

Pengaruh Beban Dinamik Mesin pada Tanah Lempung Lunak terhadap Penurunan Fondasi Tipe Fleksibel Menggunakan Metode Numerik

MUHAMMAD RIZKI BIHALALIKA¹, DESTI SANTI PRATIWI²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
- Email: muhammad.rizkibihalalika@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis respons fondasi dangkal terhadap beban dinamis mesin untuk menjaga stabilitas struktur dari getaran industri. Tujuannya adalah menganalisis penurunan fondasi dangkal akibat variasi frekuensi beban dinamis mesin, dengan fokus pada fondasi flexible type di tanah soft clay. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis metode elemen hingga dengan perangkat lunak PLAXIS 2D, memodelkan interaksi tanah-fondasi di bawah beban harmonik mesin TFO twisting 350 rpm (frekuensi 12 Hz). Variabel yang dikaji meliputi pengaruh redaman dan muka air tanah pada fondasi flexible type di tanah soft clay. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fondasi flexible type pada tanah soft clay tanpa redaman dan dengan muka air tanah mengalami penurunan terbesar. Kesimpulannya, desain fondasi mesin harus mempertimbangkan karakteristik frekuensi beban dinamis dan penerapan redaman untuk meminimalkan penurunan struktural, terutama pada fondasi flexible type di tanah soft clay dengan muka air tanah.

Kata kunci: penurunan, fondasi dangkal, beban dinamis mesin

1. PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan mesin dan generator dalam industri modern menimbulkan beban dinamis berupa getaran harmonik yang signifikan. Getaran ini, jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan kerusakan struktural pada fondasi dan tanah di bawahnya, termasuk penurunan daya dukung dan penurunan berlebihan (Simatupang et al., 2019). Meskipun analisis beban statik telah umum, studi mengenai beban dinamis, khususnya melalui simulasi numerik seperti PLAXIS 2D, masih relatif terbatas dalam memvisualisasikan respons penurunan fondasi (Damanik et al., 2021). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang respons penurunan fondasi menjadi esensial untuk meningkatkan kualitas desain fondasi mesin.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons penurunan fondasi dangkal akibat beban harmonik mesin menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, dengan fokus pada fondasi *flexible type* di tanah *soft clay*. Secara spesifik, penelitian ini akan menginvestigasi bagaimana getaran mesin pabrik memengaruhi penurunan pada fondasi *flexible type* di tanah *soft clay*, serta dampak variasi muka air tanah dan keberadaan redaman terhadap besarnya penurunan

tersebut. Relevansi penelitian ini terletak pada kontribusinya dalam menyediakan analisis numerik yang akurat dan visualisasi informatif mengenai perilaku penurunan fondasi, yang dapat menjadi dasar perencanaan fondasi mesin industri yang lebih aman dan efisien di masa depan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi eksperimen berbasis numerik. Objek penelitian adalah fondasi *flexible type* yang menopang mesin *TFO twisting* dengan frekuensi 12 Hz, diletakkan di atas tanah *soft clay*. Data parameter tanah dan fondasi diperoleh dari studi literatur dan jurnal terkait. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dengan implementasi metode elemen hingga (FEM). Teknik pengumpulan data dilakukan melalui *output* simulasi PLAXIS 2D, yang menghasilkan grafik penurunan vertikal (*total displacement*). Data penurunan ini kemudian dianalisis secara numerik untuk membandingkan pengaruh kondisi muka air tanah (dengan/tanpa) dan keberadaan redaman (dengan/tanpa) terhadap besarnya penurunan yang terjadi pada fondasi *flexible type* di tanah *soft clay*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pendahuluan Penelitian

Penelitian ini menganalisis respons penurunan fondasi mesin pada *subsoil* dengan kedalaman 10 m dan lebar 20 m, yang terdiri dari tanah lempung lunak. Mesin yang ditinjau adalah mesin *TFO twisting* dengan kecepatan 350 rpm dan frekuensi 12 Hz. Penelitian ini juga mempertimbangkan variasi penanaman fondasi, termasuk penggunaan pelat dan pengaruh redaman (*damping*) sebesar 1% yang sesuai untuk fondasi mesin (Pestana, 2022). Fokus utama analisis adalah penurunan yang dihasilkan dari variasi jenis tanah, jenis fondasi, kondisi muka air tanah, dan penerapan redaman.

Fase dinamika dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap pertama saat mesin dinyalakan dengan durasi 0,5 detik, dan tahap kedua saat mesin dimatikan dengan durasi 1 detik. Titik-titik yang diamati merupakan titik pusat fondasi dengan koordinat $x = 0$ m, $x = 2$ m, $x = 4$ m, $x = 6$ m, $x = 8$ m, dan $x = 10$ m. Pengamatan dilakukan pada titik-titik yang berdekatan untuk mendapatkan gambaran yang lebih rinci mengenai pengaruh getaran terhadap penurunan fondasi itu sendiri.

3.2 Parameter Tanah

Parameter tanah diperoleh dari data sekunder yang didapatkan dari studi literatur berupa pengumpulan data pada penelitian sebelumnya untuk satu jenis tanah, yaitu tanah lempung lunak (*soft clay*), diperlihatkan menurut model Mohr-Coulomb. tanah lempung lunak menggunakan model tak terkonsolidasi tak terkuras (*Unconsolidated Undrained*).

Untuk tanah lempung lunak, berat isi kering (γ_{unsat}) adalah 16 kN/m³ dan berat isi jenuh (γ_{sat}) adalah 18 kN/m³. Kohesi tanah (C') sebesar 2 kN/m², sudut geser dalam (ϕ) sebesar 24°, serta modulus elastisitas (E') mencapai 15.000 kN/m². Nilai rasio poisson (μ) adalah 0,3 dan modulus geser (G) sebesar 5.769 kN/m².

3.3 Parameter Fondasi

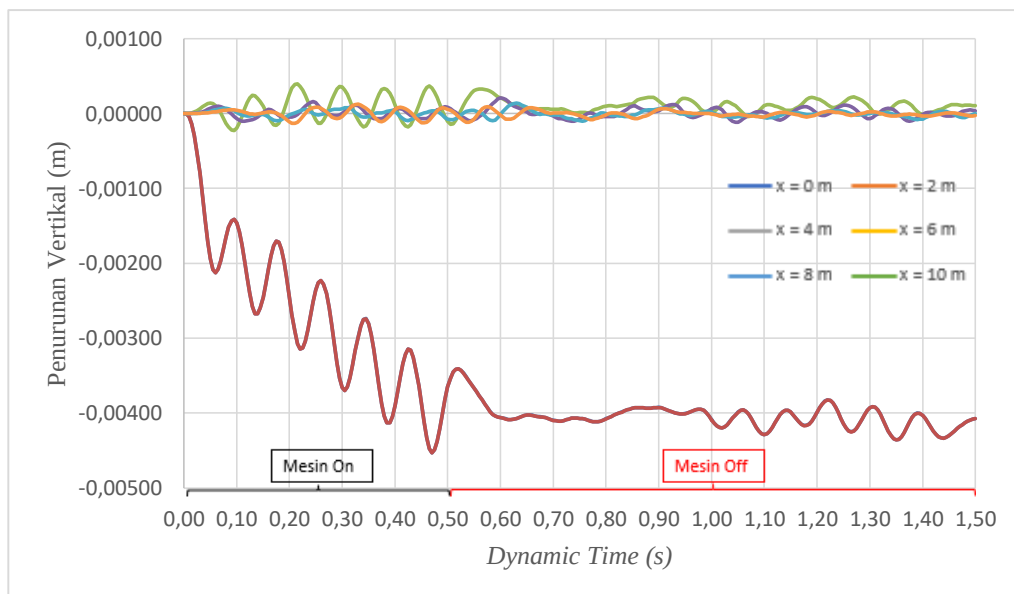
Parameter fondasi yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan model struktur fondasi tipe fleksibel dengan menggunakan model pelat (*plate*). Fondasi ini bersifat isotropik, yang berarti sifat-sifat mekanisnya sama ke segala arah. Kekakuan aksial (*axial stiffness*) fondasi ini memiliki nilai sebesar 18.737.709,45 kN/m, sementara kekakuan lentur (*flexural stiffness*) mencapai 16.319.250,1 kNm²/m. Berat beban yang diterima oleh fondasi adalah 17,5 kN/m². Nilai rasio poisson (*poisson's ratio*) pada fondasi ini adalah 0, yang menunjukkan tidak ada penurunan lateral akibat penurunan aksial. Selain itu, fondasi ini tidak dirancang untuk mencegah fenomena *punching shear*, sehingga *prevent punching* tidak diterapkan.

3.4 Parameter Mesin

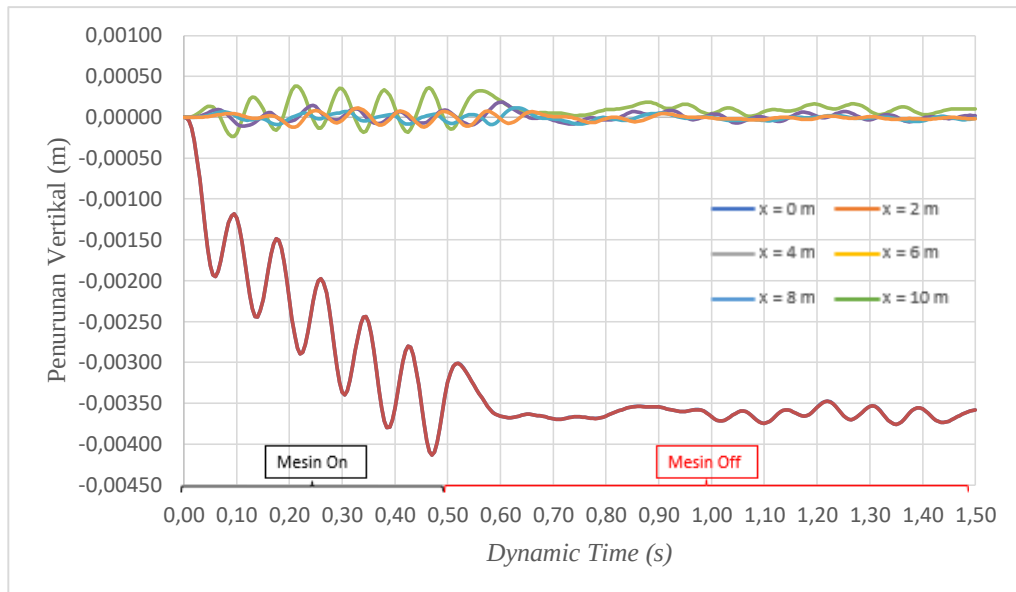
Parameter mesin pada penelitian ini digunakan mesin *TFO twisting machine* yang memiliki kecepatan putaran sebesar 350 RPM dengan frekuensi kerja 12 Hz. Mesin tersebut mempunyai berat total 65 kN yang apabila dikonversikan ke dalam beban merata setara dengan 3,312 kN/m². Dimensi mesin adalah 2,2 m × 1,12 m × 1,5 m, sehingga karakteristik geometris dan beban yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai acuan dalam analisis respon fondasi terhadap beban dinamis.

3.5 Hasil Analisis Penurunan dengan Pemodelan Menggunakan PLAXIS 2D

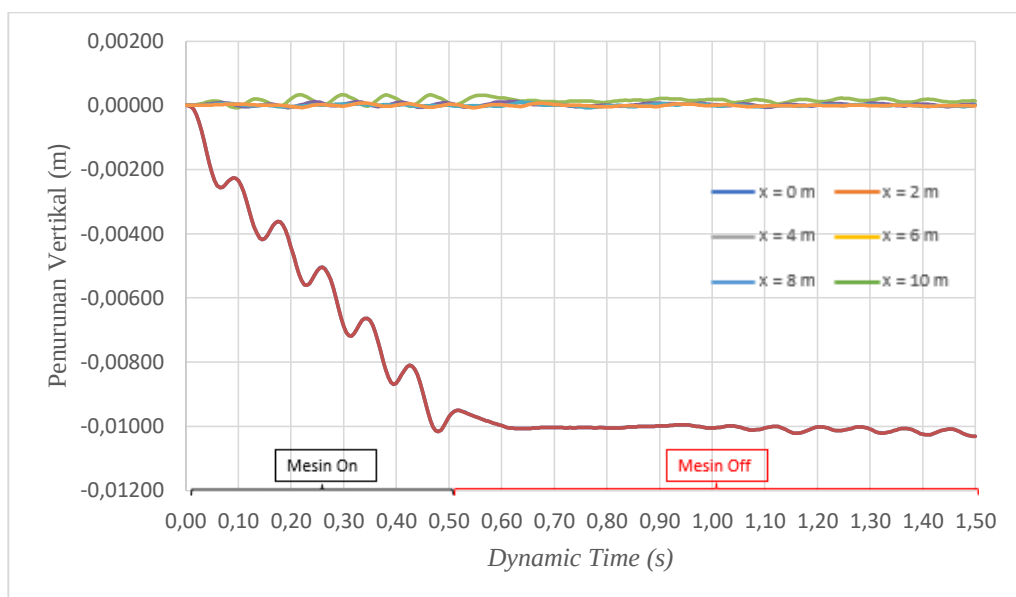
Fondasi *flexible type* ini dimodelkan dengan *plate* di PLAXIS 2D, dengan meninjau variasi muka air tanah dan redaman. Berikut merupakan grafik-grafik *output* dari fondasi *flexible type* yang ditunjukkan pada **Gambar 1.**, **Gambar 2.**, **Gambar 3.**, dan **Gambar 4.**



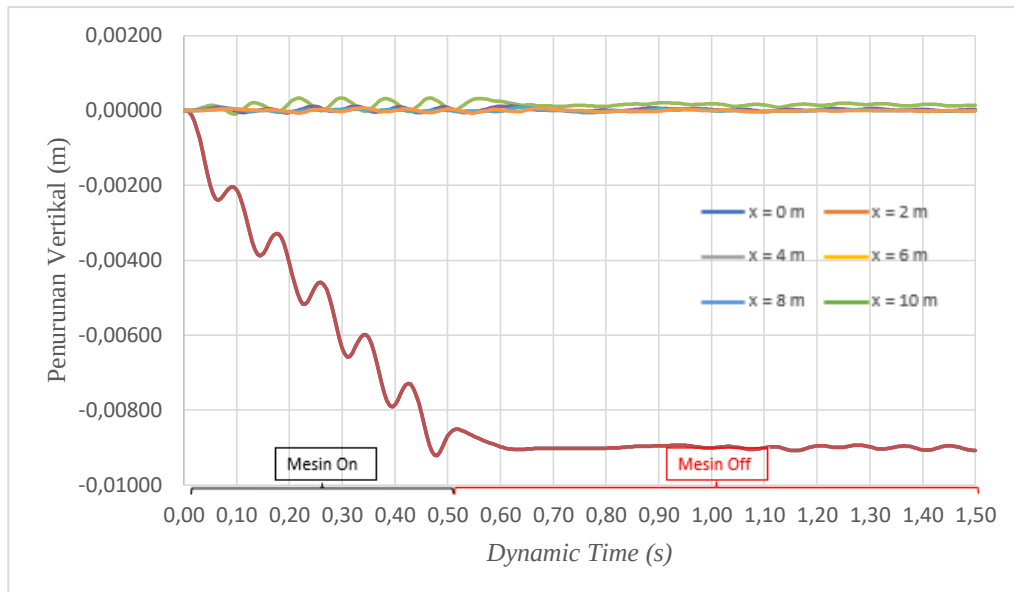
Gambar 1. Grafik Penurunan *Flexible Type* TFO tanpa MAT dan tanpa Redaman



Gambar 2. Grafik Penurunan *Flexible Type TFO* tanpa MAT dan dengan Redaman



Gambar 3. Grafik Penurunan *Flexible Type TFO* dengan MAT dan tanpa Redaman



Gambar 4. Grafik Penurunan *Flexible Type* TFO dengan MAT dan dengan Redaman

Hasil dari berbagai tinjauan yang dilakukan dapat saling dibandingkan. **Tabel 1.** menyajikan rekapitulasi dari semua *output* yang telah diperoleh dalam penelitian ini.

Tabel 1. Tabel Rekapitulasi Fondasi

Jenis Fondasi	Tinjauan	Penurunan Maksimum (mm)		Penurunan Rata-Rata (mm)	
		Fase Mesin On	Fase Mesin Off	Fase Mesin On	Fase Mesin Off
<i>Flexible Type</i>	<i>TFO Soft Clay</i> tanpa MAT dan tanpa Redaman (Model 1)	4,530	4,350	0,878	1,332
	<i>TFO Soft Clay</i> tanpa MAT dan dengan Redaman (Model 2)	4,090	3,720	0,792	1,186
	<i>TFO Soft Clay</i> dengan MAT dan tanpa Redaman (Model 3)	10,170	10,270	1,781	3,320
	<i>TFO Soft Clay</i> dengan MAT dan dengan Redaman (Model 4)	9,220	9,070	1,622	2,964

Dari *output-output* yang dihasilkan, penurunan terbesar pada fondasi *flexible type* terjadi pada tanah *soft clay* dengan keberadaan muka air tanah dan tanpa redaman. Pada kondisi ini, penurunan maksimum mencapai 10,170 mm saat mesin beroperasi dan 10,270 mm saat mesin dimatikan. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiadaan redaman menyebabkan energi getaran mesin lebih banyak tersalurkan ke tanah, memperbesar penurunan. Selain itu, keberadaan muka air tanah pada tanah *soft clay* yang diasumsikan *undrained* (tidak mampu mengeluarkan tekanan air pori) menyebabkan penurunan kekakuan tanah akibat peningkatan tekanan pori, sehingga daya dukung geser menurun dan penurunan meningkat secara drastis. Temuan ini konsisten dengan prinsip mekanika tanah dinamis yang menyatakan bahwa tanah jenuh dengan permeabilitas rendah cenderung menunjukkan respons yang lebih plastis dan penurunan yang lebih besar di bawah beban siklik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh beban dinamis mesin terhadap penurunan fondasi dangkal melalui simulasi numerik PLAXIS 2D, dengan penekanan pada fondasi tipe fleksibel di atas tanah lempung lunak. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis tanah dan tipe fondasi berperan besar dalam menentukan besarnya penurunan vertikal. Fondasi fleksibel pada tanah lempung lunak dengan kondisi tanpa redaman dan adanya muka air tanah mengalami penurunan paling tinggi, yaitu 10,170 mm saat mesin beroperasi dan 10,270 mm saat mesin berhenti.

Temuan ini memberikan jawaban terhadap rumusan masalah mengenai pengaruh getaran mesin terhadap penurunan serta variasi kondisi muka air tanah, redaman, dan tipe fondasi. Dari sisi praktis, penelitian ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan kondisi tanah serta pemilihan tipe fondasi yang sesuai dalam desain fondasi mesin untuk mengurangi penurunan. Secara teoritis, hasilnya menunjukkan bahwa pada tanah lempung lunak, kondisi *undrained* dengan tekanan air pori tinggi menurunkan kekakuan tanah sehingga menimbulkan perilaku plastis dengan penurunan yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih yang tulus juga disampaikan kepada kedua orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan, kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama proses penulisan, serta kepada teman-teman yang telah memberikan semangat dan bantuan hingga jurnal ini rampung.

DAFTAR RUJUKAN

- Al-Dawoodi, A. B., Rahil, F. H., & Waheed, M. Q. (2021, September). Numerical simulation of shallow foundation behavior rested on sandy soil. In IOP conference series: Earth and environmental science (Vol. 856, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
- Bui, T. A., Casarella, A., Di Donna, A., Brinkgreve, R., & Brasile, S. (2020). Numerical modelling of different applications in Energy Foundation Technology. In E3S Web of Conferences (Vol. 205, p. 06004). EDP Sciences.
- Damanik, D. R. S., Sianturi, N. M., Saragih, D. S., & Purba, V. E. (2021). Analisis Penurunan dan Lendutan Sistem Pondasi Tiang Sebagai Perkuatan pada Tanah Gambut. *Teknik*, 42(1), 273–281. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i3.36836>
- Pestana, J. M. (2022). *Exercise_Generator_foundation_PLAXIS_2D2019.pdf*.
- Simatupang, M., Sulha, & Arif, I. (2019). Desain Optimal Pondasi Mesin Blok Tertanam Akibat Beban Dinamis. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(Halu Oleo University), 28–39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3035656>