

Analisis Kedalaman *Fixity Point* dan Kapasitas Lateral Berdasarkan Variasi Panjang dan Diameter Tiang

DIANI MUHARANI YUSUF¹, YUKI ACHMAD YAKIN²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)

2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)

Email: diani.muharani@itenas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis perilaku tiang pancang terhadap beban lateral dengan fokus pada dua parameter utama, yaitu kedalaman fixity point dan kapasitas lateral. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ENSOFT LPile dengan variasi panjang serta diameter tiang Ø400 mm, Ø600 mm, dan Ø800 mm. Nilai fixity point awal ditentukan dari tiang sepanjang 40 m, kemudian digunakan sebagai acuan dalam penentuan variasi panjang. Hasil analisis menunjukkan bahwa diameter tiang berpengaruh dominan terhadap kedalaman fixity point maupun kapasitas lateral, di mana semakin besar diameter menghasilkan fixity point yang lebih dalam dan kapasitas lateral yang lebih tinggi. Sebaliknya, variasi panjang tiang memberikan pengaruh yang terbatas setelah melewati kedalaman fixity point awal. Hasil ini menegaskan bahwa pemilihan diameter tiang merupakan faktor utama dalam perencanaan fondasi pancang yang efektif dan aman dalam menahan beban lateral, sekaligus memberikan masukan praktis bagi perencana struktur dalam menentukan dimensi tiang yang sesuai.

Kata kunci: *Tiang Pancang, Fixity point, Kapasitas Lateral, LPile.*

1. PENDAHULUAN

Fondasi tiang pancang merupakan salah satu elemen penting dalam mendukung bangunan maupun infrastruktur, terutama pada kondisi tanah yang lemah atau memerlukan daya dukung yang lebih dalam. Selain berfungsi menyalurkan beban vertikal, tiang pancang juga dituntut untuk mampu menahan beban lateral yang berasal dari gempa, angin, maupun tekanan tanah. Kinerja tiang dalam menahan beban lateral sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter, salah satunya adalah kedalaman *fixity point* dan kapasitas lateral. *Fixity point* berperan penting dalam menentukan kedalaman efektif tiang yang bekerja sebagai penahan gaya lateral, sedangkan kapasitas lateral menggambarkan kemampuan maksimum tiang dalam menahan beban horizontal sebelum mencapai kondisi batas. Beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa diameter tiang memiliki pengaruh besar terhadap kekakuan lateral, sementara panjang tiang lebih berperan dalam mendistribusikan gaya ke dalam tanah. Meskipun demikian, studi khusus yang membandingkan pengaruh variasi panjang dan diameter terhadap kedua parameter tersebut masih relatif terbatas, khususnya dengan pendekatan berbasis perangkat lunak analisis interaksi tanah-struktur. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi panjang dan diameter tiang terhadap kedalaman *fixity point* serta kapasitas lateral menggunakan perangkat lunak ENSOFT LPile, sehingga diharapkan dapat memberikan

kontribusi dalam perencanaan fondasi tiang pancang yang lebih efektif, efisien, dan aman terhadap beban lateral.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan numerik melalui perangkat lunak ENSOFT LPile untuk menganalisis perilaku tiang pancang akibat beban lateral pada kondisi tanah *residual* tropis. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur yang berkaitan dengan karakteristik tanah *residual*, konsep *fixity point*, serta kapasitas lateral yang banyak digunakan dalam analisis interaksi tanah–struktur. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data tanah dari hasil uji lapangan berupa *Standard Penetration Test (SPT)*, meliputi parameter kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, dan rasio Poisson. Data tersebut kemudian diolah dan digunakan sebagai parameter masukan dalam perangkat lunak. Pemodelan dilakukan pada tiang pancang dengan kondisi kepala bebas (*free-head pile*). Variasi diameter yang digunakan adalah Ø400 mm, Ø600 mm, dan Ø800 mm. *Fixity point* awal diperoleh dari pemodelan tiang dengan panjang 40 m, kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan variasi panjang tiang sebesar 0,5L, L, 1,25L, 1,5L, 1,75L, 2L, 3L, hingga 4L, dengan L merupakan kedalaman *fixity point* awal. Analisis difokuskan pada pembebanan lateral statis dengan keluaran berupa kedalaman *fixity point*, dan kapasitas lateral ultimit.

3. ISI

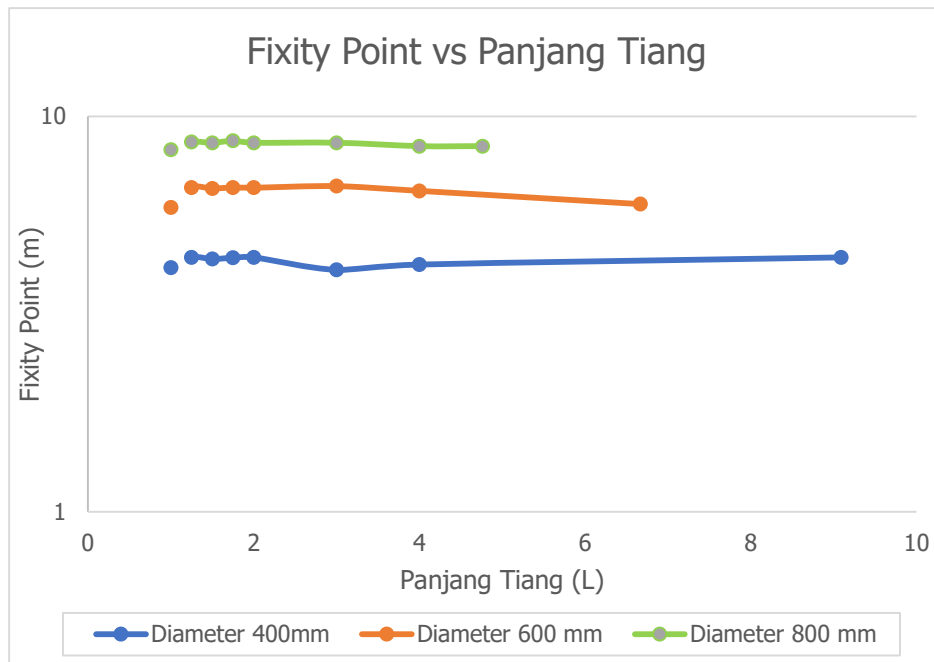
Analisis perilaku tiang pancang akibat beban lateral dengan kondisi kepala bebas (*free-head pile*) pada tanah *residual* tropis dilakukan dengan mempertimbangkan variasi diameter Ø400 mm, Ø600 mm, dan Ø800 mm, serta panjang tiang relatif terhadap *fixity point* awal yang diperoleh dari tiang sepanjang 40 m. Hasil perhitungan numerik menggunakan perangkat lunak ENSOFT LPile dirangkum dalam **Tabel 1**, yang menyajikan nilai *fixity point* dan kapasitas lateral ultimit untuk setiap kombinasi variasi diameter dan panjang tiang. Dari tabel tersebut terlihat bahwa diameter tiang memberikan pengaruh yang jauh lebih signifikan dibandingkan panjang tiang, baik terhadap kedalaman *fixity point* maupun terhadap kapasitas lateral maksimum.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil *Fixity point* dan Kapasitas Lateral

Diameter	Panjang Tiang		<i>Fixity point</i>	Lateral Capacity
(mm)	(m)		(m)	(kN)
400	40	40.00	4.400	126.53
	4L	17.60	4.220	126.61
	3L	13.20	4.090	127.63
	2L	8.80	4.400	128.58
	1.75L	7.70	4.390	129.36
	1,5L	6.60	4.360	128.62
	1,25L	5.50	4.400	128.13
	L	4.40	4.140	127.56
	1/2L	2.20	tidak didapat	116.46
600	40	40.00	6.000	234.03
	4L	24.00	6.480	237.35
	3L	18.00	6.660	235.16
	2L	12.00	6.600	234.63
	1.75L	10.50	6.610	234.83
	1,5L	9.00	6.570	236.01
	1,25L	7.50	6.600	236.12
	L	6.00	5.880	235.48
	1/2L	3.00	tidak didapat	223.9
800	40	40.00	8.400	361.95
	4L	33.60	8.400	362.53
	3L	25.20	8.57	363.22
	2L	16.80	8.570	364.67
	1.75L	14.70	8.670	363.91
	1,5L	12.60	8.570	364.99
	1,25L	10.50	8.610	363.21
	L	8.40	8.230	363.41
	1/2L	4.20	tidak didapat	361.85

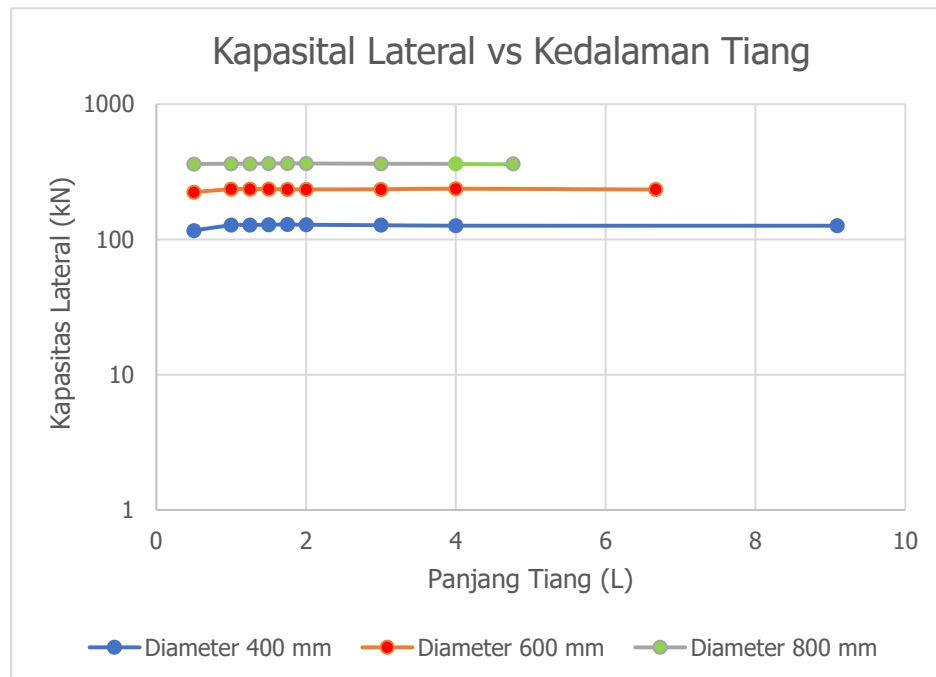
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kedalaman *fixity point* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya diameter tiang. Pada tiang berdiameter Ø400 mm, nilai *fixity point* rata-rata berada di kisaran 6 hingga 6,5 m. Peningkatan panjang tiang dari 0,5L hingga 4L hanya memberikan sedikit variasi, bahkan cenderung konstan setelah panjang tiang melampaui sekitar 2L. Hal ini menandakan bahwa panjang tiang di atas kedalaman *fixity point* awal tidak lagi berfungsi menambah kekakuan lateral, melainkan hanya memperdalam distribusi beban ke dalam tanah. Pada tiang dengan diameter Ø600 mm, *fixity point* meningkat menjadi sekitar 8

hingga 8,5 m, dengan pola yang sama di mana variasi panjang memberikan pengaruh yang semakin berkurang setelah titik tertentu. Sementara itu, pada tiang berdiameter Ø800 mm, nilai *fixity point* stabil di sekitar 9 m, dan pengaruh penambahan panjang di atas nilai awal praktis tidak menambah kedalaman *fixity point*. Tren ini divisualisasikan pada **Gambar 1**, di mana terlihat jelas perbedaan kedalaman *fixity point* pada tiap diameter tiang, serta kecenderungan grafik yang mendatar setelah panjang tiang melampaui dua kali kedalaman *fixity point* awal.



Gambar 1. *Fixity point* vs Panjang Tiang

Dari sisi kapasitas lateral, hasil analisis juga menunjukkan bahwa diameter tiang merupakan faktor dominan yang menentukan kemampuan tiang menahan gaya horizontal. Pada diameter Ø400 mm, kapasitas lateral hanya berkisar antara 116 hingga 130 kN. Kapasitas ini meningkat signifikan pada diameter Ø600 mm yang mampu menahan beban lateral sekitar 223 hingga 238 kN. Peningkatan paling besar terjadi pada diameter Ø800 mm dengan kapasitas lateral mencapai 361 hingga 365 kN. Perbandingan ini memperlihatkan bahwa peningkatan diameter tiang secara langsung meningkatkan momen inersia penampang dan kekakuan lentur tiang, sehingga kapasitas lateral meningkat tajam. Variasi panjang tiang, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**, memang memberikan sedikit peningkatan kapasitas pada tahap awal (hingga sekitar 2L), tetapi setelah melewati batas tersebut grafik kapasitas lateral cenderung mendatar. Artinya, penambahan panjang tiang setelah melewati kedalaman *fixity point* tidak memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan kapasitas lateral, melainkan hanya memperdalam titik distribusi gaya ke dalam tanah.



Gambar 2. Kapasitas Lateral vs Panjang Tiang

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa diameter tiang merupakan parameter yang paling menentukan kinerja lateral tiang pancang. Peningkatan diameter bukan hanya menambah kedalaman *fixity point*, tetapi juga memperbesar kapasitas lateral secara signifikan. Sebaliknya, penambahan panjang tiang setelah melewati kedalaman *fixity point* awal memberikan pengaruh yang relatif kecil. Hal ini sejalan dengan teori dasar bahwa kekakuan lateral tiang sangat dipengaruhi oleh momen inersia penampang yang berbanding lurus dengan kuadrat diameter, sedangkan panjang tiang lebih berfungsi dalam mendistribusikan gaya ke kedalaman tanah. Dengan demikian, dalam perencanaan fondasi tiang pancang pada tanah *residual* tropis, pemilihan diameter tiang yang tepat menjadi faktor krusial dalam menjamin stabilitas lateral. Hasil ini juga memberikan implikasi praktis bahwa strategi desain yang terlalu menekankan pada penambahan panjang tiang untuk menambah kapasitas lateral mungkin tidak efisien, karena pengaruh yang dihasilkan jauh lebih kecil dibandingkan peningkatan diameter. Oleh karena itu, penentuan kombinasi dimensi tiang harus mempertimbangkan secara cermat kebutuhan kapasitas lateral, kondisi tanah setempat, serta efisiensi penggunaan material agar diperoleh desain fondasi yang aman sekaligus ekonomis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan perangkat lunak ENSOFT LPile terhadap tiang pancang kepala bebas (*free-head pile*) pada tanah *residual* tropis dengan variasi diameter dan panjang, dapat disimpulkan bahwa diameter tiang merupakan faktor dominan yang menentukan kinerja lateral, sedangkan panjang tiang berpengaruh relatif kecil setelah melewati kedalaman *fixity point* awal. Peningkatan diameter dari Ø400 mm ke Ø600 mm, dan selanjutnya Ø800 mm, terbukti meningkatkan kedalaman *fixity point* sekaligus memperbesar kapasitas lateral secara signifikan, dengan kenaikan kapasitas hingga beberapa kali lipat. Sebaliknya, penambahan

panjang tiang hanya memberikan sedikit peningkatan kapasitas lateral dan *fixity point*, terutama hingga sekitar 2L, dan setelah itu grafik cenderung mendatar. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk perencanaan fondasi tiang pancang pada kondisi tanah *residual* tropis, strategi desain yang menekankan pada pemilihan diameter tiang yang sesuai akan lebih efektif dalam meningkatkan stabilitas lateral dibandingkan memperpanjang tiang semata. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi masukan praktis bagi perencana struktur dalam menentukan dimensi tiang yang efisien, aman, dan sesuai dengan kondisi geoteknik setempat.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdelaziz, A. Y., El Nagggar, M. H., & Ouda, M. (2021). *Determination of depth-of-fixity point for laterally loaded vertical offshore piles: A new approach*. *Ocean Engineering*, 232, 109113.
- Coduto, D. P., Kitch, W. A., & Yeung, M. R. (2016). *Foundation Design: Principles and Practices (3rd ed.)*. Pearson Education.
- Das, Braja M. (1998). *Principles of Geotechnical Engineering (4th ed.)*. Canada: Thomson Canada Limited.
- Ensoft, Inc. (2015). *LPILE – User’s Manual: A Program to Analyze Deep Foundations Under Lateral Loading*. Austin, Texas: Ensoft, Inc.
- Hamilton, J. M. (1995). *Ultimate lateral capacity of piles in clay*. In *Proceedings of the Offshore Technology Conference* (Paper OTC-7667-MS). Chinâ
- Maya, D., Sari, E., Effendi, R., & Rusliansyah, D. (2015). THE *FIXITY POINT* OF A LONG ELASTIC PILE ON COHESIONLESS SOIL FOR THE CALCULATION OF LATERAL BEARING CAPACITY. In *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal) Available on* (Vol. 4, Issue 2). <http://jtb.ulm.ac.id>
- Mullins, G., Sen, R., Goulis, A., & Winters, D. (n.d.). *Lateral capacity and repair of corrosion-damaged pile bents, part 1: Design and testing considerations*. In *PCI Journal*.
- Subhasinghe, R. M. K. R., & De Silva, L. I. N. (2024). *Applicability of analytical methods to estimate the point of fixity of laterally loaded piles on multilayered soils*. In *Proceedings of the Annual Conference 2024 of the Institution of Engineers, Sri Lanka* (pp. 15–22). Colombo, Sri Lanka