

ANALISIS PENGARUH VARIASI PROFIL DINDING PENAHAN SHEET PILE TERHADAP STABILITAS TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN PLAXIS 2D

Doroti Krislei Laia¹, Lolom Evalita Hutabarat²

¹ Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia (UKI) Jakarta

Email: krisleidoroti@gmail.com

² Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia (UKI) Jakarta

Email: lolom.hutabarat@uki.ac.id

Masuk: **9-03-2026**, revisi: **22-04-2026**, diterima untuk diterbitkan: **30-04-2026**

ABSTRAK

Penggalian perkotaan yang dalam di lapisan tanah liat dan air tanah menghadapi risiko tinggi pengangkatan tanah dan pergerakan dinding. Menggunakan pemodelan elemen hingga PLAXIS 2D dengan kerangka Hardening Soil, studi ini menganalisis kinerja profil turap ESC-HRZ (ketebalan 9–17 mm) pada kedalaman 9 m, 12 m, dan 14 m. Pada kedalaman 9 m, setiap profil turap mengalami toe kick-out karena dinding gagal menancap cukup dalam ke lapisan tanah yang kaku. Peningkatan ketebalan dinding menjadi 17 mm meningkatkan kekakuan, tetapi pengaturan kantilever masih gagal menjaga pergerakan di bawah batas yang dibutuhkan ($<0,5\%$ dari batas). Memperpanjang penanaman hingga 14 m ke dalam lapisan lumpur yang kaku dan memasang dua tingkat jangkar memungkinkan bahkan profil 9 mm yang paling tipis pun berkinerja lebih baik daripada dinding tanpa penyangga yang paling tebal. Konfigurasi jangkar plus kedalaman yang dioptimalkan mengurangi total berat baja sebesar 54%, menjaga pergeseran dinding tetap rendah hingga 0,46%, dan mengamankan faktor keamanan 2,15. Kedalaman penanaman yang dalam dan dukungan struktural yang kuat mengendalikan pergerakan tanah jauh lebih efektif daripada sekadar meningkatkan ketebalan atau berat dinding baja. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh kombinasi profil dan kedalaman menghasilkan faktor keamanan di atas batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1,5. Penambahan angkur terbukti meningkatkan nilai faktor keamanan dan mengurangi deformasi, meskipun model tanpa angkur juga menunjukkan kestabilan yang memadai. Profil dengan kekakuan yang lebih tinggi memberikan performa yang lebih baik dalam menjaga stabilitas sistem. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pemilihan desain sheet pile pada konstruksi di tanah lempung, dengan mempertimbangkan efisiensi struktur dan keamanan geoteknik.

Kata kunci: Sheet Pile, deformasi, faktor keamanan, tanah lempung, Plaxis 2D

ABSTRACT

Deep urban excavations with clay and groundwater layers face a high risk of soil transport and wall movement. Using PLAXIS 2D finite element modeling with the Hardening Soil framework, this study analyzed the performance of ESC-HRZ sheet pile profiles (9–17 mm thick) at depths of 9 m, 12 m, and 14 m. At 9 m, each sheet pile profile experienced toe kick-out as the wall failed to embed deep enough into the stiff soil layer. Increasing the wall thickness to 17 mm improved stiffness, but the cantilever arrangement still failed to keep the movement below the required limit ($<0.5\%$ of the limit). Extending the embedment to 14 m into the stiff mud layer and installing two levels of anchors allowed even the thinnest 9 mm profiles to outperform the thickest unsupported wall. The optimized anchor-plus-depth configuration reduced the total steel weight by 54%, kept the wall displacement low to 0.46%, and maintained a safety factor of 2.15. Deep embedment depths and strong structural support control ground movement much more effectively than simply increasing the thickness or weight of the steel wall. Simulation results show that all combinations of depth profiles yield a safety factor above the minimum required limit of 1.5. The addition of anchors has been shown to increase the safety factor and reduce the quality, although the model without anchors also shows adequate stability. Profiles with higher stiffness provide better performance in maintaining system stability. The results of this study can be used as a reference in selecting sheet pile designs for construction on clay soils, taking into account both structural efficiency and geotechnical safety.

Keywords: Sheet Pile, deformasi, faktor keamanan, tanah lempung, Plaxis 2D

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur di daerah urban sering kali membutuhkan pembangunan di atas tanah dengan karakteristik lunak, seperti tanah lempung (Farlin Rosyad, 2025). Salah satu tantangan utama yang dihadapi dalam konstruksi di atas tanah tersebut adalah kestabilan lereng dan dinding penahan tanah terhadap gaya lateral akibat tekanan tanah dan beban tambahan di permukaan (Gade & Dasaka, 2022; Imran et al., 2023; Mahmood et al., 2021; W. Zhang et al., 2020). Penggunaan sheet pile sebagai dinding penahan tanah menjadi salah satu solusi yang banyak diterapkan, terutama pada pekerjaan galian seperti konstruksi basement (Farlin Rosyad, 2025). Namun, kinerja sheet pile sangat dipengaruhi oleh jenis profil dan kedalaman pemasangannya (M. Zhang et al., 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian yang mendalam untuk mengetahui sejauh mana variasi profil sheet pile dapat memengaruhi stabilitas tanah yang ditahan, khususnya pada kondisi tanah lempung. Meningkatkan ketebalan dan kedalaman pemasangan sheet pile umumnya mengurangi defleksi lateral dan meningkatkan stabilitas, tetapi kedua parameter ini menunjukkan hasil yang semakin berkurang setelah melewati ambang kritis. Ketebalan dan kekakuan sheet pile secara langsung menentukan deformasi dinding dan distribusi momen lentur saat penggalian basement. Meningkatkan ketebalan dinding berdampak signifikan pada momen lentur positif dan negatif di struktur basement pile-wall yang terintegrasi (Wu et al., 2024). Pada penggalian yang dalam, meningkatkan kekakuan retaining wall sheet pile mengurangi pergeseran dinding, tetapi secara substansial meningkatkan momen lentur dinding (Tra, Huynh, & To, 2025). Demikian juga, menambah ketebalan dinding basement punya efek kecil pada momen lentur tiang penahan, tapi secara signifikan meningkatkan momen lentur dinding basement itu sendiri (Wu et al., 2022). Optimasi profil sheet pile menunjukkan bahwa memilih profil PZ35 yang lebih tipis dibandingkan dengan PZ40 bisa mengurangi perpindahan horizontal hingga 50% dengan kenaikan biaya hanya 20%. Beberapa hal yang mempengaruhi desain dinding penahan tanah sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan Pengaruh Desain Struktur Penahan Tanah

Parameter	Mekanisme	Pengaruh
Kedalaman dinding	Menahan deformasi pada kaki dindingan dan naiknya dasar lubang galian (Liu et al., 2025)	Penurunan tanah minimal di luar kedalaman kritis berkurang (Liu et al., 2025)
Ketebalan dinding	Meningkatkan kekakuan untuk melawan tekanan tanah lateral (Tra, Huynh, & To., 2025)	Pemadatan berkurang pada ketebalan yang lebih besar (Liu et al., 2025)
Kedalaman penetrasi	Menghasilkan gaya pasif terhadap gaya penggerak aktif (Jalawadi & Shivashankar, 2021)	Peningkatan kapasitas terbatas melewati rasio 2,0 di pasir padat (Basha et al., 2023)
Penambahan angkur	Mengurangi kedalaman penetrasi dan momen tekuk yang dibutuhkan (Jalawadi & Shivashankar, 2021)	Faktor Keamanan meningkat dari 0,770 menjadi 1,146 (Wardani et al., 2024)

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D, dengan tujuan mengevaluasi pengaruh variasi profil dan kedalaman sheet pile terhadap nilai faktor keamanan dan deformasi horizontal. Selain itu, juga dibandingkan kondisi dengan dan tanpa penggunaan angkur untuk melihat efektivitas tambahan sistem penahan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dalam perencanaan sistem

dinding penahan tanah yang lebih efisien dan aman, khususnya pada konstruksi bawah tanah di area bertanah lempung.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis perangkat lunak PLAXIS 2D dengan input data tanah dari proyek pembangunan *Transit Oriented Development* (TOD) Taman Mini, Jakarta Timur. Model pemodelan dibuat dua dimensi dengan kondisi drainase tidak terdrainase (undrained) untuk mewakili kondisi jangka pendek. Terdapat dua jenis variasi model yang dibandingkan, yaitu model sheet pile tanpa angkur dan model sheet pile dengan penggunaan angkur. Masing-masing skenario menggunakan tiga variasi kedalaman (9 m, 12 m, dan 14 m) serta tiga jenis profil sheet pile (dilambangkan sebagai Profil 1, 2, dan 3). Total model simulasi yang dilakukan berjumlah 18 kombinasi.

2.1. Parameter Tanah

Parameter tanah diperoleh berdasarkan data N-SPT dan bor log yang dikorelasikan menggunakan beberapa data empiris sebagai referensi (Bowles, 2006). Parameter struktur sheet pile dimasukkan sebagai elemen plate, sedangkan angkur dimodelkan sebagai kombinasi *node-to-node anchor* dan *embedded beam* sebagai *grout* (Braja et al., 1995). Parameter utama yang dianalisis dalam simulasi ini adalah nilai faktor keamanan (*safety factor*) dari analisis kestabilan dan nilai deformasi horizontal maksimum pada elemen dinding penahan. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil dari masing-masing model untuk mengetahui pengaruh variasi profil, kedalaman, serta keberadaan angkur terhadap performa sistem. Sebelum dilakukan analisis stabilitas, tahap awal yang penting adalah penentuan parameter masukan (*input parameter*) untuk pemodelan. Nilai-nilai ini diperoleh berdasarkan data lapangan dari proyek *Transit Oriented Development* (TOD) Taman Mini, yang kemudian dikorelasikan menggunakan literatur (Bowles, 2006). Parameter tanah dimasukkan berdasarkan hasil korelasi nilai N-SPT dan karakteristik jenis tanah, sedangkan parameter untuk elemen struktur seperti sheet pile dan angkur mengacu pada asumsi desain praktis dan referensi teknis. Tabel berikut memperlihatkan ringkasan parameter yang digunakan dalam simulasi pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Parameter Tanah

Lapisan Tanah	Kedalaman	Properties Tanah			Parameter Kuat Geser Tanah		
		Berat volume basah	Berat volume basah	Poisson ratio	Sudut geser dalam	Kuat geser <i>undrained</i>	Modulus elastis tanah
	(m)	γ_m (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	ν	ϕ (°)	S_u (kN/m ²)	E (kN/m ²)
Tanah 1	0 – 5	16	18	0,3	0	8	1000
Tanah 2	5 – 9	17	19	0,3	0	60	4000
Tanah 3	9 – 12	18	20	0,3	0	45	52000
Tanah 4	12 – 25	18	20	0,3	0	50	20000

3.2. Parameter *Sheetpile*

Rekapitulasi perhitungan parameter sheet pile dari data perencanaannya adalah sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.

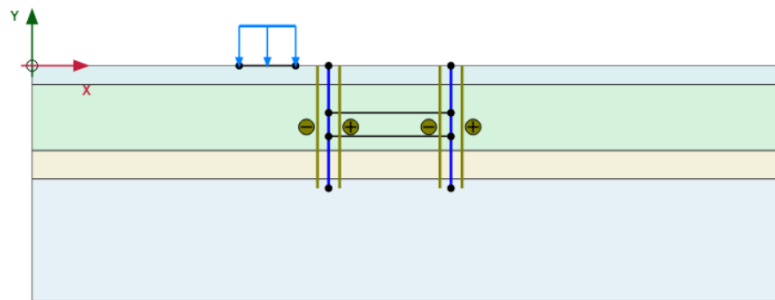
Tabel 3. Profil *Sheetpile* yang digunakan

Profil	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)
1	$2,91 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$
2	$4,15 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$
3	$5,94 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$

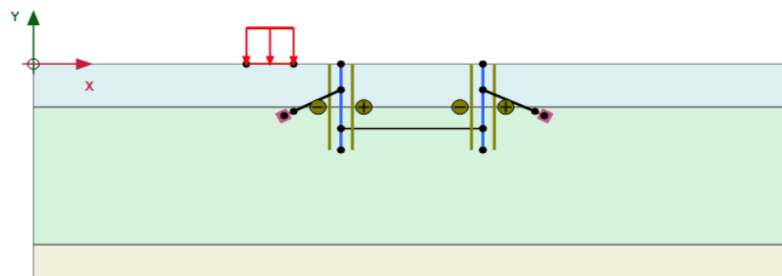
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Sheetpile dengan Plaxis

Pemodelan karakteristik tanah dalam simulasi PLAXIS menggunakan pendekatan Mohr-Coulomb, yang mencakup kondisi perilaku, yaitu undrained. Soil model yang digunakan sama untuk seluruh profil sheet pile (1, 2, dan 3), dengan penyesuaian kedalaman dan parameter berdasarkan data lapangan dan korelasi referensi sebagaimana terlihat pada Gambar 1 & 2.



Gambar 1. Pemodelan *Sheetpile* tanpa ankur



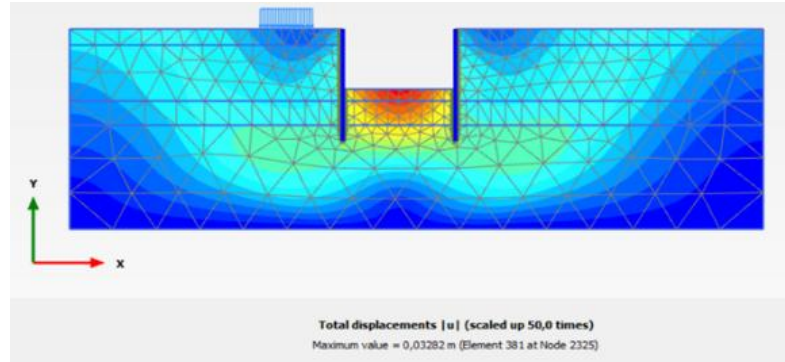
Gambar 2. Pemodelan *Sheetpile* dengan ankur

3.2. Hasil Analisis Plaxis

Hasil pemodelan di PLAXIS menghasilkan beberapa output utama, seperti deformasi tanah, lendutan maksimum pada sheet pile, momen lentur, dan gaya geser. Visualisasi deformasi tanah ditampilkan pada gambar berikut sebagai representasi dari kondisi struktur terhadap tekanan tanah.

3.2.1. Analisis Plaxis Tanpa Angkur

Gambar deformasi total tanpa ankur menunjukkan pergerakan tanah yang dominan ke arah dalam galian, terutama di bagian tengah dinding. Meskipun tanpa ankur, deformasi masih berada dalam batas wajar, dengan pola yang relatif seragam di seluruh variasi profil dan kedalaman sebagaimana terlihat pada Gambar 3 dan Tabel 4.



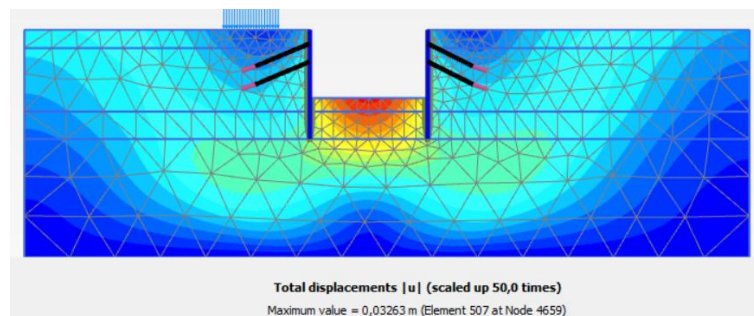
Gambar 3. Deformasi *Sheetpile* Tanpa Angkur

Tabel 4. Nilai Faktor Keamanan Tanpa Angkur

Kedalaman	Faktor Keamanan (<i>Safety factor</i>)		
	Profil 1	Profil 2	Profil 3
14	1,815	1,818	1,819
12	1,769	1,770	1,771
9	1,605	1,607	1,608

3.2.2. Analisis Plaxis Menggunakan Angkur

Gambar deformasi dengan penggunaan angkur menunjukkan pola yang hampir serupa dengan kondisi tanpa angkur, namun dengan intensitas pergeseran yang cenderung lebih terkontrol. Penambahan elemen angkur berfungsi memperkuat kestabilan lateral dinding penahan, sehingga deformasi dapat diminimalkan. Meskipun perbedaannya tidak terlalu mencolok secara visual, pengaruh angkur terlihat dalam peningkatan nilai faktor keamanan pada analisis numerik sebagaimana terlihat pada Gambar 4 dan Tabel 5 sebagai berikut:



Gambar 4. Deformasi *Sheetpile* Menggunakan Angkur

Tabel 5. Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Angkur

Kedalaman	Faktor Keamanan (<i>Safety factor</i>)		
	Profil 1	Profil 2	Profil 3
14	1,863	1,866	1,867
12	1,817	1,820	1,821
9	1,706	1,706	1,708

Dari hasil rekapitulasi pada Tabel 4 & 5 di atas, terlihat bahwa penambahan angkur memberikan kontribusi terhadap peningkatan nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada seluruh skenario. Kenaikan nilai ini menunjukkan bahwa angkur berperan dalam memperbesar kestabilan sistem penahan tanah dengan mengurangi gaya geser yang diterima oleh dinding sheet pile. Meski demikian, peningkatan nilai *safety factor* akibat angkur terbilang tidak terlalu signifikan, terutama pada kedalaman galian yang sudah cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa tanah lempung yang digunakan sudah cukup stabil secara alami, sehingga fungsi angkur lebih sebagai penguat tambahan, bukan sebagai elemen utama dalam menahan gaya lateral.

3.3. Defleksi pada *Sheetpile*

Defleksi pada struktur *sheetpile* dianalisis terhadap arah horizontal (sumbu X), karena arah inilah yang dominan dipengaruhi oleh gaya lateral. Defleksi terjadi akibat beban timbunan tanah, beban lalu lintas, tekanan dari lapisan perkerasan jalan, serta beban dinamis seperti gempa. Mengacu pada SNI 8460:2017, batas toleransi deformasi lateral untuk dinding tipe embedded wall memiliki kriteria tertentu yang dijadikan acuan untuk menentukan apakah deformasi tersebut masih dapat diterima.

- Defleksi maksimum untuk kedalaman 9 m

$$\begin{aligned}
 &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 9 \text{ m} \\
 &= 0,045 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- Defleksi maksimum untuk kedalaman 12 m

$$\begin{aligned}
 &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 12 \text{ m} \\
 &= 0,06 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

- Defleksi maksimum untuk kedalaman 14 m

$$\begin{aligned}
 &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 14 \text{ m} \\
 &= 0,07 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

3.4. Rekapitulasi Faktor Keamanan (*Safety Factor*) dan Defleksi pada *Sheetpile*

Hasil simulasi untuk setiap faktor keamanan dan defleksi pada masing-masing profil *sheetpile* dan kedalaman *sheetpile* dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi Faktor Keamanan dan Defleksi *Sheetpile*

Jenis <i>Sheetpile</i>	Kedalaman (m)	FK pada Profil			Kesimpulan	Defleksi Profil			Kesimpulan
		1	2	3		1	2	3	
Tanpa angkur	9	1,605	1,607	1,080	$\geq 1,5$ memenuhi	0,03279	0,03276	0,03275	$\geq 0,045$ memenuhi
	12	1,769	1,770	1,771	$\geq 1,5$ memenuhi	0,03279	0,03278	0,03276	$\geq 0,006$ memenuhi
	14	1,815	1,819	1,819	$\geq 1,5$ memenuhi	0,03231	0,03229	0,03227	$\geq 0,007$ memenuhi
Dengan angkur	9	1,863	1,866	1,867	$\geq 1,5$ memenuhi	0,03273	0,03270	0,03268	$\geq 0,045$ memenuhi
	12	1,817	1,820	1,821	$\geq 1,5$ memenuhi	0,03263	0,03259	0,03257	$\geq 0,006$ memenuhi
	14	1,706	1,706	1,708	$\geq 1,5$ memenuhi	0,03279	0,03278	0,03277	$\geq 0,007$ memenuhi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Seluruh kombinasi profil dan kedalaman sheet pile, baik dengan maupun tanpa angkur, menunjukkan hasil yang memenuhi kriteria faktor keamanan minimum ($\geq 1,5$).
- 2) Penambahan kedalaman sheet pile secara konsisten meningkatkan nilai safety factor dan mengurangi deformasi horizontal.
- 3) Variasi bentuk profil sheet pile memberikan pengaruh terhadap stabilitas, dengan profil yang lebih kaku menghasilkan performa yang lebih baik.
- 4) Penggunaan angkur berkontribusi dalam peningkatan kestabilan sistem, meskipun pada beberapa kondisi tanpa angkur pun hasil simulasi tetap menunjukkan kestabilan yang memadai.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemilihan desain *sheet pile* pada konstruksi di tanah lempung, dengan mempertimbangkan efisiensi struktur dan keamanan geoteknik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Basha, A., Zakaria, M. H., El-Nimr, M. T., & Abo-Raya, M. M. (2023). Performance Analysis of Axially Loaded Secant Pile Wall Embedded in Sand: An Experimental Investigation. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(10), 13005–13029. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-07657-4>
- Bowles, J. E. (2006). Foundation analysis and design. In *John Wiley and Sons, New York*. <https://doi.org/10.1061/9780784408650>
- Farlin Rosyad. (2025). Analisis Perencanaan Penanganan Abrasi Menggunakan Dinding Penahan Tanah. *Rang Teknik Journal FT UM Sumatera Barat*, 8(1), 101–110.
- Gade, V., & Dasaka, S. M. (2022). Short- and long-term behavior of EPS geofom in reduction of lateral earth pressure on rigid retaining wall subjected to surcharge loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(5), 868–880. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2022.05.002>
- Imran, H., Al-Jeznawi, D., Al-Janabi, M., & Bernardo, L. (2023). Assessment of Soil–Structure Interaction Approaches in Mechanically Stabilized Earth Retaining Walls: A Review.

- CivilEng.*, 4(3), 982–999. <https://doi.org/10.3390/civileng4030053>
- Jalawadi, S., & Shivashankar, R. (2021). Parametric study on Sheet Pile Walls in Layered Soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 822(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/822/1/012020>
- Liu, K., Liu, H., Gao, Y., Wang, Z., Wang, Y., Liu, Q., Jia, C., Huang, Z., & Zhang, B. (2025). Study on the Stability of Buildings During Excavation in Urban Core Areas. *Applied Sciences*, 15(8), 10283. <https://doi.org/10.3390/app151810283>
- Mahmood, M., Akhtarpour, A., & Alsharifi, Z. (2021). A review of slope stability challenges and neighbouring buildings. *Journal of Physics: Conference Series IOP Publishing*, 1895(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1895/1/012014>
- Tra, H. T., Huynh, Q. T., & To, T. S. (2025). Interaction between retaining wall and structural piles in soft soil-deep excavation. *World Journal of Engineering*, 1–13. <https://doi.org/10.1108/wje-03-2025-0162>
- Tra, H. T., Huynh, Q. T., & To, T. S. (2025). Interaction between retaining wall and structural piles in soft soil-deep excavation. *World Journal of Engineering*, 1–13. <https://doi.org/10.1108/wje-03-2025-0162>
- Wardani, M. K., Utami, G. S., Syafiarti, A. I. D., & Lestari, L. (2024). Comparison of Design Requirements for Non-Anchored and Anchored Sheet Piles as Retaining Wall in a Basement. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, 4(2), 158–166. <https://doi.org/10.31284/j.jemt.2024.v4i2.5959>
- Wu, C., Shen, W., Xu, Y., & Wei, G. (2024). Model Test and Numerical Simulation of Two Typical Close-Fitting Pile–Wall Integrated Structures in Deep Excavation. *Buildings*, 14(8), 2347. <https://doi.org/10.3390/buildings14082347>
- Wu, C., Yu, J., Cao, X., & Shen, W. (2022). Study on Design Method of Pile Wall Combination Structure in a Deep Foundation Pit Considering Deformation Induced by Excavation. *Frontiers in Earth Science*, 10, 837950. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.837950>
- Zhang, M., Wang, W., Hu, R., & Wang, Z. (2020). Study on Model and Tests of Sheet Pile Wall with a Relieving Platform. *Advances in Civil Engineering*, 8894601(1), 7–9. <https://doi.org/10.1155/2020/8894601>
- Zhang, W., Zhang, R., Wu, C., Goh, A., Lacasse, S., Liu, Z., & Liu, H. (2020). State-of-the-art review of soft computing applications in underground excavations. *Geoscience Frontiers*, 11(4), 1095–1106. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.12.003>