



Studi Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever Pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Jembatan Boulevard II)

Jeshika D. Mandiangan^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Steeva G. Rondonuwu^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ajeshikadorothy@gmail.com; ^blegransroski@unsrat.ac.id; ^csteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id

Abstrak

Dinding penahan tanah tipe kantilever yang digunakan pada oprit jembatan Boulevard II perlu dipastikan kestabilannya terhadap guling, geser, daya dukung tanah, kestabilan global dan deformasi lateral yang terjadi. Tulisan ini menitikberatkan pada analisis kestabilan dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan metode analitik dan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D. Hasil analisis diperoleh nilai faktor keamanan terhadap kestabilan terhadap guling yakni 3,36, terhadap geser yakni 5,22 dan terhadap daya dukung sebesar 10,78. Analisis kestabilan global dilakukan terhadap dinding penahan tanah dengan dan tanpa perkuatan geogrid pada tanah timbunan. Pada analisis metode LEM (Simplified Bishop) diperoleh nilai factor keamanan masing-masing 1,470 untuk dinding tanpa perkuatan dan 1,954 untuk dinding dengan perkuatan. Analisis kestabilan dengan metode elemen hingga (PLAXIS 2D) menghasilkan factor keamanan sebesar 1,467 untuk dinding tanpa perkuatan dan 1,764 untuk dinding dengan perkuatan. Analisis deformasi lateral dilakukan dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D, menghasilkan deformasi lateral sebesar 0,46 m untuk dinding tanpa perkuatan, dan 1.0 m untuk dinding dengan perkuatan. Deformasi untuk dinding tanpa perkuatan melebihi deformasi lateral maksimum sebagaimana diatur dalam SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Deformasi lateral pada dinding dengan perkuatan memenuhi deformasi maksimum untuk dinding dengan perkuatan menurut AASHTO 2017. Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa dinding penahan tanah tipe kantilever dengan perkuatan geogrid pada oprit jembatan memenuhi persyaratan kestabilan terhadap guling, geser, daya dukung, global dan deformasi lateral.

Kata kunci: stabilitas, dinding penahan tanah tipe kantilever, oprit Jembatan Boulevard II

1. Pendahuluan

Dinding penahan tanah merupakan suatu konstruksi yang digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi (Hardiyatmo, 2002). Suatu dinding penahan tanah berada dalam kondisi stabil apabila telah diperhitungkan faktor keamanannya terhadap bahaya penggulingan, pergeseran, daya dukung tanah, kestabilan global dan deformasi lateral.

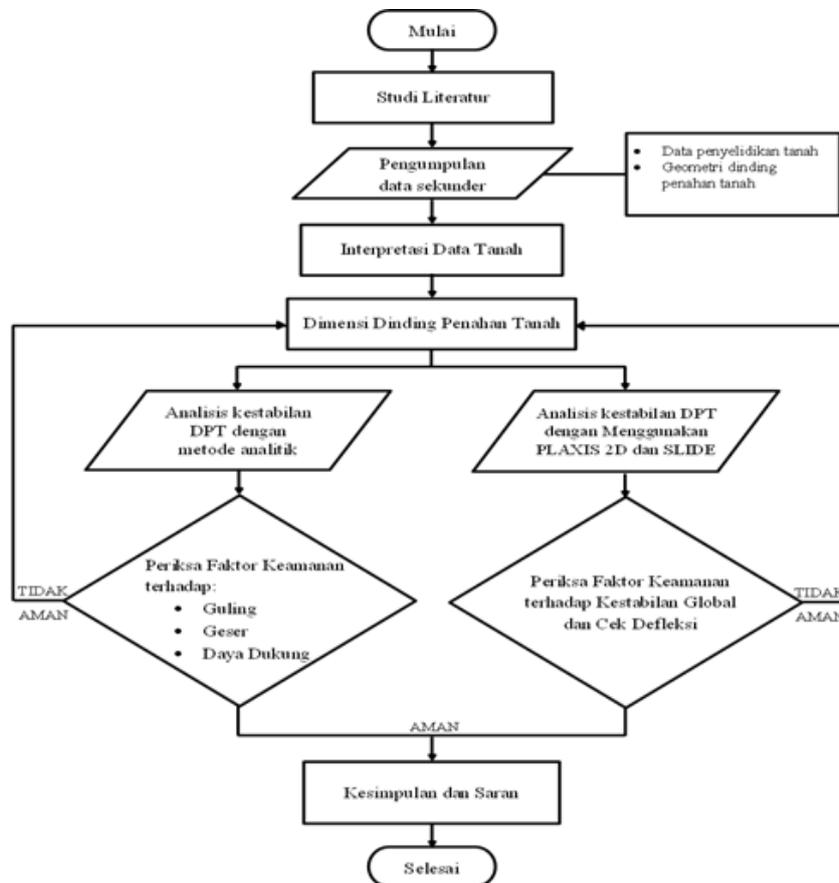
Untuk mempermudah proses analisis, telah banyak tersedia perangkat lunak baik yang berbasis LEM maupun FEM. PLAXIS 2D merupakan salah satu perangkat lunak pemodelan berbasis elemen hingga yang mampu melakukan analisis terhadap permasalahan geoteknik. Program ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program. Dengan demikian, diharapkan respon yang dihasilkan dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan. Selain PLAXIS, perangkat lunak lainnya yang dapat digunakan adalah SLIDE. SLIDE adalah perangkat lunak berbasis LEM yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng. SLIDE dapat juga digunakan untuk menganalisis kestabilan global dari konstruksi dinding penahan tanah.

Oprit Jembatan Boulevard II dirancang menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever untuk menahan beban yang ada baik dari tanah, beban konstruksi itu sendiri, dan juga beban lalu lintas. Untuk itu, dilakukan studi stabilitas dinding penahan tanah untuk mengetahui kestabilan dinding penahan tanah eksisting di lokasi. Analisis kestabilan dinding penahan tanah pada Oprit Jembatan Boulevard II menggunakan program bantu, yaitu PLAXIS 2D dan SLIDE.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kestabilan dinding penahan tanah yang meliputi kestabilan terhadap guling, geser, daya dukung dan kestabilan global yang menggunakan metode LEM dan metode FEM, serta deformasi yang terjadi akibat pembebanan yang ada.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Oprit Jembatan Boulevard II arah Molas (Google Earth, 2023)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

2. Tahapan Analisis

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan mekanisme yang dimulai dari studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan informasi dan referensi yang dapat mendukung dan menjadi acuan dalam penelitian. Selanjutnya dilakukan survei lokasi penelitian yang berlokasi di Oprit Jembatan Boulevard II. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data sekunder yang didapatkan dari PT. Pasifik Nusa Indah selaku penyedia jasa dalam pelaksanaan konstruksi di lokasi penelitian berupa data hasil penyelidikan tanah dan juga geometri dinding penahan tanah. Data N-SPT lapangan yang telah diperoleh akan diolah untuk mendapatkan parameter tanah yang digunakan dalam analisis kestabilan dinding penahan tanah. Dimensi dinding penahan tanah yang digunakan berdasarkan data sekunder yang sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan. Analisis kestabilan dinding penahan tanah dengan metode analitik untuk memperoleh nilai faktor keamanan terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah. Dilakukan juga analisis menggunakan PLAXIS 2D dan SLIDE untuk memperoleh nilai faktor keamanan terhadap kestabilan global. Deformasi lateral dinding penahan diperoleh dari PLAXIS 2D. Setelah analisis selesai dilakukan, maka penelitian diakhiri dengan menarik kesimpulan dan saran.

Dalam menganalisis kestabilan dinding penahan tanah, adapun tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- **Tahap 1:** menghitung berat sendiri segmen dinding penahan tanah dan segmen tanah yang berada di atas struktur dinding penahan tanah beserta dengan beban kendaraan yang bekerja di atas struktur.

$$W = A \times \gamma$$

Perhitungan momen yang terjadi akibat berat segmen:

$$M = W \times X$$

- **Tahap 2:** menghitung tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah, yaitu tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Terlebih dahulu dihitung koefisien tekanan tanah aktif menggunakan metode Coulomb.

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Perhitungan tekanan tanah aktif menggunakan persamaan berikut:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Perhitungan koefisien tekanan tanah pasif menggunakan metode Coulomb.

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\beta + \alpha)}} \right)^2} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Perhitungan tekanan tanah pasif menggunakan persamaan berikut.

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Selanjutnya, dihitung momen yang bekerja akibat tekanan tanah lateral.

- **Tahap 3:** menghitung stabilitas terhadap penggulingan, penggeseran, dan daya dukung tanah dengan menggunakan persamaan berikut ini.

Stabilitas terhadap penggulingan dengan faktor keamanan minimum berdasarkan SNI 8460:2017 adalah sebesar 2.

$$SF = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \geq 2 \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Stabilitas terhadap penggeseran dengan faktor keamanan minimum berdasarkan SNI 8460:2017 adalah sebesar 1,5.

$$SF = \frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} \geq 1,5 \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Pada analisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap daya dukung tanah, perlu dihitung terlebih dahulu nilai kapasitas dukung ultimit (q_{ult}) menggunakan metode Terzaghi, eksentrisitas (e), dan juga kapasitas dukung tanah pondasi (q).

$$q_{ult} = c \times N_c + D_f \times \gamma \times N_q + 0,5 \times B \times \gamma' \times N_\gamma$$

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V} \right) \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Bila $e \leq B/6$

$$q = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Bila $e \geq B/6$

$$q_{maks} = \frac{4V}{3(B-2e)} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Kemudian, bisa dihitung stabilitas dinding penahan tanah terhadap daya dukung tanah dengan faktor keamanan minimum berdasarkan SNI adalah sebesar 3.

$$SF = \frac{q_u}{q_{max}} \geq 3 \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

- **Tahap 4:** Pada *output* analisis yang dilakukan dengan PLAXIS 2D, dapat dilihat besaran nilai deformasi yang terjadi. Untuk itu, perlu dihitung deformasi lateral maksimum. Perpindahan lateral dalam AASHTO (2017) adalah sebagai berikut.

$$\delta_{max} = \frac{\delta_{RH}}{150} \quad \text{for walls with "inextensible" reinforcements}$$

Dimana perlu dihitung terlebih dahulu nilai δ_R menggunakan persamaan berikut.

$$\delta_R = 11,81 \left(\frac{L}{H} \right)^4 - 42,25 \left(\frac{L}{H} \right)^3 + 57,16 \left(\frac{L}{H} \right)^2 - 35,45 \left(\frac{L}{H} \right) + 9,471$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

Nilai SPT yang didapatkan diolah kemudian digunakan pada perhitungan-perhitungan selanjutnya. Hasil koreksi data SPT dan korelasi parameter tanah ditampilkan pada Tabel 1.

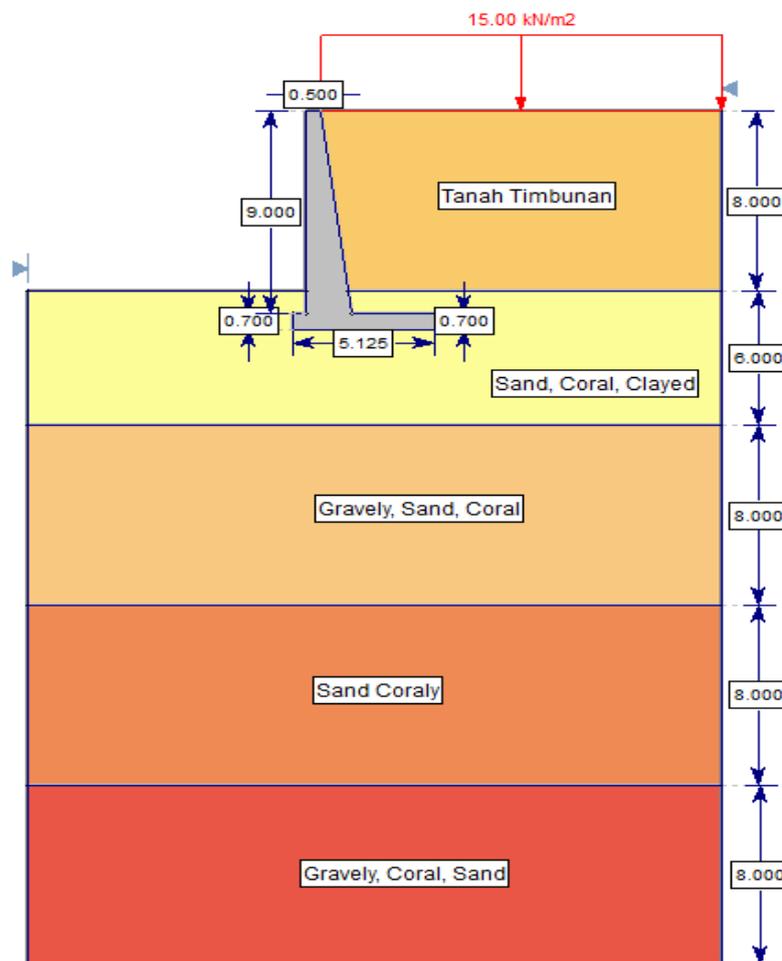
Tabel 1. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

SEGMENT	Depth	Description Soil	N-SPT	Thickness	N60	ϕ °	γ (t/m ³)	Es (kPa)	
	(m)			(m)					
1	0,00	SAND, CORAL, CLAYED	12	2,00	9,96	32	1,73	22092	
	1,00								
	2,00								
2	3,00		26	2,00	21,58	38	1,85	32518	
	4,00								
3	5,00		30	2,00	24,9	39	1,89	34930	
	6,00								
4	7,00		GRAVELY, SAND, CORAL	32	2,00	26,56	40	1,90	36075
	8,00								
5	9,00			31	2,00	25,73	39	1,89	35507
	10,00								
6	11,00	46		2,00	38,18	43	2,02	43253	
	12,00								
7	13,00	46		2,00	38,18	43	2,02	43253	
	14,00								
8	15,00	SAND CORALY		45	2,00	37,35	43	2,01	42780
	16,00								
9	17,00			47	2,00	39,01	44	2,03	43721
	18,00								
10	19,00		47	2,00	39,01	44	2,03	43721	
	20,00								
11	21,00		51	2,00	42,33	45	2,06	45543	
	22,00								

SEGMENT	Depth	Description Soil	N-SPT	Thickness	N60	ϕ	γ	Es
	(m)			(m)				
12	23,00	GRAVELY, CORAL, SAND	54	2,00	44,82	45	2,09	46863
	24,00							
13	25,00							
	26,00							
14	27,00							
	28,00							
15	29,00							
	30,00							

3.2 Data Geometri Lereng dan Tanah Timbunan

Dinding penahan tanah tipe kantilever pada Oprit Jembatan Boulevard II yang diteliti berdasarkan kondisi eksisting di lokasi penelitian memiliki tinggi 9,7 meter dengan tinggi timbunan 8 meter. Pemodelan geometri dinding penahan tanah dan tanah timbunan menggunakan program SLIDE dapat dilihat pada Gambar 2.

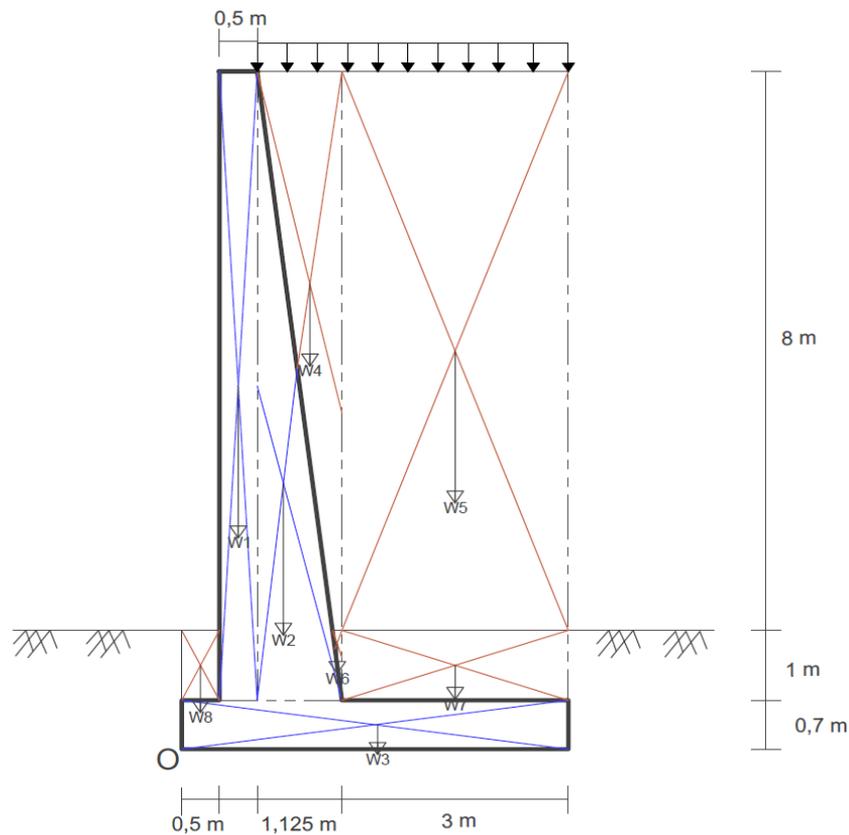


Gambar 3. Pemodelan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Tanah timbunan yang digunakan merupakan timbunan pilihan dengan berat isi tanah (γ) = $1,36 \text{ t/m}^3$, kohesi (c) = 0, dan sudut geser dalam (ϕ) = 30° . Pada struktur dinding penahan tanah mutu beton yang digunakan sebesar (f_c') = 30 MPa dengan berat volume beton (γ_c) = $2,4 \text{ t/m}^3$. Selain itu, terdapat beban kendaraan yang bekerja sebesar (q) = 15 kPa.

3.3 Perhitungan Berat dan Momen Segmen

Analisis dimulai dengan menghitung berat segmen dan juga momen yang bekerja akibat dari segmen dinding penahan, tanah di atas struktur, dan juga beban kendaraan yang bekerja.



Gambar 4. Berat Segmen

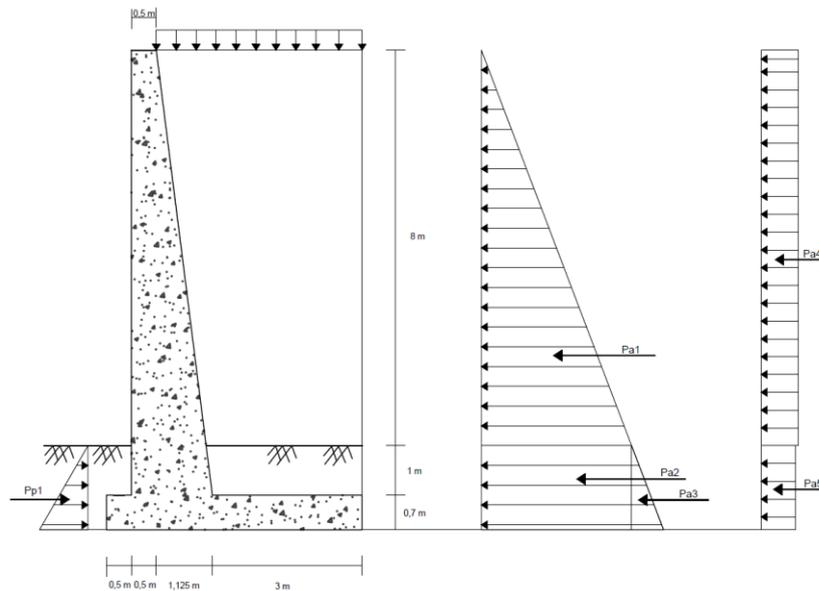
Berdasarkan uraian pada **Tahap 1**, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Resume Perhitungan Berat dan Momen Segmen

Segmen	Berat	Lengan Momen	Momen
	t/m	(m)	(ton.m/m)
1	10,80	0,75	8,10
2	12,15	1,38	16,71
3	8,61	2,56	22,06
4	6,80	1,75	11,90
5	32,64	3,63	118,32
6	0,11	2,08	0,23
7	5,19	3,63	18,81
8	0,87	0,25	0,22
9	6,31	3,06	19,32
ΣM_v			215,67

3.4 Perhitungan Tekanan Tanah Lateral dan Momen

Selanjutnya menghitung tekanan tanah lateral yang bekerja dan juga momen yang terjadi akibat dari tekanan yang bekerja pada struktur dinding penahan.



Gambar 5. Diagram Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Berdasarkan persamaan yang telah diuraikan pada **Tahap 2** maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 3. Resume beban dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah

Segmen	Beban	Lengan Momen	Mo	MR
	(ton)	(m)	(ton.m/m)	(ton.m/m)
1	10,80	0,75	-	8,10
2	12,15	1,38	-	16,71
3	8,61	2,56	-	22,06
4	6,80	1,75	-	11,90
5	32,64	3,63	-	118,32
6	0,11	2,08	-	0,23
7	5,19	3,63	-	18,81
8	0,87	0,25	-	0,22
9	6,31	3,06	-	19,32
Pa1	10,86	4,37	47,43	-
Pa2	5,87	0,85	4,99	-
Pa3	0,57	0,57	0,32	-
Pa4	3,05	5,00	15,27	-
Pa5	0,59	0,85	0,50	-
Pp	25,88	0,57	-	14,67
TOTAL			68,52	230,33

3.2. Perhitungan Faktor Keamanan untuk Dinding Penahan Tanah

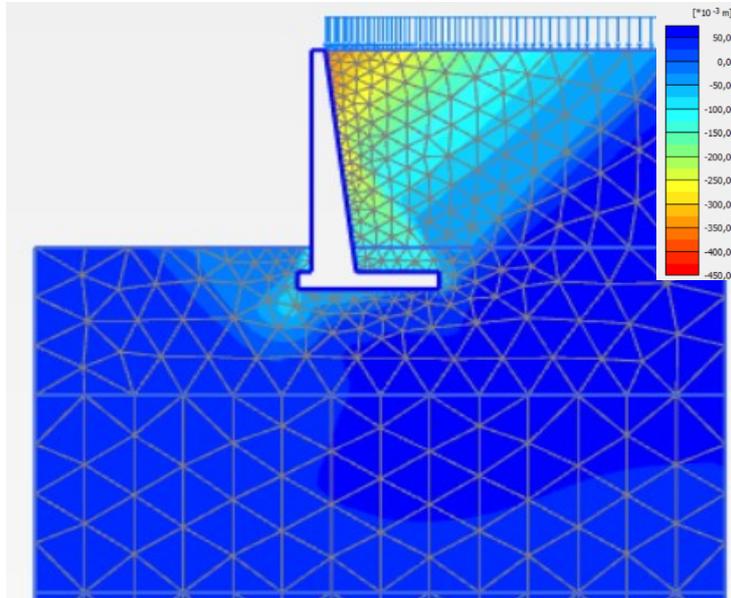
Pada perhitungan faktor keamanan untuk dinding penahan tanah dengan metode analitik akan ditinjau stabilitas terhadap guling, geser, dan kuat dukung tanah. Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan persamaan pada **Tahap 3**, nilai faktor keamanan menunjukkan nilai yang masih memenuhi persyaratan minimum angka keamanan untuk stabilitas dinding penahan tanah berdasarkan SNI 8460:2017. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai FK berdasarkan Metode Analitik

FAKTOR KEAMANAN	NILAI FS
Guling (<i>Overtuning</i>)	3,36
Geser (<i>Sliding</i>)	5,22
Daya Dukung Tanah (<i>Bearing Capacity</i>)	10,78

3.3. Analisis Kestabilan Global Dinding Penahan Tanah dengan PLAXIS 2D

Metode yang digunakan untuk menganalisis kestabilan global adalah Metode Elemen Hingga atau FEM (*Finite Element Method*). Berdasarkan analisis yang dilakukan, nilai faktor keamanan terhadap kestabilan global menunjukkan nilai sebesar 1,467 yang mana belum memenuhi persyaratan minimum kestabilan global pada dinding penahan tanah (ditunjukkan pada Gambar 6) .

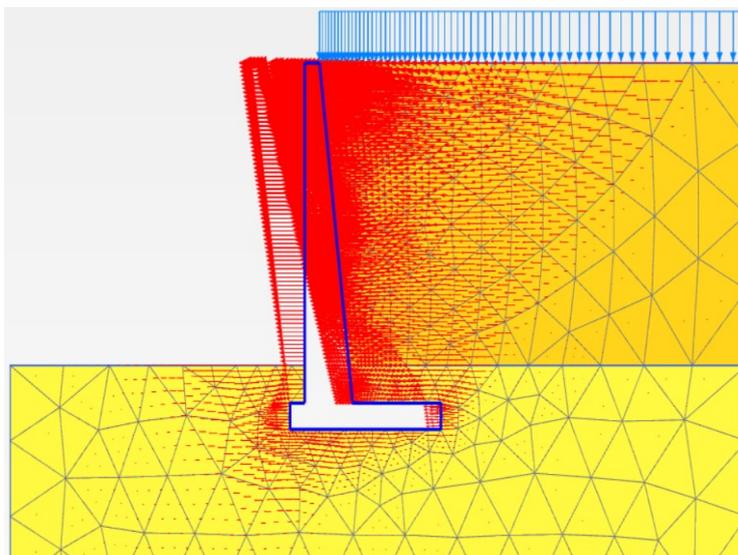


Gambar 6. Hasil Analisis Kestabilan Global DPT tanpa Perkuatan Geogrid

Pada *output* analisis dari program *PLAXIS 2D* ini, bisa dilihat arah deformasi yang terjadi untuk arah U_x . Untuk itu perlu dihitung deformasi lateral maksimum yang menjadi batas ijin nilai deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah. Untuk perhitungan deformasi lateral maksimum dinding penahan tanah menurut SNI 8460:2017, tanpa perkuatan geogrid adalah sebagai berikut:

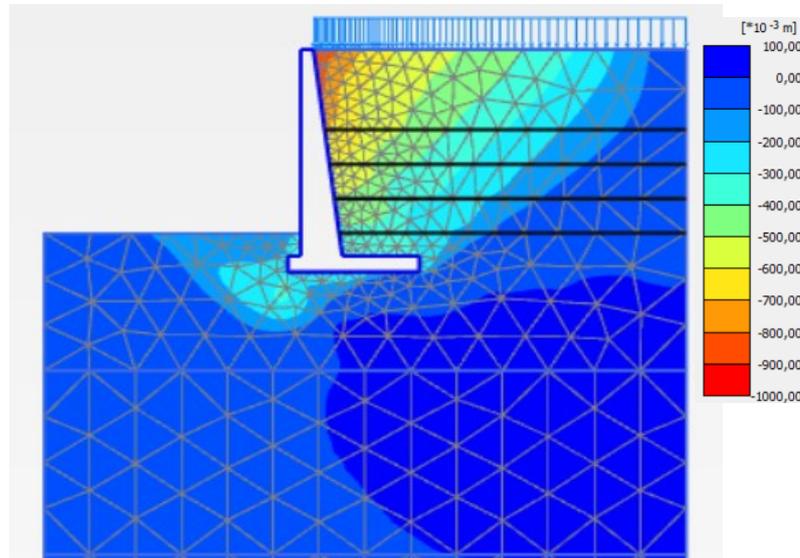
$$0,5\% H = 0,5\% \times 9,7 \text{ m} = 0,0485 \text{ m.}$$

Gambar 7 memperlihatkan deformasi dalam arah lateral pada dinding tanpa perkuatan geogrid. Deformasi diperoleh adalah sebesar 0,46 m > 0,0485 m, dimana deformasi lateral yang terjadi melebihi batas toleransi.



Gambar 7. Arah *Total Displacements* U_x – tanpa perkuatan

Pada hasil *output* nilai faktor keamanan dinding penahan tanah terhadap kestabilan global belum memenuhi persyaratan minimum. Untuk itu, dimodelkan perkuatan geogrid pada tanah timbunan sesuai dengan kondisi eksisting di lokasi. Hasil yang diperoleh setelah menambahkan perkuatan adalah sebesar 1,764 (Gambar 8).



Gambar 8. Hasil Analisis Kestabilan Global DPT dengan Perkuatan Geogrid

Gambar 9 memperlihatkan deformasi lateral yang terjadi pada dinding penahan tanah dengan perkuatan geogrid pada tanah timbunan. Sebelumnya, nilai deformasi lateral pada struktur dinding penahan tanah tanpa perkuatan geogrid menunjukkan nilai yang melebihi batas toleransi. Untuk itu, akan diperiksa kembali deformasi lateral yang terjadi pada dinding penahan tanah dengan menggunakan geogrid pada tanah timbunan.

Perhitungan deformasi lateral maksimum pada struktur dinding penahan tanah dengan perkuatan geogrid dilakukan menggunakan persamaan pada **Tahap 4**. Dihitung nilai δ_R dengan panjang perkuatan geogrid, $L = 19,5$ dan tinggi dinding penahan tanah, $H = 9,7$ m.

$$\delta_R = 11,81 \left(\frac{19,5}{9,7} \right)^4 - 42,25 \left(\frac{19,5}{9,7} \right)^3 + 57,16 \left(\frac{19,5}{9,7} \right)^2 - 35,45 \frac{19,5}{9,7} + 9,471$$

$$\delta_R = 18,84$$

Selanjutnya menghitung nilai δ_{max}

$$\delta_{max} = \frac{18,84 \times 9,7}{150}$$

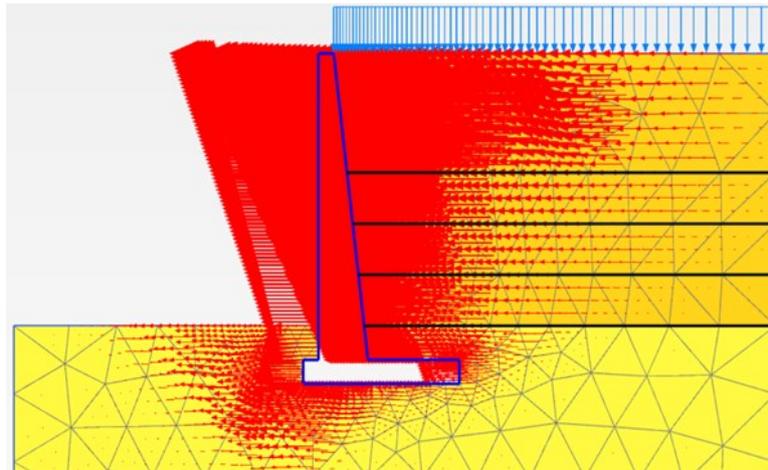
$$\delta_{max} = 1,218 \text{ m}$$

Nilai deformasi arah U_x yang diperoleh adalah sebesar $1,0 \text{ m} < 1,218 \text{ m}$ menunjukkan deformasi lateral yang terjadi masih dalam batas toleransi.

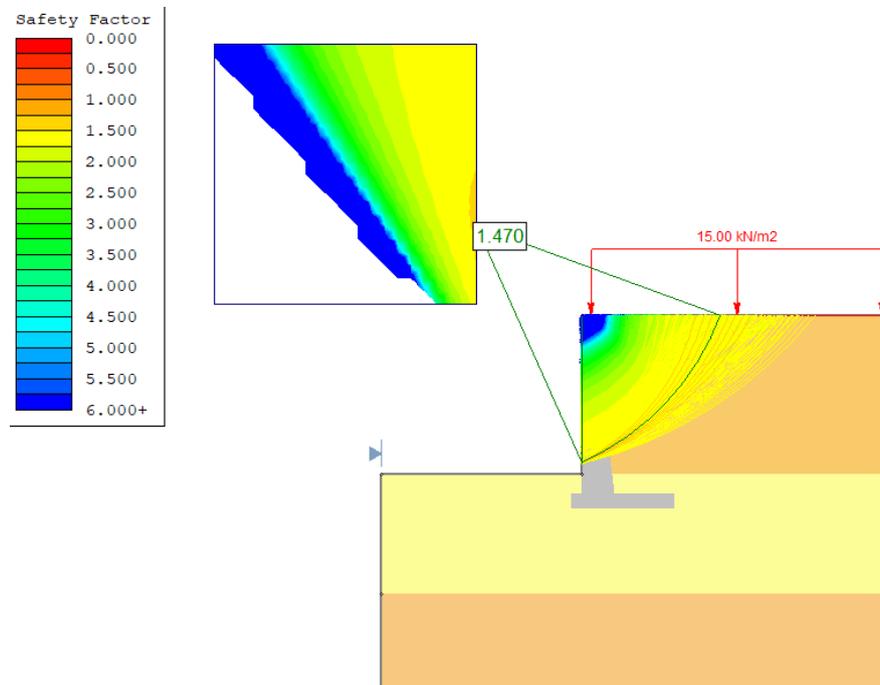
3.4. Analisis Kestabilan Global Dinding Penahan Tanah dengan SLIDE

Selain menggunakan program bantu PLAXIS 2D, analisis kestabilan global juga dilakukan dengan Metode Bishop Simplified menggunakan program bantu SLIDE. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai angka keamanan sebesar 1,470 (Gambar 10) sebelum menggunakan perkuatan

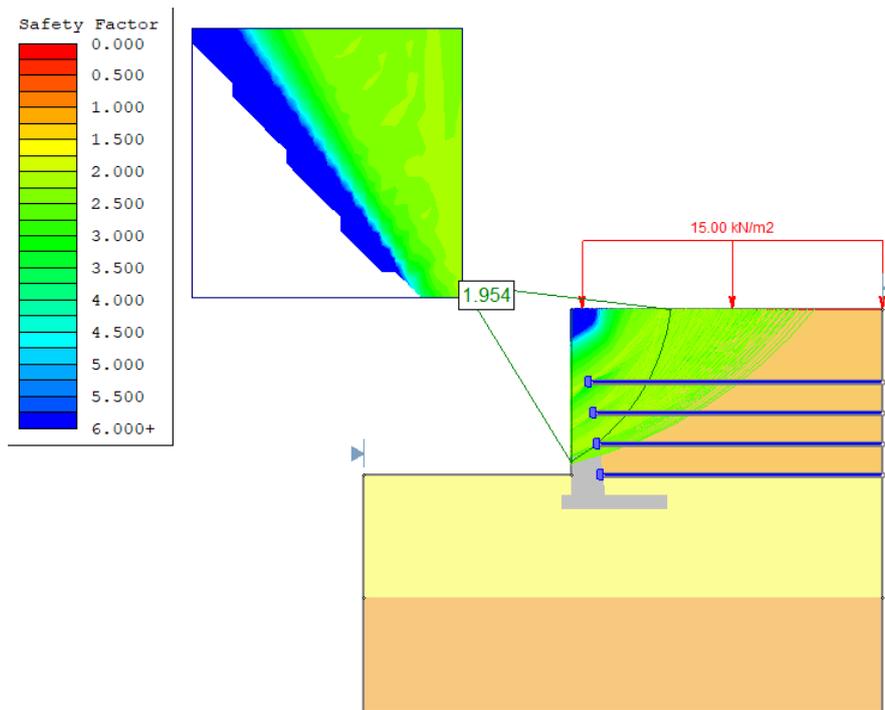
geogrid pada tanah timbunan dan 1,954 setelah menggunakan perkuatan geogrid pada tanah timbunan (Gambar 11).



Gambar 9. Arah Total Displacements Ux – dengan perkuatan



Gambar 10. Hasil Analisis DPT tanpa Perkuatan Geogrid



Gambar 11. Hasil Analisis DPT dengan Perkuatan Geogrid

Berdasarkan perhitungan stabilitas dinding penahan tanah yang telah dilakukan dengan metode analitik, metode FEM dengan program bantu PLAXIS 2D, dan metode BISHOP SIMPLIFIED dengan program bantu SLIDE, maka dapat dibuat rangkuman hasil faktor keamanan dari dinding penahan tanah tipe kantilever pada Oprit Jembatan Boulevard II adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Resume Perhitungan FK Stabilitas DPT

ANALITIK		FK	FK Minimum	Ket
Guling		3,36	2	Aman
Geser		5,22	1,5	Aman
Daya Dukung		10,78	3	Aman
SOFTWARE		FK Kestabilan Global	FK Minimum	Ket
PLAXIS 2D	Tanpa Perkuatan	1,467	1,5	Tidak Aman
	Dengan Perkuatan	1,764	1,5	Aman
SLIDE	Tanpa Perkuatan	1,470	1,5	Tidak Aman
	Dengan Perkuatan	1,954	1,5	Aman

Pemodelan geogrid pada tanah timbunan dilakukan berdasarkan kondisi eksisting di lokasi penelitian. Nilai faktor kermanan yang diperoleh menunjukkan terjadinya kenaikan nilai faktor keamanan dinding penahan tanah terhadap kestabilan global.

Tabel 6. Persentase Kenaikan Nilai FK Kestabilan Global

SOFTWARE	Tanpa Perkuatan	Dengan Perkuatan	Persentase Kenaikan (%)
PLAXIS 2D	1,467	1,764	16,84%
SLIDE	1,47	1,954	24,77%

4. Kesimpulan

1. Hasil analisis kestabilan dinding penahan tanah tipe kantilever menunjukkan nilai faktor keamanan terhadap guling (overturning) sebesar 3,36, terhadap geser (sliding) sebesar 5,22 dan terhadap daya dukung tanah (bearing capacity) adalah sebesar 10,78. Faktor keamanan tersebut memenuhi persyaratan minimum sehingga dinding penahan tanah pada oprit Jembatan Boulevard II dalam kondisi stabil.
2. Analisis kestabilan global (*global stability*) terhadap dinding penahan tanpa perkuatan geogrid menggunakan metode LEM menghasilkan factor keamanan sebesar 1.470 dan menggunakan metode FEM menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,467. Untuk dinding penahan dengan perkuatan geogrid, nilai factor keamanan meningkat sebesar 24.77% menjadi 1.954 yang diperoleh dengan menggunakan metode LEM. Kestabilan global dengan metode FEM menunjukkan kenaikan factor keamanan sebesar 16,84% menjadi 1.764. Secara global, dinding penahan tanah dalam kondisi stabil.
3. Deformasi lateral yang terjadi pada dinding penahan tanpa perkuatan sebesar 0.46 m yang melebihi nilai maksimum deformasi lateral yang disyaratkan. Deformasi lateral pada dinding dengan perkuatan adalah 1.0 m yang memenuhi persyaratan deformasi lateral. Dengan demikian dinding penahan tanah pada oprit Jembatan Boulevard II menggunakan perkuatan geogrid untuk mengurangi deformasi yang terjadi.

Referensi

- AASHTO. (2017). *AASHTO LFRD bridge design specifications, 8th Ed.*, Washington, DC.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. Singapore : McGraw-Hill.
- Dani H., Ticoh J. H., Legrans R. R. I. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus: Area TPA, IPLT Sawangan Airmadidi)*. Jurnal Tekno Vol. 19 No. 78 Agustus 2021 ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Das. B. M., Sivakugan N. (2017). *Principles of Foundation Engineering Ninth Edition*. Cengage : United States of America.
- Das B. M., Endah N., Mochtar I. B. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Surabaya : Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kalalo M., Ticoh J.H., Mandagi. A.T. (2017). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Sekitar Areal PT. Trakindo, Desa Maumbi, Kabupaten Minahasa Utara)*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No. 5 Juli 2017 (285 – 294) ISSN : 2337 – 632 , Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Legrans R. R. I. (2011). *Analisa Turap Kantilever Pada Tanah Pasir Mengandung Belerang*. Tekno/Sipil Vol.9 No.55 April 2011 ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Morsy A. M., Zornberg J. G., Christopher B. R., Leshchinsky D. (2020). *Lateral Displacements in Geosynthetic-Reinforced Soil Structures with Segmental-Block Facing Systems*.
- Pangkey R., Rondonuwu S. G., Mandagi A. T. (2023). *Analisis Kestabilan Lereng dan Desain Struktur Penahan Tanah (Studi Kasus : Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III)*. Jurnal Tekno Vol. 21 No. 84 Tahun 2023 p – ISSN: 0215 – 9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia