

Pengaruh Variasi Diameter terhadap Deformasi Vertikal Fondasi Tiang Energi pada Tanah Lempung Menggunakan Metode Numerik

MUHAMMAD ZUFARI BUSTAMI¹, DESTI SANTI PRATIWI²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
- Email: zufarimuhammad743@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi berkelanjutan mendorong pemanfaatan fondasi tiang energi yang berfungsi ganda sebagai elemen struktur dan penukar panas, namun aspek geoteknik seperti deformasi vertikal pada tanah lempung masih menjadi tantangan, terutama terkait variasi dimensi tiang. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter tiang energi terhadap deformasi vertikal pada tanah homogen lempung dengan kondisi muka air tanah berada di permukaan. Metode yang digunakan adalah melalui pemodelan numerik berbasis PLAXIS 2D tipe axisymmetric. Tiang energi sedalam 26 m ditempatkan pada lapisan lempung setebal 52 m dengan variasi diameter 0,5 m; 1,0 m; dan 1,5 m, serta melibatkan siklus pemanasan–pendinginan. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar diameter tiang, deformasi vertikal semakin kecil; misalnya pada diameter 0,5 m deformasi mencapai 1,07 mm (pemanasan), sedangkan pada diameter 1,5 m berkurang menjadi 0,13 mm. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan diameter optimal untuk meningkatkan stabilitas fondasi tiang energi sekaligus menjaga efisiensi termal.

Kata kunci: Fondasi Tiang Energi, Lempung, Diameter, Deformasi

1. PENDAHULUAN

Isu lingkungan akibat penggunaan energi tidak ramah lingkungan dan pembangunan yang tidak berkelanjutan terus meningkat. Sektor konstruksi berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon, mencapai sekitar 34% dari total emisi CO₂ global (Bayu Widiarsa dkk., 2021). Salah satu inovasi untuk mengurangi dampak tersebut adalah pemanfaatan energi terbarukan dalam infrastruktur, misalnya penerapan fondasi tiang energi. Fondasi ini berfungsi ganda sebagai elemen struktur dan penukar panas (*ground heat exchanger*) untuk sistem pemanas dan pendingin bangunan. Dengan demikian, fondasi tiang energi menjadi alternatif berkelanjutan yang tidak hanya menopang bangunan, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi.

Penelitian ini bertujuan pada analisis pengaruh variasi diameter tiang energi terhadap deformasi vertikal pada tanah homogen lempung. Tanah lempung dipilih karena sifatnya yang sangat kompresibel dan rentan mengalami penurunan signifikan ketika menerima beban struktur. Dengan karakteristik tersebut, evaluasi pengaruh diameter pada lempung menjadi penting dalam memastikan stabilitas dan efisiensi desain tiang energi.

2. METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data sekunder berupa parameter geoteknik, parameter termal dan karakteristik material beton yang diperoleh dari jurnal serta literatur korelasi jenis tanah, kemudian dikonversi ke dalam model *Hardening Soil* agar sesuai dengan kebutuhan pemodelan numerik. Fondasi tiang energi yang dimodelkan pada tanah homogen jenis lempung, dipilih karena sifatnya yang sangat kompresibel dan rentan mengalami deformasi. Variasi diameter tiang energi yang dianalisis adalah 0,5 m, 1,0 m, dan 1,5 m, sehingga dapat dievaluasi pengaruh ukuran tiang terhadap deformasi vertikal pada kondisi tanah lempung. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dengan tipe model *axisymmetric*.

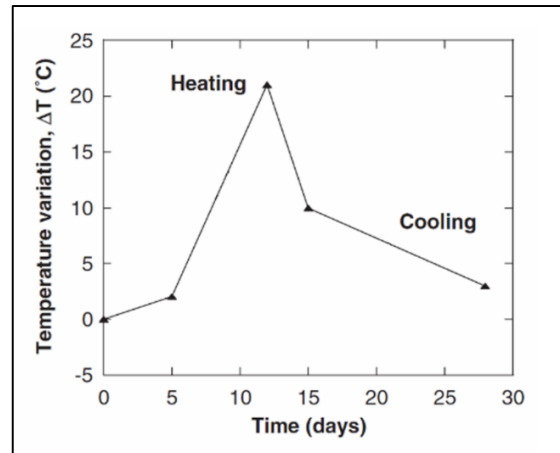
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Parameter Pemodelan

Pemodelan numerik pada penelitian ini menggunakan tanah homogen jenis lempung dengan kedalaman lapisan 52 m, letak Muka Air Tanah (MAT) berada di permukaan tanah dan fondasi tiang energi sedalam 26 m dengan model linear elastis. Parameter tanah ditentukan dari literatur dan dikonversi ke dalam model *Hardening Soil* untuk merepresentasikan sifat lempung yang plastis dan kompresibel. Beton tiang dimodelkan sebagai material linier elastis. Parameter yang digunakan mencakup sifat mekanis serta sifat termal. Selain itu, dimasukkan pula siklus termal berupa fase pemanasan dan pendinginan. Parameter pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 1**, **Tabel 2** dan **Gambar 1** data siklus termal.

Tabel 1 Data Parameter Pemodelan

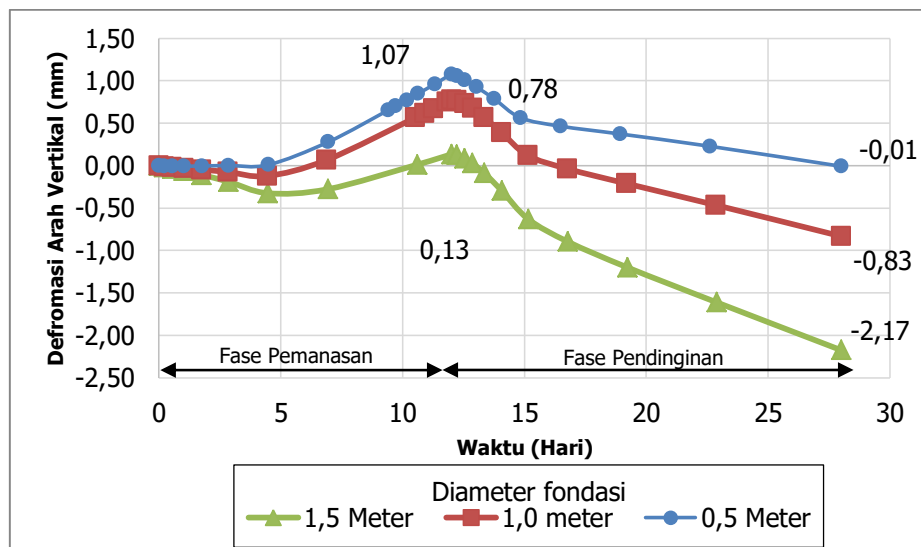
Parameter	Lempung	Fondasi	Satuan
Umum			
Model	HS	LE	-
Y_{Sat}	19	24	kN/m ³
Y_{Unsat}	18	24	kN/m ³
Angka Pori Awal	1,200		
Mekanikal			
E_{50}^{ref}	8000	$2 \cdot 10^6$	kN/m ²
E_{oed}^{ref}	6000	-	kN/m ²
E_{ur}^{ref}	24000	-	kN/m ²
Poisson Ratio	0,35	0,00	
Kohesi	20	-	kPa
Sudut Geser	20	-	
Sudut Dilatasi	0	-	
Hidraulik			
Permeabilitas	$1 \cdot 10^{-9}$	0	m/s
Termal			
Kapasitas Kalor	1200	800	J/kg/K
Konduktivitas Termal	1,000	0,8	W/m/K
Kepadatan Solid	2700	2400	kg/m ³
Ekspansi Termal	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	1/K



Gambar 1 Data Siklus Termal (Laluoi, Nuth, & Vulliet, 2006)

3.2 Hasil Analisis Deformasi Arah Vertikal

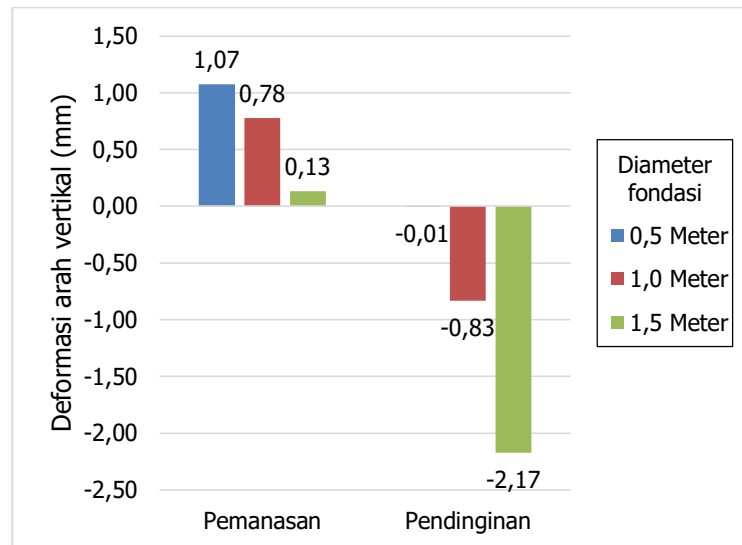
Hasil pemodelan numerik menunjukkan bahwa semakin besar diameter tiang energi, deformasi vertikal yang terjadi semakin kecil. Pada diameter 0,5 m, deformasi tercatat paling tinggi, sedangkan pada diameter 1,5 m deformasi menurun signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh besaran diameter tiang secara langsung mempengaruhi deformasi arah vertikal yang terjadi. Selain itu siklus termal mempengaruhi deformasi yang terjadi. Hal ini dibuktikan pada pola deformasi vertikal saat fase pemanasan sempat terjadi deformasi positif (ekspansi). Deformasi setelahnya menurun saat memasuki fase pendinginan hingga akhir hari dan terjadi deformasi negatif (penurunan). Hasil analisis deformasi ditunjukkan pada **Gambar 2**, **Tabel 3**, dan **Gambar 3**.



Gambar 2 Grafik Deformasi arah vertikal

Tabel 2 Deformasi pada saat pemanasan dan pendinginan berakhir

Jenis Tanah	Diameter (m)	Deformasi arah vertikal (mm)	
		Hari Ke-12	Hari Ke-28
Tanah Lempung	0,5	1,07	-0,01
	1	0,78	-0,83
	1,5	0,13	-2,17



Gambar 3 Perbandingan Deformasi Pada Fase Pemanasan dan Pendinginan

Dari hasil analisis yang dilakukan bahwa diameter tiang energi berpengaruh signifikan terhadap deformasi vertikal pada tanah homogen dengan jenis tanah lempung. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Zai dan Prihatiningsih (2024) yang menyimpulkan bahwa semakin besar diameter fondasi, penurunan yang dihasilkan semakin kecil. Hasil pemodelan memperlihatkan bahwa pada diameter 0,5 m terjadi deformasi positif sebesar 1,07 mm pada akhir fase pemanasan (Hari Ke-12) dan deformasi negatif sebesar -0,01 mm setelah pendinginan (Hari Ke-28). Pada diameter 1,0 m deformasi mencapai 0,78 mm pada fase pemanasan dan -0,83 mm saat pendinginan, sedangkan pada diameter 1,5 m deformasi jauh lebih kecil pada fase pemanasan 0,13 mm namun menurun signifikan pada fase pendinginan hingga -2,17 mm.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa diameter tiang energi berpengaruh signifikan terhadap deformasi vertikal pada tanah homogen lempung. Semakin besar diameter tiang, deformasi yang terjadi semakin kecil, sehingga peningkatan luas penampang tiang dapat menjadi strategi efektif untuk mengurangi penurunan pada tanah yang sangat kompresibel. Selain itu, siklus termal turut memengaruhi perilaku deformasi, di mana fase pemanasan menimbulkan deformasi positif (ekspansi), sedangkan fase pendinginan menghasilkan deformasi negatif (penurunan).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Institut Teknologi Nasional Bandung melalui Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan dukungan akademik dan fasilitas selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pembimbing penelitian, yang telah memberikan arahan dan masukan berharga sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Selain itu, apresiasi disampaikan kepada rekan-rekan sejawat yang turut memberikan bantuan, diskusi, serta motivasi dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bayu Widiarsa, K., Kumara, I., Sari Hartati, R., & Teknik Elektro, J. (2021). Studi Literatur Perkembangan Green Building Di Indonesia (Vol. 8, No. 2).
- B Laloui, L., Nuth, M., & Vulliet, L. (2006). *Experimental and numerical investigations of the behaviour of a heat exchanger pile. International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 30(8), 763–781.
- Pratiwi, D. S., & Shidqi, G. M. N. (2024). Pengaruh perbandingan nilai termal terhadap deformasi fondasi tiang energi menggunakan metode numerik. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 30(1), 9–17. <https://doi.org/10.14710/mkts.v30i1.58552>
- Zai, E. C., & Prihatiningsih, A. (2024). Analisis daya dukung dan penurunan tiang pada batuan lempung dengan berbagai diameter. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(1), 99–106. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i1.24959>