

STUDI PERBANDINGAN ANALISIS FEM 2D DAN 3D PADA STABILITAS SHEET PILE LONG STORAGE KOTA JAKARTA

Serli Yulianti¹⁾, Muhammad Riza²⁾, Vitta Pratiwi³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia, Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia
serliyulianti79@gmail.com

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia, Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia
mriza.geo@gmail.com

³⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia, Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia
vitta.pratiwi@gmail.com

Masuk: 01-02-2023, revisi: 07-02-2023, diterima untuk diterbitkan: 19-05-2023

ABSTRACT

Long storage with sheet pile construction is one of the flood's handling in the capital city of Indonesia, called as Jakarta. This study presents an analysis of sheet pile stability in the case of long storage in Jakarta City using the finite element 2D and 3D methods to determine the value of safety factor, deformation, bending moment, and settlement behind the wall. In FEM 2D, the analysis is carried out with plain-strain conditions where there are only two axes, x and y, while in FEM 3D the analysis is carried out with axisymmetric conditions where modeling is divided into three directions, x, y, and z which are considered to be able to model geometry in the field. Effective parameter approach and hardening soil modeling were used in this study. The results showed that the deformation, bending moment, and settlement behind the sheet pile wall in 2D had a greater value and tended to be overestimate compared to the results of 3D analysis, while the safety factor value in 3D analysis had a greater value.

Keywords: Sheet pile stability; long storage; FEM; Plaxis 3D, 2D.

ABSTRAK

Long storage dengan konstruksi sheet pile merupakan salah satu penanganan banjir di Ibu Kota Indonesia yakni Jakarta. Tujuan penelitian adalah melakukan analisis stabilitas sheet pile pada kasus long storage Kota Jakarta dengan metode finite element 2D dan 3D untuk mengetahui nilai faktor keamanan, deformasi, bending moment, dan penurunan di belakang dinding. Studi perbandingan ini dilakukan karena pada FEM 2D analisis dilakukan dengan kondisi plain-strain dimana hanya terdapat dua sumbu yakni x dan y, sedangkan pada analisis FEM 3D dilakukan dengan kondisi axisymmetric dimana pemodelan terbagi tiga sumbu yakni x, y, dan z yang dinilai dapat memodelkan geometri secara aktual. Pendekatan parameter efektif dan pemodelan tanah Hardening Soil digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai deformasi, bending moment, dan penurunan tanah di belakang dinding sheet pile pada 2D memiliki nilai yang lebih besar dan cenderung overestimate dibandingkan dengan hasil analisis 3D, sedangkan untuk nilai faktor keamanan pada analisis 3D memiliki nilai yang lebih besar.

Kata kunci: Stabilitas sheet pile; long storage; FEM; Plaxis 3D, 2D.

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan permasalahan yang sering terjadi di Kota Jakarta yang diakibatkan oleh perubahan kondisi lingkungan karena tingginya tingkat pertumbuhan penduduk, sehingga hal tersebut berdampak signifikan terhadap pengelolaan ruang kota (Widyaiswara et al., 2020). Kota Jakarta sendiri merupakan ibu kota Republik Indonesia yang memiliki letak geografis yang rentan terhadap banjir atau genangan air, baik dari hujan maupun banjir kiriman (Pratiwi & Rahajoeningroem, 2020). Long storage yang merupakan bangunan air untuk menampung atau menyimpan kelebihan jumlah air digunakan sebagai salah satu penanganan untuk permasalahan banjir (Bangunan Penampung Air PUPR, n.d.). Long storage dapat didukung dengan perencanaan galian dengan dinding penahan berupa sheet pile sebagai konstruksi water-front dengan daya tahan yang baik (Boscatto et al., 2011). Adapun, stabilitas sheet pile merupakan faktor yang harus dipertimbangkan penggunaannya sebagai struktur penahan tanah, dalam hal ini analisis stabilitas sheet pile dapat dilakukan menggunakan metode FEM dengan aplikasi Plaxis 2D dan 3D. Analisis 2D dilakukan dalam kondisi plain-strain seringkali tidak dapat memodelkan secara aktual geometri, khususnya untuk

kasus galian (Kefas, 2022). Berbeda halnya dengan analisis 3D yang dinilai dapat memberi gambaran secara akurat dikarenakan analisis dilakukan dalam kondisi *axisymmetric* sehingga simulasi yang dilakukan terbagi ke arah radial dan longitudinal. Adapun, model tanah Hardening Soil/HSM dalam FEM Plaxis dinilai paling baik menggambarkan pendekatan kondisi nyata dari perilaku tegangan-regangan dalam tanah (Riza et al., 2014). Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka diperlukan analisis perbandingan mengenai stabilitas sheet pile dalam kasus *long storage* untuk mengetahui sejauh mana perbedaan antara FEM Plaxis 2D dan 3D, serta untuk memberikan keluaran berupa nilai faktor keamanan atau *safety factor*, *bending moment*, deformasi horizontal, dan penurunan tanah di belakang dinding.

Finite element analysis

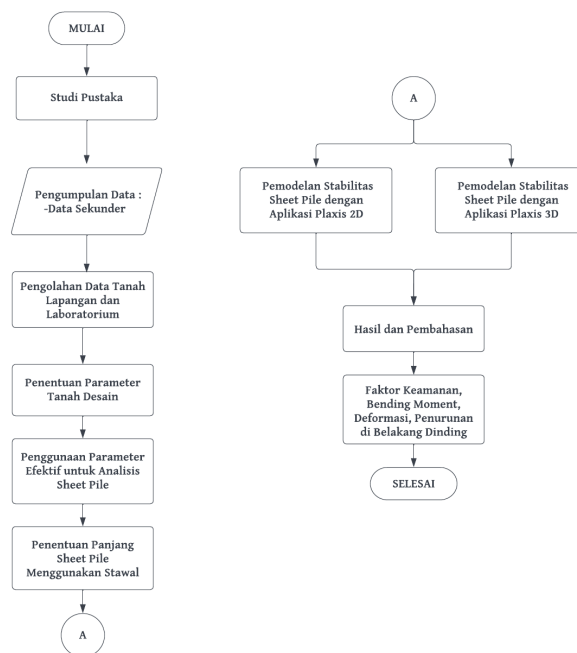
Finite element method atau metode elemen hingga merupakan salah satu perhitungan yang digunakan dalam analisis *sheet pile*. Perhitungan ini menggunakan konsep persamaan integral dalam menghitung suatu nilai *infinite*. Adapun aplikasi Plaxis merupakan salah satu program dengan analisis FEM. Pada program Plaxis geometri pemodelan dibagi menjadi elemen yang disebut dengan jaringan elemen hingga, dimana setiap elemen memuat titik node yang berkaitan dengan nilai parameter.

Plaxis

Plaxis merupakan program atau aplikasi yang berbasis elemen hingga dalam analisis dan desain bidang geoteknik (Hamdhan & Fitriani Iskandar, 2019). Dalam program Plaxis terdapat prosedur atau langkah-langkah untuk analisis diantaranya adalah menentukan judul analisis, model, dan elemen, menuliskan dimensi tanah, membentuk dimensi dari tanah, serta input nilai parameter tanah. Pada penelitian ini digunakan aplikasi Plaxis 2 dimensi serta 3 dimensi sebagai perbandingan. Adapun perbedaan antara Plaxis 2D dan 3D terdapat pada kondisi analisis, dimana pada analisis 2D hanya mensimulasikan kondisi *plain-strain* dan pada analisis 3D mensimulasikan kondisi *axisymmetric*.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *finite element* 2D dan 3D menggunakan aplikasi Plaxis, di mana keluaran hasil analisis dari penelitian ini berupa faktor keamanan, deformasi horizontal, bending moment, dan penurunan tanah di belakang dinding serta pendekatan parameter efektif dengan pemodelan tanah berupa Hardening Soil/HSM digunakan dalam penelitian ini. Diagram alir untuk penelitian studi perbandingan analisis FEM 2D dan 3D dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Data Sekunder

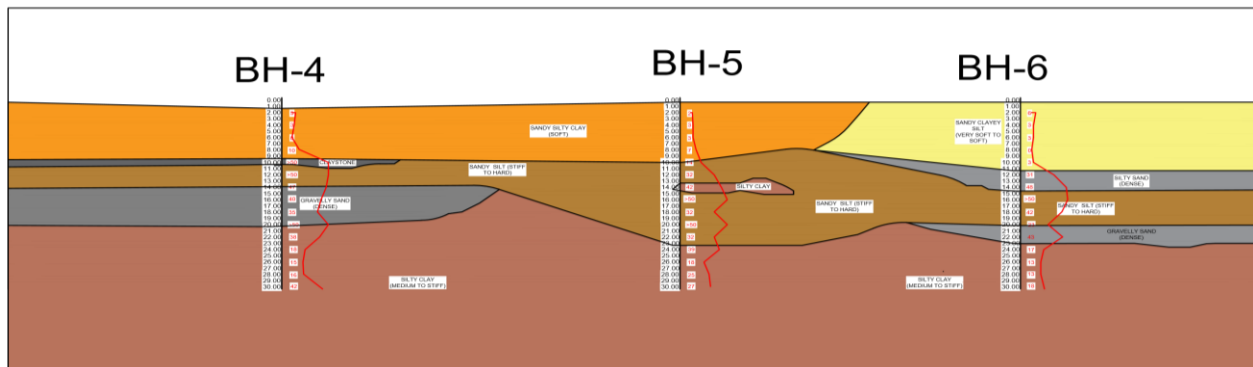
Dalam penelitian ini digunakan data sekunder berupa hasil penyelidikan tanah SPT, CPT, dan data laboratorium seperti uji triaksial CU dan Atterberg Limit.

Teknik Analisis

Plaxis merupakan aplikasi yang dimodelkan dengan metode *finite element* yang analisisnya terbagi atas elemen (*node*) sesuai dengan parameter tanah. Sedangkan Mohr-Coulomb dan *Hardening Soil* (model konstitutif) merupakan model tanah yang biasa digunakan dalam FEM (Kempfert & Gebreselassie, 2006). Freiseder menyatakan bahwa *Hardening Soil Model* lebih memberikan hasil deformasi dan penurunan tanah di belakang dinding secara realistis (Kempfert & Gebreselassie, 2006). *Hardening Soil Model* juga merupakan model tingkat lanjut yang memiliki tiga nilai kekakuan, diantaranya E_{50}^{ref} , E_{oed} , serta E_{ur} . Dalam buku *Excavation and Foundation in Soft Soils* oleh Hans-Georg Kempfert (2006), nilai modulus kekakuan diasumsikan $E_{50}^{ref} = E_{oed}$, dan $E_{ur} = 3 \cdot E_{50}^{ref}$. Menurut Vermer dan Meier nilai $E_{50}^{ref} < E_{oed}$ untuk jenis tanah lempung dan Schanz, HSM dapat memodelkan perilaku berbagai jenis tanah keras dan lunak (Kempfert & Gebreselassie, 2006). Adapun dalam buku Muni Budhu, *Soil Mechanics and Foundation* menyatakan bahwa analisis tegangan efektif umumnya digunakan untuk menganalisis stabilitas sheet pile. Sedangkan, dalam kasus *long storage* yang berupa galian, Lafleur et.al menyatakan bahwa pendekatan tegangan efektif kondisi *drained* dapat mengestimasi nilai faktor keamanan serta menjadi kondisi yang paling kritis (Budhu, 2010). Kondisi *drained* secara teori nilai c' diasumsikan bernilai 0 (Kempfert & Gebreselassie, 2006). Akan tetapi, dalam analisis menggunakan aplikasi Plaxis, input nilai 0 untuk c' akan terjadi kegagalan. Oleh karena itu, pada penelitian ini c' akan dicantumkan nilai sebesar 1.

Kondisi subsoil dan parameter tanah

Penelitian ini dilakukan pada kasus *long storage* Kota Jakarta dengan galian sedalam 2,5 meter, kondisi air yang tertampung tidak diperhitungkan dan asumsi beban sebesar 10 kN/m^2 . Berdasarkan pengujian tanah di lapangan didapatkan stratifikasi tanah yang dapat dilihat pada Gambar 2, di mana tidak terdapat lapisan tanah keras hingga kedalaman 30 meter dan diasumsikan *worst case*/kondisi kritis pada BH-5. Pada 10 meter pertama rata-rata nilai N_{SPT} sebesar 0-10, dengan nilai PI berkisar 41,12%. Lapisan kedua 10,5-22,5 meter didapatkan nilai N_{SPT} rata-rata kisaran 41,81 dan berdasarkan uji triaksial CU serta grafik korelasi nilai PI didapatkan kisaran rentang 25°-28°.



Gambar 2 Stratifikasi Tanah

Sedangkan input parameter HSM dan input parameter sheet pile 2 dimensi dan 3 dimensi pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1, 2 dan 3 berikut ini.

Tabel 1 Parameter *Hardening Soil*

Soil Type	k (m/day)	c' (kN/m ²)	φ'	Y ^{sat} (kN/m ³)	Y ^{unsat} (kN/m ³)	V _{ur}	E _{oed}	E ₅₀	E _{ur}	m	K ₀	ψ
<i>Silty Clay (Very Soft to Soft)</i>	2,29E-03	1	25	16,6	15,6	0,2	995	904,5	2713	1	0,58	0
<i>Sandy Silt (Stiff to Hard)</i>	1,62E-03	1	27	18	17	0,2	13054	11867	35602	1	0,55	0
<i>Silty Clay (Medium to Stiff)</i>	2,00E-03	1	26	17,6	16,6	0,2	7077	6434	19036	1	0,56	0

Untuk input parameter sheet pile pada Plaxis 3D dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan untuk input parameter sheet pile pada Plaxis 2D terdapat pada Tabel 3.

Tabel 2 Parameter Sheet Pile Plaxis 3D

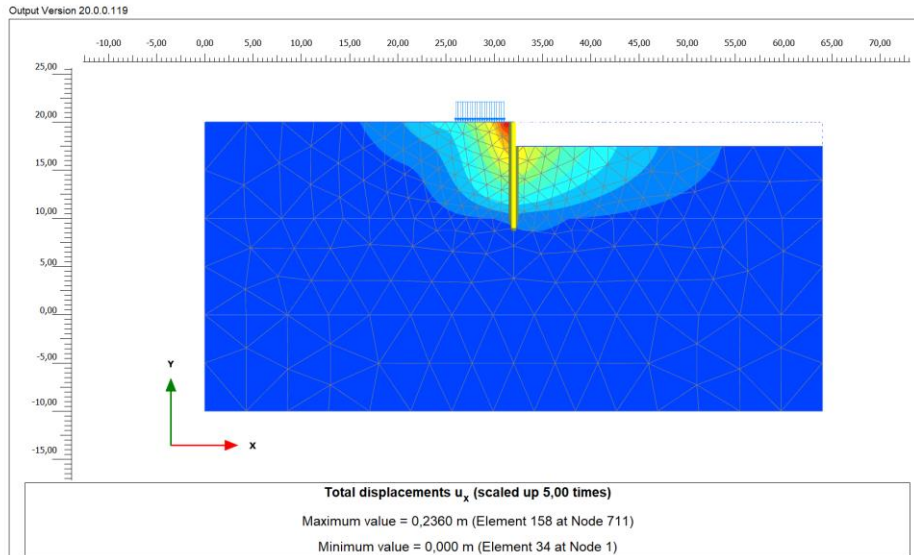
Jenis Sheet Pile	W-325/ Kelas B
Mcrack (kNm/m)	130,4 kNm/m
d (thickness) m	0,35
f'c	62
E Beton (kN/m ²)	37007837,01
Length (m)	11
E ₁	13910000
E ₂	695300
G ₁₂	695300
G ₁₃	2015000
G ₂₃	604500
V ₁₂	0,15

Tabel 3 Parameter Sheet Pile Plaxis 2D

Jenis Sheet Pile	W-325/ Kelas B
Mcrack (kNm/m)	130,4 kNm/m
d (thickness) m	0,35
f'c	62
E Beton (kN/m ²)	37007837,01
Length (m)	11
EA	4866530,567
EI	49688,20228
v	0,15

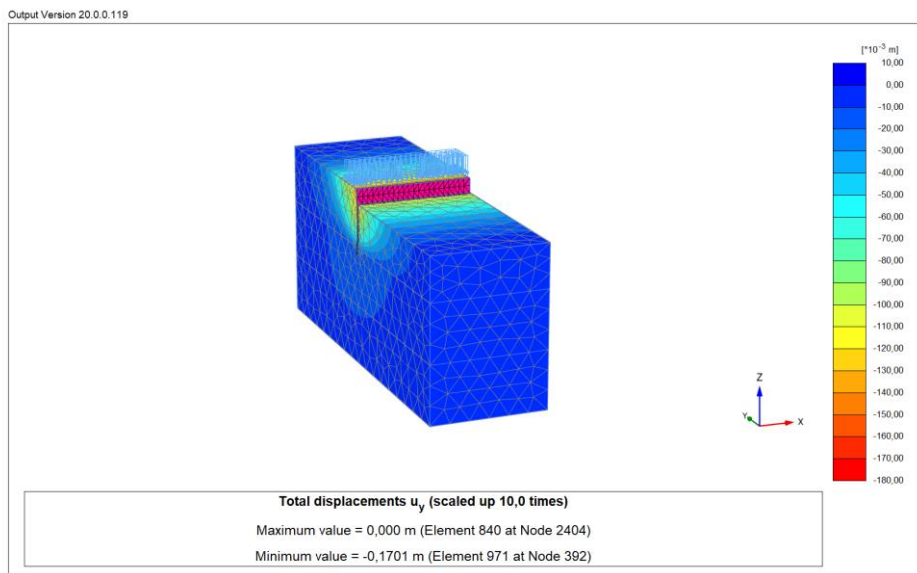
Pemodelan numerik

Pada pemodelan numerik perbandingan analisis FEM terjadi pada geometri dimana pada Plaxis 2D hanya terdapat 2 sumbu yakni x dan y dengan analisis kondisi *plain-strain*, sedangkan pada 3D analisis dilakukan dalam kondisi *axisymmetric* yang terdapat 3 sumbu yaitu, x, y, dan z sehingga dinilai dapat memberikan gambaran aktual geometri di lapangan khususnya pada galian. Berikut adalah pemodelan numerik pada Plaxis 2D dan 3D yang dapat dilihat pada Gambar 3 untuk pemodelan plaxis 2D dan Gambar 4 untuk pemodelan plaxis 3D.



Gambar 3 Pemodelan Plaxis 2D

Sedangkan pemodelan numerik pada analisis 3D Plaxis terdapat 3 sumbu yakni x, y, dan z dimana analisis dilakukan secara *axisymmetric* yang akan berpengaruh terhadap hasil analisis. Berikut adalah pemodelan numerik pada pemodelan plaxis 3D pada Gambar 4.

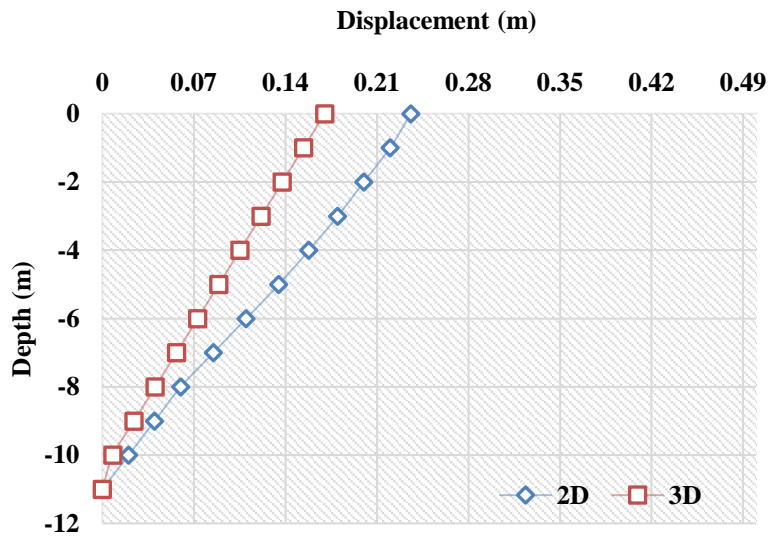


Gambar 4 Pemodelan Plaxis 3D

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

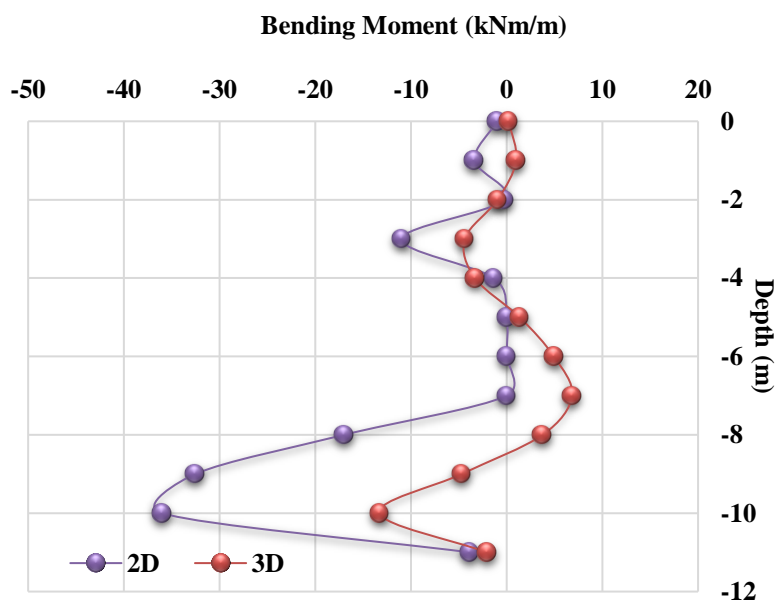
Dalam hasil dan pembahasan, nilai faktor keamanan, deformasi horizontal, nilai bending moment, serta penurunan di belakang dinding akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik antara analisis FEM 2 dimensi dan 3 dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Hasil displacement pada analisis 2D didapatkan 23 cm, sedangkan pada analisis 3D didapatkan nilai yang lebih kecil daripada analisis 2D senilai 17 cm. Adapun, grafik bending moment tercantum

pada Gambar 6 di mana hasil bending moment pada analisis 2D juga memiliki nilai yang lebih besar daripada analisis 3D.



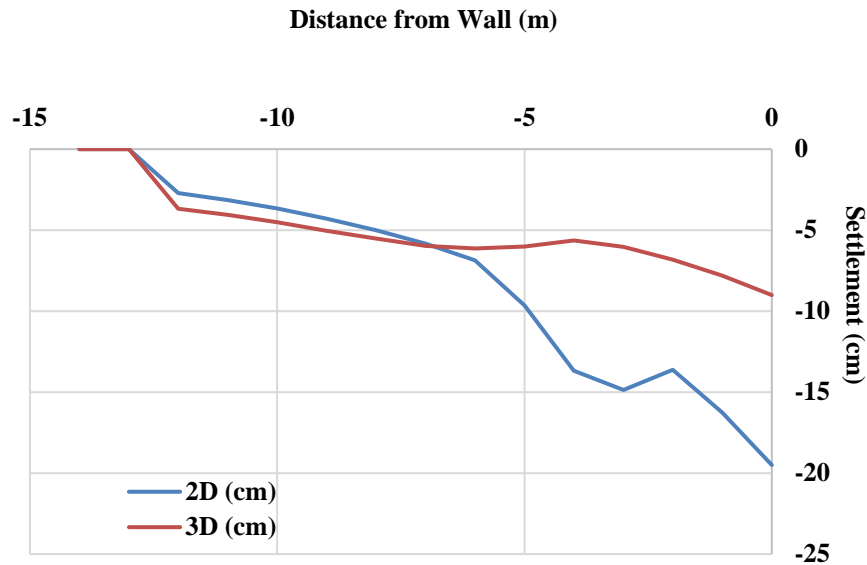
Gambar 5 Displacement

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa *displacement*/deformasi pada analisis 2 dimensi memiliki nilai yang lebih besar daripada hasil analisis 3 dimensi. Hal tersebut membuktikan penelitian oleh Liang Tang *et.al* (Tang *et al.*, 2018) mengenai *Finite Element Analysis of Lateral Earth Pressure on Sheet Pile Walls* bahwa *displacement* dalam analisis 3D dinilai lebih akurat serta mudah dipertimbangkan daripada dengan analisis 2D, hal itu disebabkan dimensi penampangnya dalam 3D yang dinilai lebih realistis. Sedangkan, menurut Alireza dan M. Ahmadi bahwa analisis 2D menghasilkan nilai defleksi yang *overestimate* dan desain yang digunakan kemungkinan tidak ekonomis (Ahmadi & Ahmadi, 2022). Sedangkan, bending moment dalam 2 dimensi juga memiliki hasil yang *overestimate* daripada analisis 3 dimensi. Hal tersebut juga membenarkan penelitian oleh Ong Yin Hoe dan Hisham Mohamad mengenai *Excavation in 2D and 3D Problems* bahwa, dalam 2D model *overestimate* dalam bending moment di perbandingan terhadap 3D model. Oleh karena itu, dalam situasi ini analisis 2D menyebabkan desain yang berlebihan (*over-design*) (Hoe & Mohamad, 2018).



Gambar 6 Bending Moment

Sedangkan grafik penurunan tanah di belakang dinding hasil perbandingan antara FEM 2D dan 3D dapat dilihat pada gambar 7 di bawah, dimana nilai penurunan pada 2 dimensi memiliki nilai hampir dua kali lipat lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis 3 dimensi.



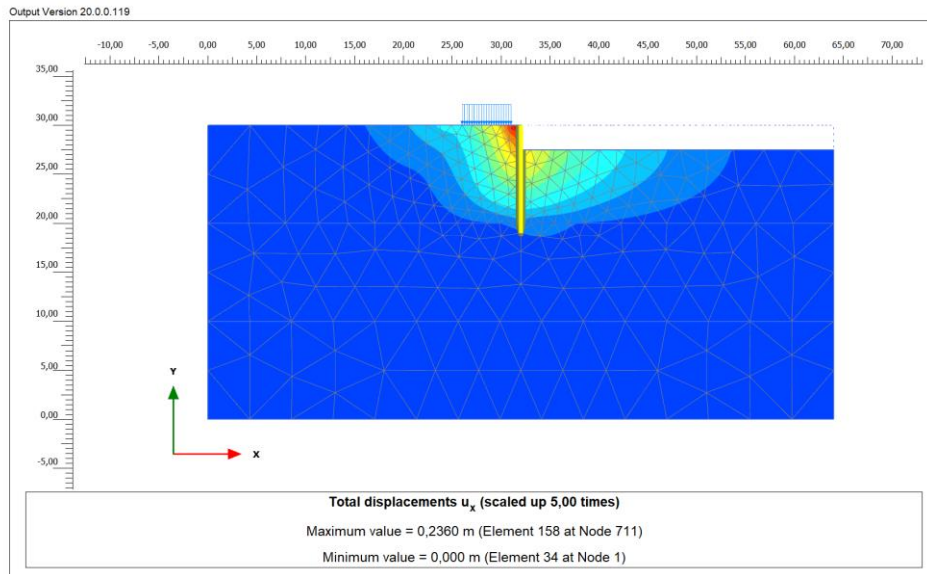
Gambar 7 Penurunan Tanah di Belakang Dinding

Hasil keseluruhan dari analisis antara FEM 2D dan 3D menggunakan aplikasi Plaxis yang menunjukkan bahwa hasil dari analisis 2D memiliki nilai yang lebih besar dan cenderung *overestimate* berdasarkan nilai *bending moment*, deformasi, dan penurunan tanah di belakang dinding dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

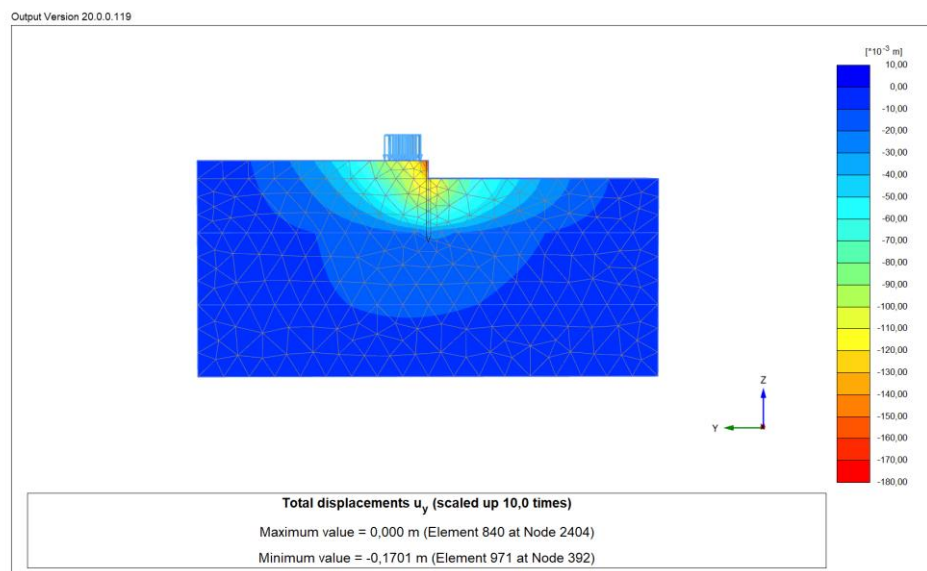
Tabel 4 Hasil Analisis FEM 2D dan 3D

Results	Bending Moment kNm/m		SF	Displacement (cm)	Settlement (cm)
	Min.	Max.			
2D	-36,16	0,1463	2	23	19
3D	-13,28	6,836	2,47	17	9

Sedangkan untuk hasil keluaran *displacement* dari analisis menggunakan aplikasi Plaxis 2 dimensi dan 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 berikut.

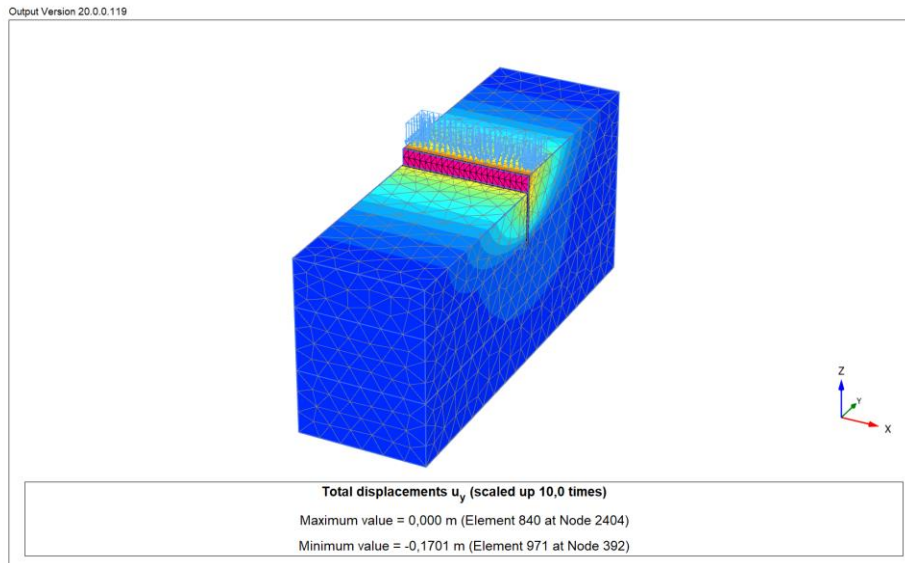


Gambar 8 Displacement pada Plaxis 2D



Gambar 9 Displacement pada Plaxis 3D (*Side-View*)

Adapun, pada Gambar 10 berikut menunjukkan nilai *displacement* analisis 3D dengan pemodelan akhir (*front-view*) berikut ini.



Gambar 10 Displacement pada Plaxis 3D (Front-View)

4. KESIMPULAN

Pada analisis perbandingan antara FEM dua dimensi dengan tiga dimensi didapatkan hasil faktor keamanan yang lebih besar pada tiga dimensi. Sedangkan hasil bending moment, deformasi horizontal, serta penurunan di belakang dinding analisis FEM dua dimensi menunjukkan hasil yang lebih besar dan *overestimate* dibandingkan dengan analisis tiga dimensi. Hal tersebut dikarenakan konsep (*plain-strain*) dua dimensi yang mana pada kondisi ini tegangan-regangan disimulasikan hanya pada sumbu x dan y, sedangkan untuk sumbu z dianggap nol. Berbeda halnya dengan FEM tiga dimensi konsep (*axisymmetric*) yang terdapat tiga sumbu (x, y, dan z) sehingga simulasi analisis terbagi ke arah radial dan longitudinal, sehingga analisis FEM tiga dimensi dinilai lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, A., & Ahmadi, M. M. (2022). Three-dimensional numerical analysis of corner effect of an excavation supported by ground anchors. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 16(7), 903–915. <https://doi.org/10.1080/19386362.2019.1682349>
- bangunan penampung air PUPR*. (n.d.).
- Boscato, G., Mottram, J. T., & Russo, S. (2011). Dynamic Response of a Sheet Pile of Fiber-Reinforced Polymer for Waterfront Barriers. *Journal of Composites for Construction*, 15(6), 974–984. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000231](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000231)
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics Foundation 3rd Edition*. New Jersey: Hamilton Company.
- Galian, K., Di, L., Lunak, T., & Riza, M. (n.d.). *Reliabilitas Model Tanah Mohr-Coulomb Dan Hardening Soil Pada Kasus*. <https://www.researchgate.net/publication/361244798>
- Hamdhan, I. N., & Fitriani Iskandar, F. (2019). Analisis Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Menggunakan Dinding Turap dengan Pendekatan Model Numerik. In *Media Komunikasi Teknik Sipil* (Vol. 25, Issue 1).
- Hoe, O. Y., & Mohamad, H. (2018). Comparison of Induced Deflection and Forces in Piles Adjacent to Tunnelling and Deep Excavation in 2D and 3D Problems. *MATEC Web of Conferences*, 203. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201820304011>
- Inovasi Penelitian, J., Eldi Widayiswara Kementerian Agraria dan Tata Ruang, O., Pertanahan Nasional Jl Sisingamangaraja No, B., Kby Baru, K., Jakarta Selatan, K., & Khusus, D. (n.d.). *Analisis Penyebab Banjir Di Dki Jakarta*.

- Kefas, P. (2022). Analisis Galian Dalam Dengan Perkuatan Angkur Dan Strut Menggunakan Model 3d Di Jakarta Utara. *TERAS JURNAL*, 12(2), 515. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i2.725>
- Kempfert, H.-Georg., & Gebreselassie, Berhane. (2006). *Excavations and foundations in soft soils*. Springer-Verlag.
- Pratiwi, V., & Rahajoeningroem, T. (2020). Perencanaan Prasarana Dan Sarana Sistem Pengendalian Banjir Kota Administrasi Jakarta Pusat Infrastructure Planning And Facilities For Flood Control System Of Central Jakarta. *IComSE (Indonesian Community Service and Empowerment)*, 1(1), 36–44.
- Tang, L., Cong, S., Xing, W., Ling, X., Geng, L., Nie, Z., & Gan, F. (2018). Finite element analysis of lateral earth pressure on sheet pile walls. *Engineering Geology*, 244, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.07.030>