

PERBANDINGAN STABILITAS BERBAGAI TIPE DINDING PENAHAN TANAH PADA PROYEK TOWER TURYAPADA DI BALI

Johny Five¹, Hendy Wijaya², dan Ali Iskandar²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
johnyfive10@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
hendyw@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
aliiskandar@ft.untar.ac.id

Masuk: 26-06-2024, revisi: 06-07-2024, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2024

ABSTRACT

This study compares the stability of cantilever retaining walls (DPT) with the combined method of MSE (Mechanically Stabilized Earth) retaining walls and soil nailing retaining walls under the same soil conditions. The stability analysis is conducted by considering shear, overturning, and bearing capacity factors. The results show that MSE retaining walls have the highest overturning safety factor value of 10.83, which exceeds the minimum SNI standard. MSE retaining walls also show the highest shear safety factor value of 7.54, while the highest bearing capacity safety factor value is found in cantilever retaining walls, amounting to 28.73. The pullout safety factor values in soil nailing are also analyzed, indicating the need for adjustments in nail length or excavation sequence to achieve the required minimum values. This study suggests the use of various types of retaining walls and more diverse soil conditions for a more comprehensive analysis in the future, as well as the application of 3D computer programs to model the interaction between retaining structures and the surrounding soil in greater detail.

Keywords: Retaining wall; cantilever retaining wall; MSE wall; soil nailing; soil stability; bearing capacity

ABSTRAK

Penelitian ini membandingkan stabilitas dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever dengan metode gabungan DPT MSE (*mechanically stabilized earth*) dan DPT *soil nailing* dalam kondisi tanah yang sama. Analisis stabilitas dilakukan dengan mempertimbangkan faktor geser, guling, dan daya dukung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DPT MSE memiliki nilai faktor keamanan guling terbesar sebesar 10,83, yang melebihi standar minimum SNI. DPT MSE menunjukkan nilai faktor keamanan geser terbesar sebesar 7,54, dan nilai faktor keamanan daya dukung terbesar adalah DPT kantilever sebesar 28,73. Nilai faktor keamanan akibat cabut (*pullout*) pada *soil nailing* juga dianalisis, dengan hasil menunjukkan perlunya penyesuaian panjang *nail* atau urutan penggalian untuk mencapai nilai minimum yang disyaratkan. Penelitian ini menyarankan penggunaan berbagai jenis DPT dan kondisi tanah yang lebih beragam untuk analisis yang lebih komprehensif di masa mendatang, serta penerapan program komputer 3D untuk memodelkan interaksi antara struktur penahan tanah dan tanah di sekitarnya dengan lebih detail.

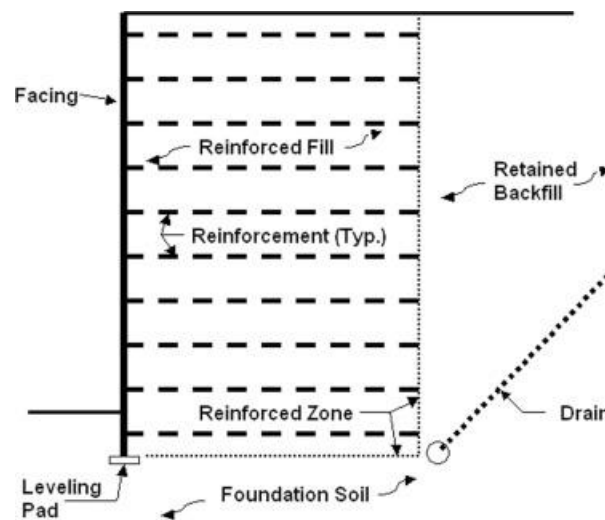
Kata Kunci: Dinding penahan tanah; DPT kantilever; MSE wall; paku tanah; stabilitas tanah; daya dukung

1. PENDAHULUAN

Struktur penahan tanah atau dinding penahan tanah (DPT) merupakan komponen krusial dalam berbagai proyek konstruksi, khususnya pada proyek yang melibatkan pemotongan atau pengisian tanah dalam jumlah besar. DPT berfungsi untuk menahan pergerakan tanah yang berpotensi mengganggu kestabilan dan keselamatan konstruksi. Di lokasi proyek yang menjadi fokus penelitian ini, digunakan DPT dengan tipe kantilever, yang umum digunakan karena kemudahannya konstruksinya dan efisiensi biayanya. Namun, dengan perkembangan teknologi dan teknik geoteknik, metode lain seperti dinding penahan tanah mekanis MSE (*Mechanically Stabilized Earth*) dan *soil nailing* telah muncul sebagai alternatif. Kedua metode ini menawarkan keunggulan dalam hal fleksibilitas desain, kemudahan instalasi, dan dalam beberapa kasus, penghematan biaya. Penelitian ini mengevaluasi bagaimana perbandingan stabilitas DPT kantilever dengan gabungan metode DPT MSE dan *soil nailing* dalam kondisi tanah yang sama.

DPT MSE

Menurut Hardiyatmo (2017) dinding penahan tanah jenis MSE (Gambar 1) adalah struktur yang menggunakan perkuatan mekanis, seperti besi lunak yang digalvanis atau dilapis epoksi dan geosintetik, untuk menahan tekanan tanah lateral. Didesain untuk mempertahankan dua elevasi tanah yang berbeda, dinding MSE digunakan dalam proyek irigasi, jalan raya, dan pelabuhan. Struktur ini lebih fleksibel dan ekonomis dibandingkan dinding penahan konvensional, cocok untuk daerah dengan kondisi tanah pondasi yang buruk dan daerah seismik aktif, dengan tinggi maksimum sekitar 15 - 22 meter menggunakan geosintetik dan lebih dari 30 meter dengan pita metalik. Aplikasi utamanya adalah sebagai penyangga untuk jalan tol dan jalan layang di atas tanah urug. Analisis dinding MSE mempertimbangkan kestabilan eksternal, internal, dan global, termasuk kegagalan akibat geser, guling, daya dukung, retak, tarik, dan jarak antar perkuatan yang tidak tepat. Secara keseluruhan, dinding MSE adalah solusi efektif untuk infrastruktur yang memerlukan stabilitas tanah tinggi.



Gambar 1. Dinding penahan tanah tipe MSE (FHWA NHI-10-024)

DPT Soil Nailing

Dinding penahan tanah jenis *soil nailing* (Gambar 2) adalah struktur yang menggunakan perkuatan mekanis untuk menahan tekanan tanah lateral. Pertama kali diterapkan di Prancis pada tahun 1961, teknik ini digunakan untuk memperkuat dinding penahan tanah dan mengatasi masalah stabilitas, terutama pada daerah berpotensi longsor, serta efektif dalam mengurangi biaya dan waktu konstruksi. *Soil nailing* cocok untuk tanah lempung, berpasir, batu melapuk, dan tanah terstratifikasi, tetapi tidak untuk lempung plastis, tanah organik, atau tanah lepas dan jenuh air. Aplikasinya meliputi stabilisasi lereng jalan raya, lereng galian basement, dan rangka terowongan. Konstruksi *soil nailing* melibatkan ekskavasi, pemasangan *nail* baja, *grouting*, dan pengecoran *shotcrete*. Teknik ini memiliki kelebihan seperti peralatan yang mudah dipindahkan, fleksibilitas, biaya lebih rendah, dan dapat digunakan untuk konstruksi sementara atau permanen. Analisis *soil nailing* mempertimbangkan kestabilan eksternal, internal, dan global untuk memastikan struktur yang kuat dan tahan lama (Hardiyatmo, 2006).



Gambar 2. Dinding penahan tanah tipe *soil nailing* (Hardiyatmo,2006)

DPT Kantilever

Chantika dan Agustina (2021) dinding penahan tanah tipe kantilever (Gambar 3) adalah konstruksi beton bertulang yang digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral. Struktur ini terdiri dari tiga bagian utama: dinding vertikal (*stem*) yang menahan tanah, tumit tapak (*heel*) yang menahan beban gravitasi, dan ujung kaki tapak (*toe*) yang menahan beban lateral. Kelebihan dinding ini termasuk efisiensi tinggi, kemudahan pelaksanaan, dan stabilitas yang baik. Namun, dinding kantilever memiliki keterbatasan dalam menangani ketinggian tanah yang sangat tinggi dan sangat bergantung pada kualitas tanah di bawahnya. Dinding ini sering digunakan di berbagai lokasi, seperti Saluran II Budar di Desa Kemuning Lor, Perimeter Switchyard Skyland Jayapura, dan lereng di Kabupaten Padang Pariaman. Dibandingkan dengan dinding penahan tanah tipe gravitasi, dinding kantilever lebih efektif untuk ketinggian lereng hingga 6 meter. Kesimpulannya, dinding penahan tanah tipe kantilever adalah solusi efektif untuk menahan tekanan tanah lateral, tetapi memerlukan perencanaan dan desain yang tepat untuk memastikan stabilitas dan keamanan.



Gambar 3. DPT kantilever pada proyek Tower Turyapada Bali

Stabilitas DPT

Stabilitas pada dinding penahan tanah sangat penting untuk memastikan keamanan dan ketahanan struktur tersebut terhadap berbagai gaya yang bekerja, seperti tekanan tanah lateral, aliran air, dan beban gempa. Menurut Bowles (1983) dinding penahan tanah jenis MSE menggunakan perkuatan internal secara berlapis dengan mekanisme friksi antara lapisan tanah dan geogrid untuk meningkatkan kestabilan. Material penguat seperti geogrid, yang terbuat dari bahan sintesis kuat, ditempatkan di dalam lapisan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas struktur. Struktur penahan di bagian depan dinding memberikan dukungan terhadap beban lateral dari tanah di belakangnya.

Kestabilan dinding penahan tanah juga dipengaruhi oleh kondisi tanah, seperti kemiringan lereng, dimensi dinding, dan jenis butiran tanah. Tanah berbutir halus dan saturasi tinggi cenderung mempunyai kecepatan infiltrasi lebih lambat dibandingkan dengan tanah berbutir kasar dengan saturasi rendah. Pemilihan material dan drainase yang baik pada timbunan dinding penahan tanah sangat penting terhadap stabilitas dinding akibat hujan. Dalam sintesis, stabilitas dinding penahan tanah sangat penting untuk memastikan keamanan dan ketahanan struktur tersebut terhadap berbagai gaya yang bekerja. Pemeriksaan nail terhadap cabut (*pullout*) menggunakan Persamaan 1, stabilitas geser menggunakan Persamaan 2, stabilitas guling menggunakan Persamaan 3, eksentrisitas menggunakan Persamaan 4, dan stabilitas daya dukung menggunakan Persamaan 5.

$$R_{po} = \pi Ca D Lp \quad (1)$$

$$FS_s = \frac{Ca L + W \tan \delta}{P_q + P_b} \geq 1,5 \quad (2)$$

$$FS_o = \frac{W \frac{L}{2}}{P_q \frac{H}{2} + P_b \frac{H}{3}} \geq 2,0 \quad (3)$$

$$e = \frac{P_q \frac{H}{2} + P_b \frac{H}{3}}{W} \leq \frac{L}{6} \quad (4)$$

$$FS_{bc} = \frac{q_{ult}}{q_{max}} \geq 2,5 \quad (5)$$

keterangan:

- R_{po} : tahanan cabut;
 C_a : tahanan friksi (bond) pada antarmuka grout –tanah;
: adalah $0,5 C_u$ (pada tanah kohesif);
: $\sigma'v K_s \tan \phi_a$ (pada tanah pasir / non kohesif);skri
 C_u : kohesi tak terdrainase (kN/m^2);
 $\sigma'v$: tekanan overburden efektif pada level nail (kN/m);
 K_s : koefisien tekanan tanah: 0,7;
 ϕ_a : sudut geser tanah-grout: $0,8 \phi'$ ($^\circ$);
 ϕ' : sudut geser dalam efektif tanah ($^\circ$);
 D : diameter lubang bor (m);
 L_p : panjang nail di belakang bidang gelincir yang memberikan tahanan cabut (m).
 FS_s : Faktor Keamanan geser
 C_a : Kohesi (KN/m^2)
 L : Panjang DPT (m)
 W : berat total tanah (kN/m)
 $Tan \delta$: sudut gesek ($\phi/3$)
 P_q : gaya geser akibat beban luar (kN/m)
 P_b : gaya geser akibat beban tetap (kN/m)
 FS_o : faktor keamanan guling
 e : eksentrisitas (m)
 q_{ult} : daya dukung *ultimate* dari tanah (kN/m)
 q_{max} : beban maksimum yang diterapkan (kN/m)

2. METODE PENELITIAN

Proses penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir (Gambar 4).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai T_{max} berada pada kedalaman 6 m sebesar 3,172 kN/m dan nilai T_{izin} sebesar 44 kN/m (Tabel 1-2 dan Gambar 5).

Total deformasi untuk DPT tipe MSE dan soil nailing sebesar 0,01163 m. $FK_{global} = 1,717 > 1,5$ (Tabel 3 dan Gambar 6). Karena nail 1 memiliki F_{kpo} lebih kecil dari nilai minimum yang syaratkan, panjang pada nail 1 harus diperpanjang atau memodifikasi sequence pengalihan.

Total deformasi untuk DPT tipe MSE dan soil nailing sebesar 0,02112 m. $FK_{global} = 1,911 > 1,5$ (Gambar 7).



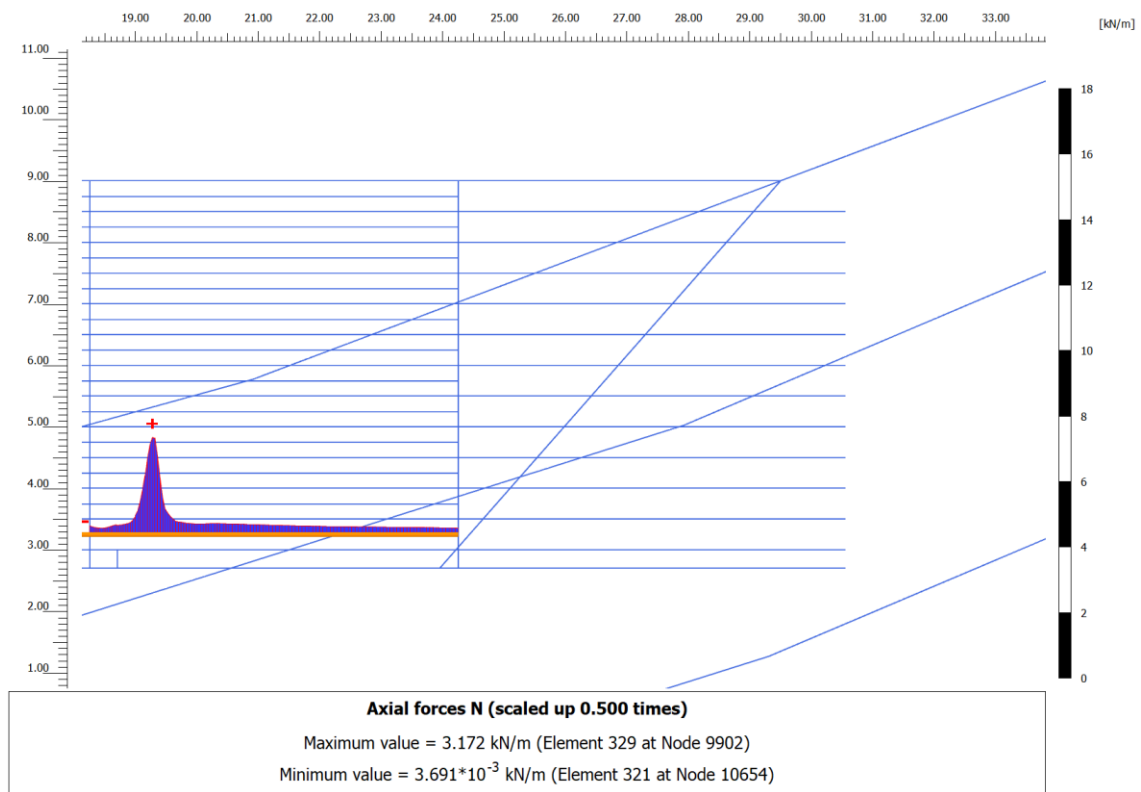
Gambar 4 Diagram Alir

Tabel 1. Parameter tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Nspt (pukulan/cm)	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	E' (kN/m ²)	v'
0~6	Pasir Lanauan	5	15	19	13	36	100000	0,3
6~10	Pasir Lanauan	22	17,7	20	5	37,84	150000	0,25
10~30	Batuan Andesitik	50	23	23	0	37,84	150000	0,15

Tabel 2. Nilai faktor keamanan untuk DPT kantilever dan MSE

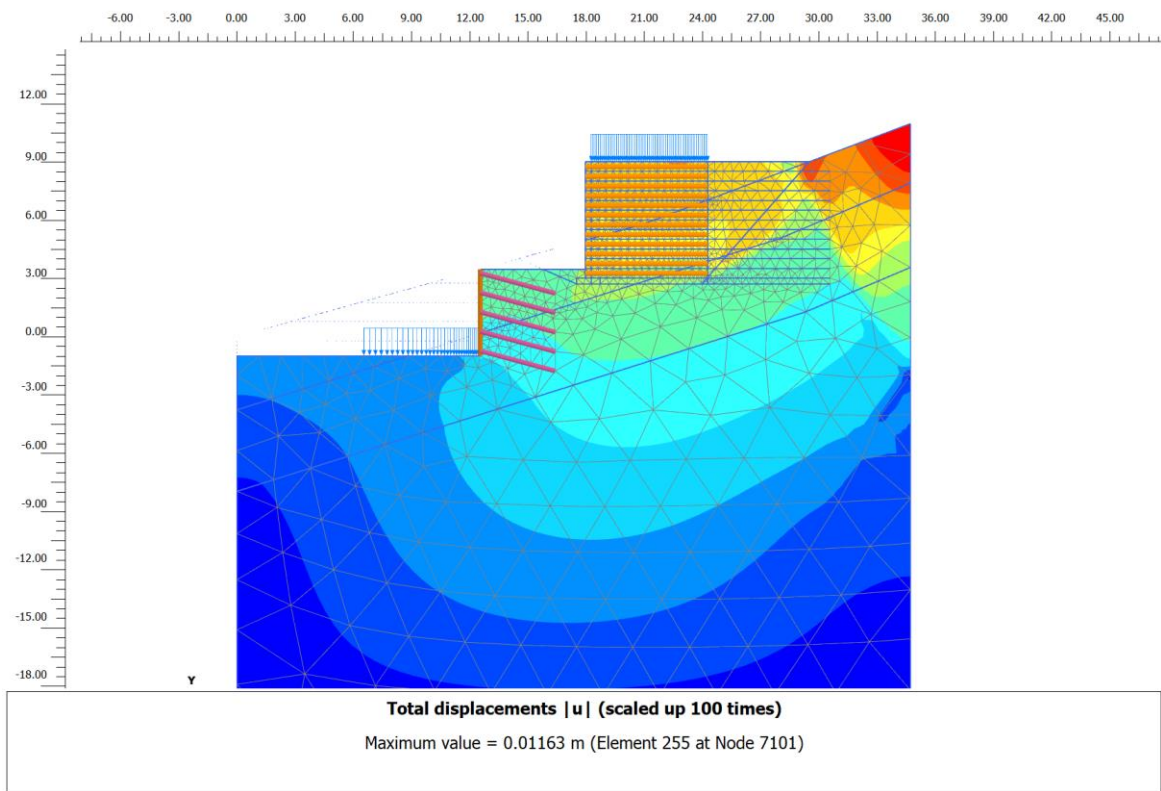
Stabilitas DPT	DPT Kantilever bawah	DPT Kantilever atas	MSE
Stabilitas Geser	7,02	3,38	7,54
Stabilitas Gelincir	9,75	6,00	10,83
Daya Dukung	28,73	36,29	7,62



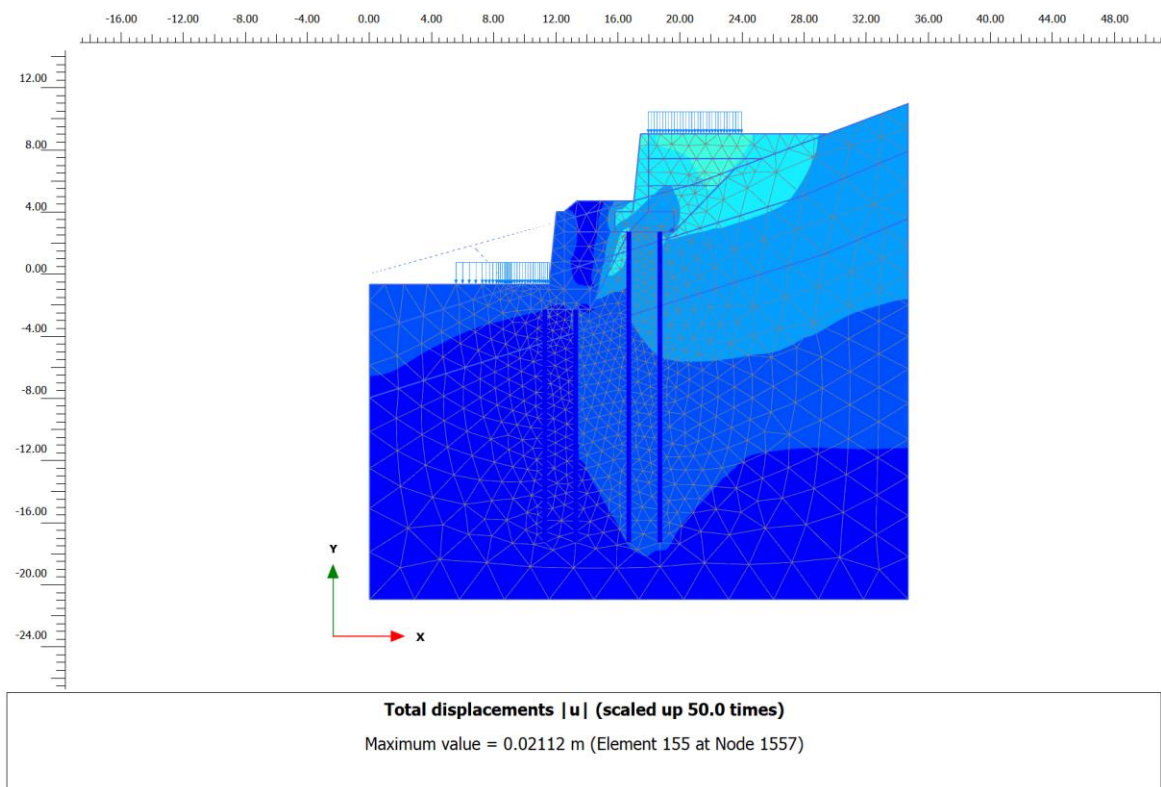
Gambar 5. Output nilai T_{max}

Tabel 3. Faktor keamanan akibat cabut untuk DPT *soil nailing*

Nailing	H (m)	g (kN/m ²)	s'v (kN/m)	D (m)	Ks	f (°)	fa (°)	Ca (kN/m ²)	T _{skin} (kN/m)	R _{po} (kN)	N (kN)	FK _{po}
1	0,7176	15	10,76	0,2	0,7	36	28,8	4,14	2,60	10,41	20,17	0,52
2	1,7176	15	25,76	0,2	0,7	36	28,8	9,91	6,23	24,92	15,70	1,59
3	2,7176	15	40,76	0,2	0,7	36	28,8	15,69	9,86	39,43	26,37	1,50
4	3,7176	15	55,76	0,2	0,7	36	28,8	21,46	13,49	53,93	30,68	1,76
5	4,7176	15	70,76	0,2	0,7	36	28,8	27,23	17,11	68,44	38,62	1,77



Gambar 6. Total deformasi DPT tipe MSE dan *soil nailing*



Gambar 7 Total deformasi DPT tipe kantilever

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan diperoleh hasil nilai FK guling terbesar berada pada DPT MSE, DPT MSE dengan stabilitas guling sebesar $10,83 > FK_{\min} \text{ SNI} = 2$.
2. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan diperoleh hasil nilai FK geser terbesar berada pada DPT MSE sebesar $7,54 > FK_{\min} \text{ SNI} = 1,5$.
3. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan diperoleh hasil nilai FK daya dukung terbesar berada pada DPT Kantilever sebesar 28,73 sedangkan pada DPT MSE sebesar 7,62. Keduanya $> FK_{\min} \text{ SNI} = 2,5$.
4. Geogrid yang digunakan memiliki nilai tahanan tarik yang terlalu besar jika dibandingkan dengan tegangan maksimum nya, yaitu $44 \text{ kN/m} > 3,172 \text{ kN/m}$.
5. Nilai FK_{po} pada nail 1 mencapai nilai plastis, yang mana nail 1 memiliki $Fkpo$ lebih kecil dari nilai minimum yang syaratkan. maka panjang pada nail 1 harus diperpanjang atau memodifikasi *sequence* pengalihan.

Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengadopsi berbagai jenis DPT yang berbeda untuk analisis yang lebih aktual.
2. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan jenis serta lapisan tanah yang beragam untuk analisis yang lebih luas.
3. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk memodifikasi urutan konstruksi DPT yang dimulai dari DPT bagian bawah terlebih dahulu atau bersamaan untuk melihat nilai faktor keamanannya.
4. Pada penelitian selanjutnya, disarankan membuat DPT menggunakan program komputer yang menampilkan hasil 3D. Agar interaksi antara struktur penahan tanah dan tanah di sekitarnya dapat di modelkan dengan lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1983). *Analisa dan desain pondasi jilid II*. Erlangga.
- Chantika, I. M. B., & Agustina, R. (2021). *Perencanaan dinding penahan tanah tipe kantilever dan perkuatan lereng menggunakan metode soil nailing di perumahan BSB City Victoria Hills Semarang* [Skripsi, Universitas Islam Sultan Agung].
- Elias, P., Christopher, B. R., & Berg, R. R. (2001). *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design and construction guidelines (FHWA-NHI-00-043)*. Federal Highway Administration.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Mekanika tanah 1* (Edisi keempat). Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Perancangan perkerasan jalan & penyelidikan tanah*. Gadjah Mada University Press.