasi pekerjaan ini di Kota Tebing Tinggi, Sumatera Utara. Penelitian ini akan memfokuskan pada pada 57+085 sebagai objek yang mewakili ruas timbunan jalan tersebut. Subjek penelitian ini akan melibatkan karakteristik seperti, tebal dan lapisan tanah dan bentuk kantilever.

Rancangan penelitian yang digunakan meliputi penentuan lokasi yang akan dijadikan sebagai lokasi penelitian dan menyelesaikan administrasi penelitian. Kemudian peneliti melakukan survei lokasi yang menjadi objek penelitian serta mengidentifikasi masalah yang ada di dalam lokasi penelitian, serta menentukan rumusan masalah, tujuan penelitian dan batasan-batasan masalah. Peneliti mulai mengumpulkan data-data yang dibutuhkan berupa pengumpulan data propertis tanah dari hasil laboratorium, dan data stratifikasi tanah dari hasil boring serta data dimensi dan bentuk kantilever yang akan dibangun

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menggunakan metode analitis sebagai berikut ini:

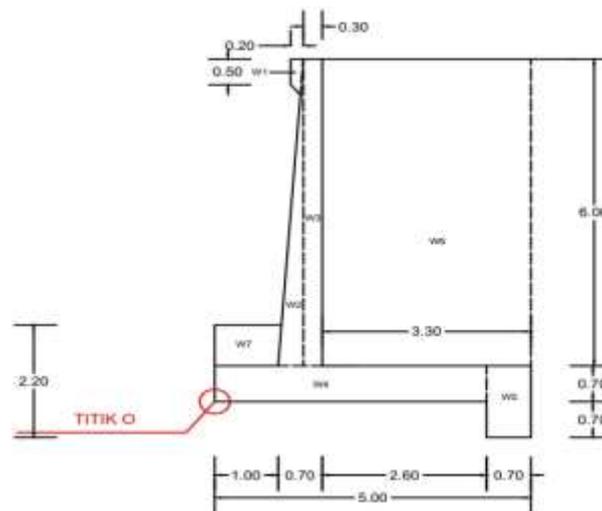
Data tanah yang digunakan mengacu pada hasil penyelidikan tanah pada proyek jalan tol Tebing tinggi – Siantar (STA57+085). Adapun data tanah dan beban yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data Parameter Tanah dan Beban

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tanah Lapis 1		
	Berat volume tanah (γ_1)	17,5	kN/m^3
	Sudut geser (ϕ)	29,31	$^\circ$
2.	Tanah Lapis 2		
	Berat volume tanah (γ_2)	18	kN/m^3
	Sudut geser (ϕ)	16	$^\circ$
3.	Kohesi (c)	0	kN/m^2
	Beban merata (q)	15	kN/m^2

Menghitung Berat Dinding Penahan Tanah

Perhitungan dilakukan berdasarkan bagian-bagian yang telah ditentukan untuk mempermudah perhitungan. Adapun pembagian pias-pias dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Distribusi Beban pada Dinding Penahan Tanah

Berikut perhitungan gaya vertikal yang bekerja pada dinding penahan tanah.

1. Bidang 1

W1 (bidang tak beraturan)

$$\text{Keliling} = \frac{0,2+0,5+0,3+0,7}{2} = 0,85$$

$$\text{Luas} = \sqrt{(0,85 - 0,2) \times (0,85 - 0,5) \times (0,85 - 0,3) \times (0,85 - 0,7)}$$

$$= 0,137 \text{ m}^2$$

$$\text{W1} = 0,137 \times \gamma b$$

$$= 0,137 \times 24 = 3,29 \text{ kN}$$

2. Bidang 2

$$\text{W2} = \frac{1}{2} \times b \times h \times \gamma b$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,4 \times 6 \times 24 = 28,80 \text{ kN}$$

3. Bidang 3

$$\text{W3} = b \times h \times \gamma b$$

$$= 0,3 \times 6 \times 24 = 43,20 \text{ kN}$$

4. Bidang 4

$$\text{W4} = b \times h \times \gamma b$$

$$= 4,3 \times 0,7 \times 24$$

$$= 72,24 \text{ kN}$$

5. Bidang 5

$$W5 = b \times h \times \gamma_b$$

$$= 0,7 \times 1,4 \times 24$$

$$= 23,52 \text{ kN}$$
6. Bidang 6

$$W6 = b \times h \times \gamma$$

$$= 3,3 \times 6 \times 17,5$$

$$= 346,50 \text{ kN}$$
7. Bidang 7

$$W7 = \left((b \times h) + \left(\frac{1}{2} \times b \times h \right) \right) \gamma_2$$

$$= ((1 \times 0,8) + \left(\frac{1}{2} \times 0,053 \times 0,8 \right)) \times 18$$

$$= 14,78 \text{ kN}$$

Perhitungan Gaya dan Momen Vertikal

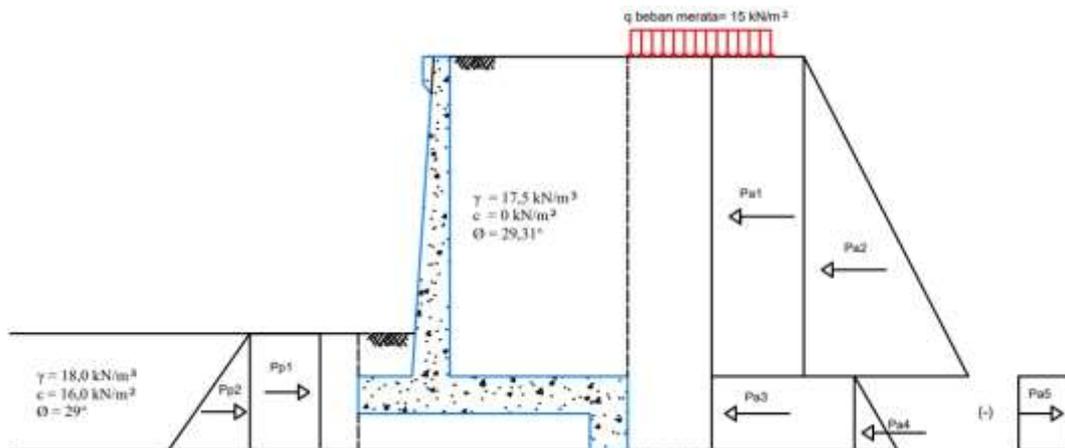
Setelah menghitung berat pada dinding penahan tanah, selanjutnya menghitung besaran momen penahan (M_R), terhadap titik O. Adapun hasil perhitungan dari gaya-gaya vertikal dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah

Bidang	Luas area (m ²)	γ (kN/m ³)	Berat = Luas x γ (kN/m)	Jarak pusat berat terhadap titik O (m)	Momen terhadap titik O (kN.m)
W1	0,137	24	3,29	1,27	4,18
W2	1,2	24	28,80	1,26	36,29
W3	1,8	24	43,20	1,55	66,96
W4	3,01	24	72,24	2,15	155,32
W5	0,98	24	23,52	4,65	109,37
W6	19,8	17,5	346,50	3,35	1160,78
W7	0,821	18	14,78	0,51	7,54
		$\Sigma V =$	532,33	$\Sigma MR =$	1540,42

Tekanan Tanah Lateral

Perhitungan tekanan tanah lateral yang terjadi pada dinding penahan tanah meliputi perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif. Untuk menghitung tekanan tanah lateral aktif dan pasif diperlukan perhitungan nilai koefisien tekanan tanah aktif dan pasif dari setiap lapisan tanah pada struktur dinding penahan tanah. Ditinjau dinding penahan tanah dengan tanah urug berupa pasir yang di atasnya terdapat beban terbagi rata (q). Diagram tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral DPT

1. Menghitung koefisien tekanan tanah

Koefisien tekanan tanah aktif dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_{a1} &= \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} \\ &= \frac{1-\sin(29,31^\circ)}{1+\sin(29,31^\circ)} \\ &= 0,3427 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a2} &= \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} \\ &= \frac{1-\sin(29^\circ)}{1+\sin(29^\circ)} \\ &= 0,347 \end{aligned}$$

Koefisien tekanan tanah pasif dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \\ &= \frac{1+\sin(29^\circ)}{1-\sin(29^\circ)} \\ &= 2,882 \end{aligned}$$

2. Perhitungan tekanan tanah aktif

Perhitungan tekanan tanah aktif dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Pa_1 &= H_1 \times q \times K_{a1} \\ &= 6 \times 15 \times 0,3427 \\ &= 30,843 \text{ kN} \\ Pa_2 &= \frac{1}{2} \times \gamma_1 \times H_1^2 \times K_{a1} \\ &= \frac{1}{2} \times 17,5 \times 6^2 \times 0,3427 \\ &= 107,951 \text{ kN} \\ Pa_3 &= (q + \gamma_1 \times H_1) \times K_{a2} \times H_2 \\ &= (15 + 17,5 \times 6) \times 0,347 \times 1,41 \\ &= 58,291 \text{ kN} \\ Pa_4 &= \frac{1}{2} \times \gamma_2 \times H_2^2 \times K_{a2} \\ &= \frac{1}{2} \times 18 \times 1,4^2 \times 0,347 \\ &= 6,120 \text{ kN} \\ Pa_5 &= -2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_2 \\ &= -2 \times 16 \times \sqrt{0,347} \times 1,4 = -26,389 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan tanah lateral aktif yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Aktif

Tekanan Tanah	Rumus	Gaya (kN)	Jarak ke O (m)	Momen (kNm)	Keterangan
Pa1	$H_1 \times q \times K_{a1}$	30,843	3,7	114,120	akibat beban merata
Pa2	$\frac{1}{2} \times \gamma_1 \times H_1^2 \times K_{a1}$	107,951	2,7	291,467	akibat tekanan tanah lapis 1
Pa3	$(q + \gamma_1 \times H_1) \times K_{a2} \times H_2$	58,291	0,0	0,0	Akibat beban merata dan tekanan tanah lapis 1
Pa4	$\frac{1}{2} \times \gamma_2 \times H_2^2 \times K_{a2}$	6,121	-0,23	-1,428	akibat tekanan tanah lapis 2
Pa5	$-2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_2$	-26,389	0,0	0,0	akibat kohesi aktif pada tanah lapis 2
	$\Sigma Pa =$	176,817	$\Sigma Ma =$	404,159	

Perhitungan tekanan tanah pasif

Perhitungan tekanan tanah pasif dapat dihitung dengan persamaan (18) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Pp1 &= \frac{1}{2} \times \gamma \times H^3 \times Kp \\
 &= \frac{1}{2} \times 18 \times 2,2^2 \times 2,882 \\
 &= 125,54 \text{ kN} \\
 Pp2 &= 2 \times c \times \sqrt{Kp} \times H \\
 &= 2 \times 16 \times \sqrt{2,882} \times 2,2 \\
 &= 119,52 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan tanah lateral pasif yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Tanah Pasif

Tekanan Tanah	Rumus	Gaya (kN)	Jarak ke O (m)	Momen (kNm)	Keterangan
Pp1	$\frac{1}{2} \times \gamma \times H^3 \times Kp$	125,543	0,4	50,217	akibat tekanan tanah yang mempengaruhi
Pp2	$2 \times c \times \sqrt{Kp} \times H$	119,515	0,03	3,984	akibat kohesi aktif
	$\Sigma Pp =$	245,058	$\Sigma Mp =$	54,201	

Pemeriksaan Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan

Faktor keamanan terhadap guling dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$FS_{guling} = \frac{\Sigma MR}{\Sigma Mo} > 2$$

Momen pasif tanah berfungsi juga sebagai momen penahan. Momen yang menghasilkan guling (Mo), dapat dilihat dari persamaan yaitu $\Sigma Mo = \Sigma Ma$, sehingga:

$$\begin{aligned}
 FS_{guling} &= \frac{\Sigma MR + \Sigma MP}{\Sigma Mo} \\
 &= \frac{1540,421 + 54,201}{404,159} \\
 &= 3,945 > 2 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan faktor aman terhadap guling (FS_{guling}) > 2 maka dinding penahan tanah aman terhadap bahaya guling.

Stabilitas Terhadap Penggeseran

Faktor keamanan terhadap geser dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$FS_{geser} = \frac{\Sigma FR}{\Sigma Fd} \geq 1,5$$

Gaya aktif tanah (Pa) selain menimbulkan terjadinya momen juga menimbulkan gaya dorong sehingga dinding akan bergeser yaitu:

$$\Sigma Fd = \Sigma Pa = 176,817 \text{ kN/m}$$

Gaya penahan tanah per satuan panjang dinding di sepanjang bagian bawah telapak dinding. Diambil nilai $K_1 = K_2 = \frac{2}{3}$, maka untuk tanah yang memiliki $c > 0$ dan $\phi > 0$ dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 FR &= (\Sigma V) \times \tan(K_1 \times \phi) + (B \times K_2 \times c) \\
 &= (532,33) \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 29^\circ\right) + (5,0 \times \frac{2}{3} \times 16)
 \end{aligned}$$

$$= 333,031 \text{ kN/m}$$

Maka total gaya penahan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma FR &= FR + Pp \\ &= 333,031 + 245,058 \\ &= 578,089 \end{aligned}$$

Faktor keamanan terhadap geser, yaitu:

$$\begin{aligned} FS_{\text{geser}} &= \frac{\Sigma FR}{\Sigma Fd} \\ &= \frac{578,089}{176,817} \\ &= 3,269 > 1,5 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan faktor aman terhadap geser $FS_{\text{geser}} > 1,5$ maka dinding penahan tanah aman terhadap bahaya geser.

Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan kapasitas dukung tanah dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$FS_{\text{kapasitas dukung}} = \frac{q_u}{q_{\text{maks}}} > 3$$

Gaya-gaya horizontal dan vertikal pada dinding akan menimbulkan tegangan pada tanah. Apabila tegangan yang timbul melebihi tegangan ijin tanah, maka akan terjadi penurunan tanah. Berikut ini beberapa langkah yang akan dilakukan untuk menghitung stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah.

Maka kapasitas dukung izin diperoleh:

$$\begin{aligned} q_u &= (16 \times 27,86 \times 1,161 \times 0,633) + (39,6 \times 16,44 \times 1,152 \times 0,633) \\ &\quad + \left(\frac{1}{2} \times 18 \times 4,269 \times 19,34 \times 1,000 \times 0,134\right) \\ &= 902,532 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah, yaitu:

$$\begin{aligned} FS_{\text{kapasitas dukung}} &= \frac{q_u}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{902,532}{153,161} \\ &= 5,893 > 3 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan faktor aman terhadap kapasitas dukung tanah, $FS_{\text{kapasitas dukung}} > 3$ maka dinding penahan tanah aman terhadap keruntuhan tanahnya. Rekapitulasi keseluruhan perhitungan stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever terhadap stabilitas terhadap stabilitas guling, stabilitas geser, dan kapasitas daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas DPT

Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Kapasitas Daya Dukung Tanah	Cek
3,945 > 2	3,269 > 1,5	5,893 > 3	OK

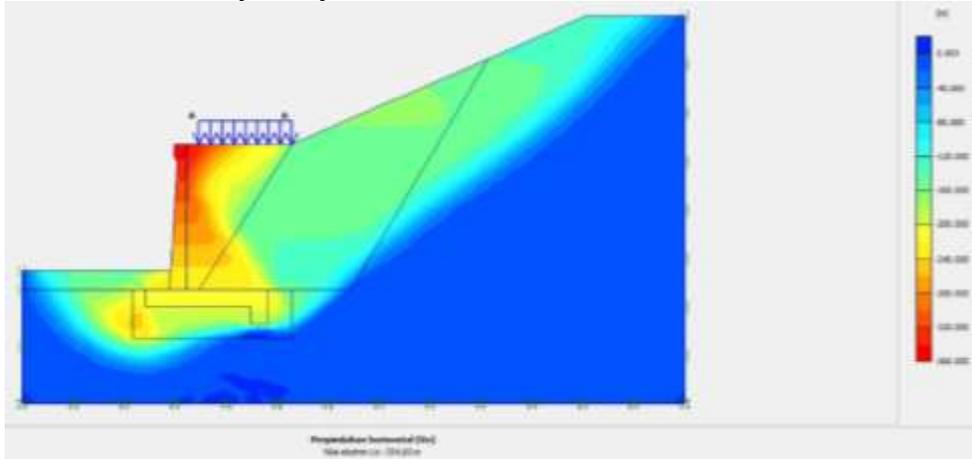
Hasil Perhitungan Plaxis 2D terhadap Penurunan Tanah

Angka faktor keamanan yang didapatkan sebesar $1,5614 > 1,25$. Hasil *output safety factor* atau faktor keamanan dan bidang longsor yang dikeluarkan melalui program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 8.

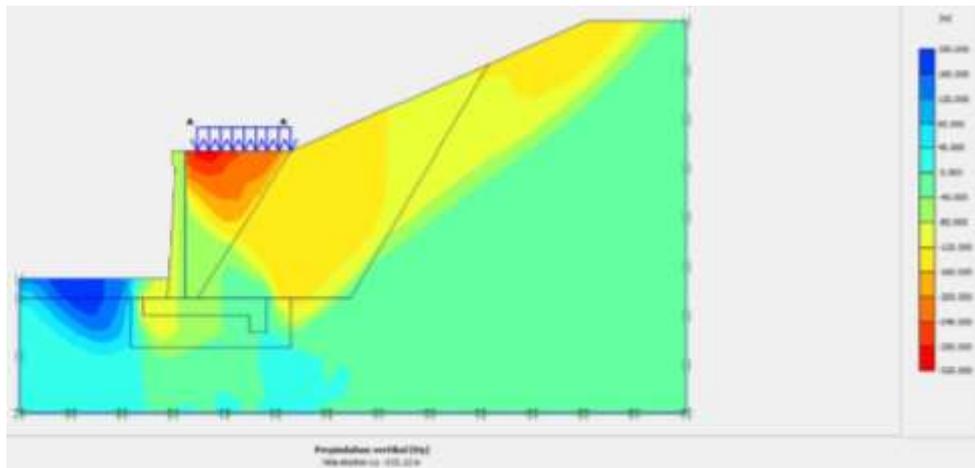
Analisis stabilitas dinding penahan tanah pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat (STA 57+085) dilakukan dengan metode manual dan bantuan program Plaxis 8.6. Perhitungan stabilitas

dinding penahan tanah untuk mengetahui keamanan terhadap guling, geser, kapasitas daya dukung tanah dan perhitungan kebutuhan tulangan pada dinding penahan tanah. Analisis dengan bantuan program Plaxis 8.6 digunakan untuk mengetahui nilai angka keamanan terhadap longsor.

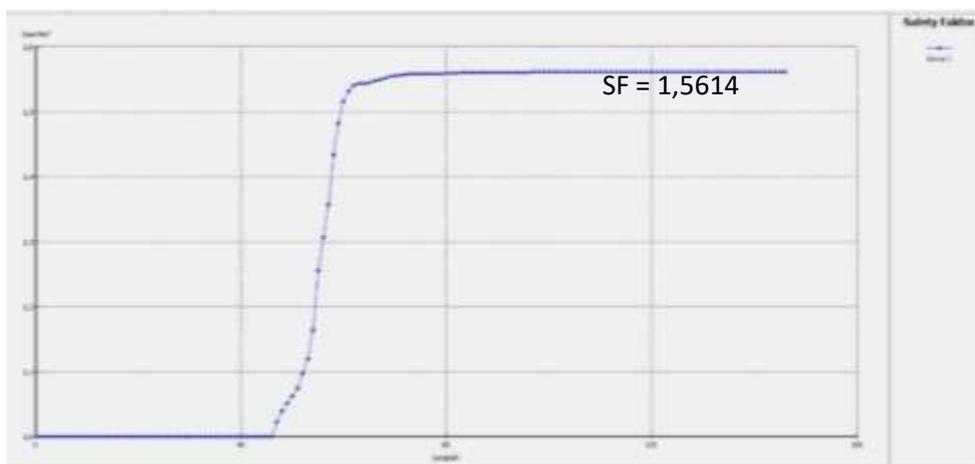
Hasil perhitungan secara manual yang diperoleh pada dinding penahan tanah terhadap stabilitas guling sebesar 3,945, hasil tersebut telah memenuhi syarat angka aman sebesar 2. Hasil terhadap stabilitas geser sebesar 3,269, hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Hasil terhadap kapasitas daya dukung tanah sebesar 5,893, hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 3. Dengan begitu, maka secara keseluruhan bangunan dinding penahan tanah tipe kantilever telah memenuhi syarat-syarat stabilitas.



Gambar 6. Perpindahan Horizontal Terhadap Bidang Longsor



Gambar 7. Perpindahan Vertikal Terhadap Bidang Longsor



Gambar 8. Grafik Safety Factor

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan analisis dengan perhitungan manual terhadap stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. cek terhadap stabilitas guling memiliki nilai angka keamanan sebesar $3,945 > 2$,
 - b. cek terhadap stabilitas geser memiliki nilai angka keamanan sebesar $3,269 > 1,5$, dan
 - c. cek terhadap kapasitas daya dukung tanah memiliki nilai angka keamanan sebesar $5,893 > 3$.
2. Hasil perhitungan stabilitas lereng dengan struktur dinding penahan tanah tipe kantilever pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat (STA 57+085) menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,5614. Dengan nilai angka aman yang diperoleh melebihi 1,25 dari yang disyaratkan maka dianggap aman terhadap keruntuhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu penyelesaian penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung yaitu:

- a. Dr. Ir. Idham Kamil, S.T., M.T., sebagai Direktur Politeknik Negeri Medan
- b. Dr. Rini Indahwati, S.E, Ak., M.Si., sebagai Kepala P3M Politeknik Negeri Medan
- c. Agus Edy Rangkuti, S.E., M.Si., selaku Wakil Direktur Wakil Direktur Bidang Akademik Politeknik Negeri Medan
- d. Ferry Fachrizal, S.T., M.Kom., selaku Wadir Wakil Direktur Bidang Perencanaan Keuangan dan Umum Politeknik Negeri Medan
- e. Marsedes Purba, B.Sc., Ci.Eng., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan
- f. Ahmad Sumatri, S.T., M.T. dan Rudianto Surbakti, S.T., M.T. selaku Anggota sekaligus Dosen Pembimbing Laporan Akhir HAKIM

Semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak dapat dijadikan sebagai ilmu dan pengalaman yang bermanfaat untuk penulis gunakan pada masa yang akan datang. Laporan dan publikasi dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pembaca dan peneliti dari berbagai disiplin ilmu khususnya di bidang teknik sipil.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. (1977). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*,. USA: McGraw-Hill Book Company.
- BSN. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Budhu, M. (2000). *Soil Mechanics and Foundations*. New York: John Wiley & Sons.
- Das, B. M. (2011). *Principle of Foundation Engineering, 7th Edition*. Stamford USA: Cengage Learning.
- Hardiyatmo. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah.
- M.Das, B. (2007). *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknik)*. Thomson.
- Nasional, B. S. (2004). *RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Prasetyo, R. (2020). *dspace.uui*. Retrieved from <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/28382/13511321%20Rendy%20Prasetyo.pdf?sequence=1>.

Setiawan, A. (2018). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga.

Surendro, B. (2015). *Mekanika Tanah. Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Yogyakarta: Andi.

Ulhaq, E. D. (2023). *Analisis dinding penahan tanah dengan perkuatan geotekstil*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.