

STUDI EVALUASI NILAI DAYA DUKUNG *FLOATING PILE* BERDASARKAN KOMPARASI DESAIN RENCANA, *KALENDERING* DAN HASIL UJI PDA TEST PADA PROYEK JEMBATAN DI KABUPATEN SIDOARJO

Azzuma Prameswari¹⁾, Annisa Zalsabilla Jahja²⁾, Fithri Estikhamah³⁾

^{1,2)} Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

³⁾ Dosen Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

E-mail: 21035010020@student.upnjatim.ac.id¹⁾, 21035010044@student.upnjatim.ac.id²⁾,
fithri.ts@upnjatim.ac.id³⁾

ABSTRACT

The foundation is a very important structural element in a building because it serves as an intermediary to transfer loads from the upper structure to the ground. The bearing capacity of the soil is the main factor that determines the foundation's ability to support loads, both from the weight of the building itself and additional loads acting on it. The evaluation of the bearing capacity of floating piles is an important aspect in the design of bridge foundations, especially in areas with complex soil conditions. This study compares three methods of evaluating bearing capacity, namely the Luciano Decourt planning method (1982, 1996), the PDA Test, and Calendarization, to obtain a more holistic picture of pile performance. The research results show that the field test bearing capacity (PDA Test and Calendarization) is significantly higher than the planned capacity. Calendarization provides more stable and consistent values compared to the PDA Test, while the PDA Test shows higher sensitivity to variations in local soil conditions. These results indicate that the combination of the three methods can improve the accuracy in assessing the bearing capacity of the piles.

Keywords: *Bearing capacity, floating pile, Kalendering, PDA Test*

ABSTRAK

Fondasi merupakan elemen struktural yang sangat penting dalam sebuah bangunan karena berfungsi sebagai perantara untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah. Daya dukung tanah menjadi faktor utama yang menentukan kemampuan fondasi dalam menopang beban, baik dari berat bangunan itu sendiri maupun beban tambahan yang bekerja di atasnya. Evaluasi kapasitas daya dukung tiang pancang (*floating pile*) merupakan aspek penting dalam perancangan fondasi jembatan, terutama di daerah dengan kondisi tanah yang kompleks. Penelitian ini membandingkan tiga metode evaluasi kapasitas daya dukung, yaitu metode perencanaan Luciano Decourt (1982, 1996), *PDA Test*, dan *Kalendering*, untuk mendapatkan gambaran yang lebih holistik terhadap performa tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung hasil lapangan (*PDA Test* dan *Kalendering*) secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kapasitas rencana. *Kalendering* memberikan nilai yang lebih stabil dan konsisten dibandingkan *PDA Test*, sementara *PDA Test* menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap variasi kondisi tanah lokal. Hasil ini mengindikasikan bahwa kombinasi ketiga metode dapat meningkatkan akurasi dalam penilaian kapasitas daya dukung tiang.

Kata Kunci: *Kapasitas daya dukung, floating pile, Kalendering, PDA Test*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fondasi merupakan elemen kritis dalam konstruksi jembatan, berfungsi untuk mendistribusikan beban dari superstruktur ke tanah di bawahnya. Dalam konteks proyek jembatan, pemilihan jenis fondasi yang tepat sangat penting untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur. *Floating pile* atau tiang apung, adalah salah satu solusi yang umum digunakan pada kondisi tanah yang kurang stabil, seperti tanah lunak atau berair. Penggunaan *floating pile* memungkinkan struktur jembatan untuk bertahan terhadap beban vertikal dan lateral yang signifikan.

Evaluasi daya dukung *floating pile* menjadi krusial dalam desain dan konstruksi jembatan. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mengevaluasi daya dukung adalah *Standard Penetration Test* (SPT), yang memberikan informasi mengenai karakteristik tanah berdasarkan nilai N yang diperoleh dari pengujian. Selain itu, metode *Kalendering* juga digunakan untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang pancang secara dinamis selama proses pemancangan. Metode ini mengukur respons tiang terhadap pukulan palu dan memberikan data empiris tentang kemampuan tiang dalam menahan beban.

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *Pile Driving Analyzer* (PDA) telah meningkat sebagai alat untuk menganalisis daya dukung tiang pancang secara *real-time*. PDA memberikan informasi yang lebih akurat mengenai kapasitas dukung tiang dengan menganalisis gelombang yang dihasilkan selama pemancangan. Hasil dari pengujian PDA dapat dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari desain rencana dan pengujian *Kalendering* untuk memberikan gambaran komprehensif tentang kemampuan dukung tiang.

Proyek jembatan di Kabupaten Sidoarjo menjadi studi kasus yang relevan untuk mengevaluasi nilai daya dukung *floating pile* melalui perbandingan antara desain rencana, hasil pengujian

Kalendering, dan hasil PDA *Test*. Dengan memahami perbedaan antara metode-metode ini, pelaksana dapat melakukan penyesuaian yang diperlukan dalam desain fondasi untuk memastikan bahwa struktur jembatan dapat berfungsi dengan aman dan efektif dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi menyeluruh terhadap daya dukung *floating pile* pada proyek jembatan di Kabupaten Sidoarjo dengan menggabungkan data dari berbagai metode pengujian. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik serta meningkatkan praktik rekayasa dalam konstruksi infrastruktur di Indonesia.

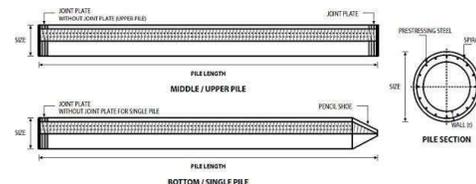
II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan jembatan “X” di Kabupaten Sidoarjo. Tiang pancang jenis *spun pile* dengan spesifikasi:

Ø *Spun pile* : Ø 500 mm

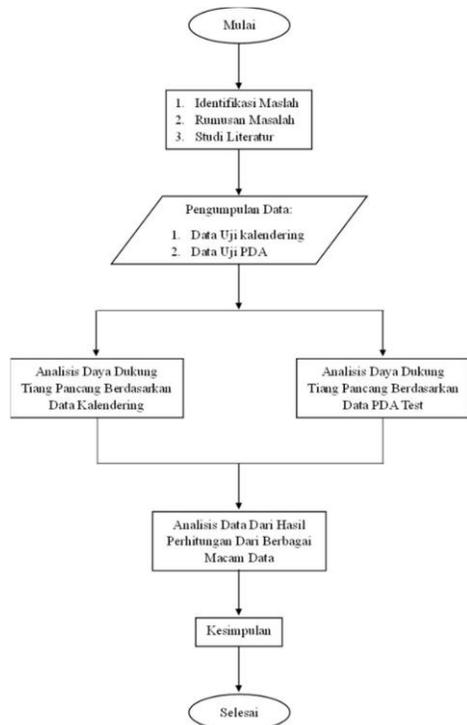
L *Spun pile* : 2 x 15m

Mutu beton : 52 Mpa



Gambar 1. 1 Detail *Spun Pile* D500

Penelitian ini berfokus pada komparasi daya dukung *floating pile* desain rencana terhadap data *Kalendering* dan hasil pengujian *Pile Dynamic Analyzer* (PDA) *test*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yaitu dengan menggunakan data hasil uji lapangan dan perhitungan teoritis. Untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah terhadap tiang pancang.



Gambar 1. 2 Diagram Alir Metode Penelitian

Metode penelitian diawali dari tahap studi literatur, identifikasi dan perumusan masalah, serta pengumpulan data hasil *Kalendering* dan *Pile Dynamic Analyzer* (PDA).

Tahap kedua mencakup perhitungan daya dukung izin dari data *Kalendering* menggunakan metode metode Hiley.

Tahap ketiga adalah analisis perbandingan nilai daya dukung yang diperoleh dari daya dukung rencana, hasil *Pile Dynamic Analyzer* (PDA) dan hasil perhitungan dari data *Kalendering* menggunakan metode Hiley untuk melihat perbedaan dan kesesuaian antara keduanya. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi akurasi dan keandalan masing-masing metode dalam memperkirakan kapasitas daya dukung tiang pancang, serta menentukan metode yang lebih tepat digunakan berdasarkan kondisi lapangan dan hasil uji *Kalendering* serta PDA test.

III. TINJAUAN PUSTAKA

A. Fondasi *Floating Pile*

Fondasi *floating pile*, atau fondasi melayang, adalah jenis fondasi yang

digunakan pada tanah yang lunak dan kurang stabil. *Floating pile* merupakan jenis fondasi dalam yang didesain tidak mencapai lapisan tanah keras, tetapi cukup menahan beban melalui interaksi friksi antara permukaan tiang dan tanah sekitarnya. Fungsinya adalah untuk mendistribusikan beban dari struktur bangunan atau jembatan ke tanah di bawahnya secara merata, meskipun tanah tersebut tidak memiliki daya dukung yang kuat [1]

B. *Standart Penetration Test* (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) adalah salah satu metode pengujian tanah yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi karakteristik tanah bawah permukaan dalam proyek rekayasa geoteknik. Uji SPT bertujuan untuk menentukan kepadatan relatif tanah pasir atau konsistensi tanah lempung melalui pengukuran jumlah pukulan (N-value) yang diperlukan untuk menembus tanah dengan kedalaman tertentu menggunakan tabung *split spoon*. Nilai N hasil SPT sangat berperan penting dalam analisis daya dukung tanah, desain fondasi dan evaluasi stabilitas tanah, termasuk aplikasi pada perencanaan *floating pile* [2].

Dalam konteks perencanaan dan evaluasi daya dukung *floating pile*, data SPT digunakan untuk memperkirakan parameter kekuatan geser tanah, seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Parameter ini membantu menentukan kapasitas gesekan permukaan tiang dan kapasitas ujung tiang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa korelasi antara nilai N SPT dengan parameter tanah sangat penting untuk mendapatkan estimasi awal yang akurat terhadap daya dukung fondasi [3].

C. *Kalendering*

Kalendering adalah metode pemantauan proses pemancangan tiang pancang yang bertujuan untuk mengukur kedalaman penetrasi tiang per jumlah pukulan palu (*blow count*) selama

pemancangan. Metode ini memberikan data lapangan yang berguna untuk mengevaluasi daya dukung tiang, memastikan tiang mencapai kedalaman yang direncanakan, serta mengidentifikasi potensi masalah seperti penurunan kapasitas atau kerusakan tiang. *Kalendering* sering digunakan sebagai langkah awal untuk memverifikasi kesesuaian kondisi lapangan dengan asumsi desain awal [2].

Prosedur *Kalendering* melibatkan pencatatan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkan tiang pancang hingga kedalaman tertentu. Data ini dibandingkan dengan data tanah (misalnya hasil SPT atau CPT) untuk memvalidasi kapasitas tiang yang diharapkan. *Kalendering* juga memungkinkan identifikasi lapisan tanah keras, tanah lunak, atau anomali lain yang dapat memengaruhi proses pemancangan [3].

Data *Kalendering* dapat digunakan untuk menentukan apakah tiang telah mencapai lapisan tanah dengan daya dukung yang cukup atau apakah perlu dilakukan penyesuaian kedalaman pemancangan. Selain itu, *Kalendering* memberikan indikasi awal mengenai kapasitas tiang sebelum dilakukan pengujian lanjutan, seperti PDA test, yang memberikan validasi daya dukung akhir tiang.

D. *Pile Driving Analyzer (PDA)*

Pile Driving Analyzer (PDA) merupakan salah satu metode pengujian dinamis yang digunakan untuk mengevaluasi daya dukung tiang pancang selama proses pemancangan. Alat ini bekerja dengan merekam gelombang tegangan dan regangan yang dihasilkan oleh pukulan palu pada tiang menggunakan sensor *akselerometer* dan *strain gauge*. Data yang diperoleh memungkinkan evaluasi langsung terhadap kapasitas daya dukung tiang, efisiensi transfer energi, dan deteksi potensi kerusakan tiang selama pemancangan [4].

PDA test sering digunakan dalam proyek konstruksi besar, termasuk pembangunan jembatan, untuk memastikan bahwa desain fondasi tiang memenuhi kriteria keselamatan dan stabilitas. Prosedur ini melibatkan langkah pengukuran langsung di lapangan dan analisis data menggunakan perangkat lunak tambahan seperti CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*). CAPWAP memproses data PDA untuk menghitung parameter seperti:

1. Distribusi tahanan gesek (*skin friction*) pada permukaan tiang,
2. Tahanan ujung (*end bearing*) di dasar tiang, serta
3. Kapasitas dukung total tiang (*ultimate pile capacity*).

Dalam penerapannya, PDA menyediakan manfaat utama berupa data *real-time* yang mendukung pengambilan keputusan cepat di lapangan. Selain itu, dengan analisis CAPWAP, kapasitas tiang dapat diperbaiki (*improved capacity prediction*) berdasarkan kondisi tanah aktual dan respons dinamis tiang.

IV. DATA DAN HASIL

A. Data Hasil Uji SPT

Standard Penetration Test (SPT) memberikan informasi penting terkait konsistensi dan kepadatan relatif tanah. Berdasarkan hasil pengujian di lapangan yang mengacu pada klasifikasi Terzaghi dan Peck (1968), nilai N-SPT yang didapatkan mengindikasikan kondisi tanah di berbagai kedalaman. Nilai N-SPT ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan tanah, mulai dari tanah yang sangat lunak hingga batuan keras, dengan memperhatikan peningkatan nilai N seiring bertambahnya kedalaman pengeboran [5].

Keterangan	Depth (m)	Visual Description	N-SPT	Consistency (Clay) (Terzaghi dan Peck, 1968)
SPT 1	-2		1	Sangat lunak/ Very soft
SPT 2	-4	Lanau kelepungan sedikit berpasir	3	Lunak/ Soft
SPT 3	-6		5	Teguh/ Firm
SPT 4	-8	Lanau kelepungan	4	Lunak/ Soft
SPT 5	-10	Lanau kelepungan berorganik	2	Lunak/ Soft
SPT 6	-12		3	Lunak/ Soft
SPT 7	-14	Pasir kelanauan sedikit kulit kerang	7	Teguh/ Firm
SPT 8	-16		4	Lunak/ Soft
SPT 9	-18		5	Teguh/ Firm
SPT 10	-20	Lanau kelepungan	2	Lunak/ Soft
SPT 12	-24	sedikit berpasir + organik	2	Lunak/ Soft
SPT 13	-26		3	Lunak/ Soft
SPT 14	-28	Lanau kelepungan organik	2	Lunak/ Soft
SPT 15	-30		3	Lunak/ Soft
SPT 16	-32		4	Lunak/ Soft
SPT 17	-34		24	Sangat kaku/ Very stiff
SPT 18	-36	Lanau kelepungan	26	Sangat kaku/ Very stiff
SPT 19	-38	Lanau kelepungan berpasir	31	Sangat kaku/ Very stiff
SPT 20	-40	Pasir kelanauan	36	Keras/ Hard
SPT 21	-42		6	Teguh/ Firm
SPT 22	-44	Lanau kelepungan	5	Teguh/ Firm
SPT 23	-46	sedikit kulit kerang	8	Teguh/ Firm
SPT 24	-48	Lanau kelepungan	3	Lunak/ Soft
SPT 25	-50	sedikit kulit kerang	5	Teguh/ Firm

Gambar 1. 3 Tabel Data Hasil Bor Berdasarkan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) di lokasi penelitian, ditemukan variasi kondisi tanah dengan kedalaman. Secara keseluruhan, hasil uji ini memberikan panduan yang jelas untuk memastikan keamanan dan stabilitas konstruksi di atas tanah dengan karakteristik bervariasi di lokasi penelitian.

B. Perhitungan Daya Dukung Fondasi Floating Pile Berdasarkan N-SPT

Daya dukung fondasi merupakan kemampuan fondasi dalam menopang tekanan atau beban maksimum yang diijinkan bekerja berdasarkan kondisi tanah di mana fondasi tersebut ditempatkan sehingga menjadi stabil. Parameter dan sifat fisik tanah diperoleh melalui penyelidikan geoteknik tanah, misalnya: sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT), pemboran inti atau *Standart Penetration Test* (SPT), dan pengujian di laboratorium. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung nilai daya dukung sudah banyak dikemukakan para *engineer*. Dalam peneitian ini digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Luciano Decourt (1982, 1996) berdasarkan hasil SPT. Berikut merupakan persamaan tersebut,

$$Q_L = Q_P + Q_s$$

$$= [a \times N_p \times K \times A_p] + [\beta \times (\frac{N_s}{3} + 1) \times A_s]$$

Dimana:

Q_P = Daya dukung dari unsur *point bearing*

Q_S = Daya dukung dari unsur *skin friction*

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4B

diatas dan dibawah dasar fondasi (B = diameter tiang fondasi)

N_s = Harga rata-rata SPT di sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan:
 $2 \leq N \leq 50$

A_P = Luas penampang dasar tiang (m^2)

A_S = Luas selimut tiang (m^2)
 $= \pi \cdot B \cdot D$

α = *Base coefficient*

- 1,00 untuk *driven pile* (tiang pancang)
- 0,85 untuk *bored pile* (pada tanah jenis *clay*)
- 0,60 untuk *bored pile* (pada *intermediate soil*)
- 0,50 untuk *bored pile* (pada tanah jenis *sands*)

β = *Shaft coefficient*

- 1,00 untuk *driven pile* (tiang pancang)
- 0,80 untuk *bored pile* (pada tanah jenis *clay*)
- 0,65 untuk *bored pile* (pada *intermediate soil*)
- 0,50 untuk *bored pile* (pada tanah jenis *sands*)

K = Koefisien karakteristik tanah

- 12 t/m^2 untuk lempung
- 20 t/m^2 untuk lanau berlempung
- 25 t/m^2 untuk lanau berpasir
- 40 t/m^2 untuk pasir

Depth (m)	N_p	K	A_p	α	$Q_{p_{max}}$	N_s	A_s	β	$Q_{s_{max}}$	$Q_{L_{max}}$	P_{max}
-2	2	20	0.196	0.85	6.7	3	3.14	0.80	5.0	11.7	3.9
-4	3	20	0.196	0.85	10	3	6.28	0.80	10.0	20.0	6.7
-6	4	20	0.196	0.85	13.4	3.7	9.42	0.80	16.8	30.2	10.1
-8	3.7	20	0.196	0.85	12.2	3.8	12.46	0.80	22.8	35.0	11.7
-10	3	20	0.196	0.85	10	3.6	15.7	0.80	27.6	37.6	12.5
-12	4	20	0.196	0.85	13.4	3.9	18.84	0.80	32.7	46.1	15.4
-14	4.7	20	0.196	0.85	15.6	4	21.98	0.80	41.0	56.6	18.9
-16	3.3	20	0.196	0.85	17.8	4	25.12	0.80	46.9	64.7	21.6
-18	3.7	20	0.196	0.85	12.2	4.1	28.26	0.80	53.5	65.7	21.9
-20	2.7	20	0.196	0.85	8.9	4	31.4	0.80	58.6	67.5	22.5
-24	2	20	0.196	0.85	6.7	3.8	37.68	0.80	68.3	75.0	25.0
-26	2.3	20	0.196	0.85	7.8	3.8	40.82	0.80	74.0	81.8	27.3
-28	2.7	20	0.196	0.85	8.9	3.7	43.96	0.80	78.3	87.4	29.1
-30	3	20	0.196	0.85	10	3.7	47.1	0.80	84.2	94.2	31.4

Gambar 1. 4 Tabel Rekapitulasi Kapasitas Daya Dukung Metode Luciano Decourt pada Data SPT

Pengelolaan data untuk memperoleh kapasitas daya dukung, yang dilakukan tinjauan tiap 2 meter seluruh kedalaman uji penyidikan tanah terkait. Pada hasil rekapitulasi, terdapat nilai daya dukung yang diberi laber berwarna, Dimana hasil tersebut merupakan kedalaman tinjauan yang akan digunakan untuk

membandingkan hasil tersebut dengan hasil *Kalendering* dan hasil uji PDA.

C. Perhitungan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Data *Kalendering*

Perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang pancang berdasarkan data *Kalendering* adalah metode yang dilakukan untuk memperkirakan daya dukung tiang selama proses pemancangan. Teknik ini menghubungkan energi yang digunakan selama pemancangan dengan penetrasi tiang untuk memperkirakan kapasitas dukung tiang pancang. Dalam metode *Kalendering*, daya dukung tiang dihitung dengan menggunakan rumus energi yang menghubungkan antara energi pemancangan dan penetrasi tiang. Dalam penelitian ini digunakan rumus Hiley [6].

$$P_U = \frac{e_f \times W \times H}{S + C_1 + C_2 + \frac{W}{2}} \times \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p}$$

$$= \frac{P_U}{N}$$

Dimana:

P_U = Kapasitas daya dukung batas (kN)

P_a = Kapasitas daya dukung yang diizinkan (kN)

e_f = Efisiensi palu

W = Berat palu atau ram (kN)

W_p = Berat tiang pancang (kN)

n = Koefisien restitusi

H = Tinggi jatuh palu (m)

S = Penetrasi tiang pancang pada saat penumbukan terakhir (m)

C_1 = Tekanan sementara yang diizinkan untuk kepala tiang dan balok kepala tiang (m)

C_2 = Tekanan sementara yang diizinkan

untuk deformasi elastis dari batang tiang pancang (m)

C_3 = Tekanan sementara yang diizinkan

Gempa di lapangan (m)

N = Faktor keamanan

Tabel 1. 1 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Data *Kalendering*

No. Tiang	Metode Hilley	
	P_u (ton)	P_a (ton)
SP 0+138	197.65	65.88
SP 0+138.2	195.38	65.13

D. Perhitungan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Data *Pile Driving Analyzer (PDA)*

Pengujian *Pile Driving Analyzer (PDA)*

dilakukan untuk menentukan nilai daya dukung fondasi tiang pancang secara dinamis. Daya dukung yang diperoleh dihasilkan dari transfer energi yang dihasilkan oleh *hammer*. Pada penelitian kali ini, dilakukan pengujian PDA pada 2 titik dengan hasil data berikut:

No. Tiang	Panjang Pondasi Tiang (m)	Analisa CAPWAP				BTA (%)
		Daya Dukung Friksi (ton)	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Total (ton)	Penurunan (mm)	
SP 0+138	30	141	31	172	18.98	73
SP 0+138.2	30	100	32	131	10.46	100

Gambar 1. 5 Tabel Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Data PDA Test

E. Perhitungan Kapasitas Dukung Fondasi Rencana dan Kapasitas Aktual Lapangan

Dari hasil perhitungan kapasitas dukung rencana pondasi *floating pile* menggunakan metode Luciano Decourt (1982, 1996) dibandingkan dengan kapasitas dukung aktual yang diperoleh dari hasil data *Kalendering* dan PDA *test*. Rekapitulasi perhitungan daya dukung fondasi *spun pile* disajikan pada gambar 1.5.

No. Tiang	Kapasitas Daya Dukung Ultimate (ton)		
	Rencana L. Decourt	Kalendering	PDA Test
SP 0+138	94.2	197.65	172
SP 0+138.2	94.2	195.38	131

Gambar 1. 6 Tabel Rekapitulasi Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang

Dari data yang tersedia, dapat dibandingkan tiga metode evaluasi kapasitas daya dukung tiang, yaitu perencanaan berdasarkan Luciano Decourt (1982, 1996), *Kalendering* dan *PDA Test*. Perencanaan Luciano Decourt (1982, 1996) menghasilkan kapasitas daya dukung yang sama untuk kedua tiang, yaitu 94,2ton, yang bersifat konservatif karena dirancang untuk memastikan keamanan dengan asumsi kondisi terburuk. Sementara itu, hasil *Kalendering* menunjukkan kapasitas daya dukung yang lebih tinggi dan konsisten, yaitu 197,65ton dan 195,38ton untuk masing-masing tiang, yang kemungkinan disebabkan oleh efek konsolidasi tanah pasca-pemancangan. Di sisi lain, *PDA Test* memberikan hasil lebih tinggi, yaitu 172ton untuk tiang SP 0+138 dan 131ton untuk tiang SP 0+138.2, menunjukkan adanya variasi kapasitas akibat kondisi lapangan aktual, seperti *non-uniformity* tanah atau ketidaksempurnaan metode pemancangan.

Perbedaan hasil antara metode tersebut dapat dijelaskan oleh karakteristik masing-masing. *PDA Test* mengukur kapasitas dinamis yang lebih sensitif terhadap variasi lokal tanah, sementara *Kalendering* mempertimbangkan faktor waktu dan konsolidasi tanah yang cenderung meningkatkan kapasitas. Hasil *Kalendering* yang lebih stabil dan lebih tinggi dibanding *PDA Test* mengindikasikan bahwa metode ini dapat lebih mencerminkan kondisi aktual lapangan setelah proses pemancangan selesai. Sementara itu, hasil rencana Luciano Decourt (1982, 1996) lebih konservatif dibandingkan hasil lapangan, yang menunjukkan bahwa kapasitas tiang aktual jauh melampaui yang diprediksi dalam desain. Oleh karena itu, desain *floating pile* untuk jembatan dengan hasil seperti Gambar 1.5 di atas dapat

dilakukan, karena kapasitas daya dukung tiang aktual lebih tinggi dibanding kapasitas rencana, yang memberikan margin keamanan yang memadai.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Penelitian ini menekankan pentingnya mempertimbangkan berbagai metode evaluasi daya dukung tiang untuk mendapatkan hasil yang lebih menyeluruh. Hal ini sejalan dengan analisis sebelumnya, yang menunjukkan bahwa kombinasi metode perencanaan Luciano Decourt (1982, 1996), *Kalendering*, dan *PDA Test* memberikan pemahaman lebih baik mengenai kapasitas daya dukung *floating pile*. Namun, penelitian ini menyoroti bahwa setiap metode memiliki kekuatan dan kelemahan, sehingga pendekatan holistik diperlukan untuk meningkatkan akurasi dalam perencanaan fondasi jembatan.

Hasil sebelumnya menunjukkan bahwa kapasitas hasil *Kalendering* lebih tinggi dan stabil dibandingkan *PDA Test*, yang lebih bervariasi karena sensitivitasnya terhadap kondisi lapangan. Penelitian ini mendukung gagasan bahwa penggunaan kombinasi metode, termasuk *PDA Test* untuk mendeteksi anomali dan *Kalendering* sebagai acuan kapasitas akhir, akan memberikan hasil yang lebih akurat. Selain itu, penelitian ini relevan bagi tantangan geoteknik di Indonesia, yang sering kali melibatkan kondisi tanah yang kompleks.

Dengan demikian, penelitian dan analisis ini saling melengkapi, memberikan kesimpulan bahwa pendekatan multi-metode adalah strategi terbaik untuk merancang fondasi jembatan di daerah dengan tantangan geoteknik, sekaligus menawarkan kontribusi penting bagi praktik rekayasa geoteknik lokal.

B. Saran

Penelitian selanjutnya sebaiknya difokuskan pada pengembangan metode evaluasi daya dukung tiang yang lebih

akurat dengan memadukan teknologi uji lapangan terkini, seperti PDA *Test*, *Kalendering*, dan uji beban statis, dengan pendekatan analitis yang lebih komprehensif. Penelitian ini juga dapat memperluas cakupan dengan mengevaluasi efek waktu (*time-dependent capacity*) terhadap performa tiang, terutama di tanah kohesif atau kondisi tanah yang kompleks. Selain itu, studi lebih lanjut mengenai korelasi antara hasil *Kalendering*, PDA *Test*, dan desain teoretis pada berbagai jenis tanah akan membantu meningkatkan akurasi prediksi kapasitas dukung.

Penggunaan simulasi numerik, seperti analisis elemen hingga (*finite element analysis*), juga dapat diterapkan untuk memodelkan interaksi tanah-tiang secara lebih detail. Penelitian ini juga penting untuk memperhitungkan aspek lingkungan dan pengaruh perubahan kondisi tanah terhadap daya dukung jangka panjang. Dengan demikian, penelitian selanjutnya diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam merancang fondasi yang lebih efisien, aman, dan adaptif terhadap berbagai tantangan geoteknik, khususnya di wilayah Indonesia yang memiliki karakteristik tanah beragam.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Admindpu, “Jenis-Jenis Pondasi Yang Dipakai Dalam Bangunan Gedung,” Jul. 2023.
- [2] O. A. . El Sawy, *Redesigning Enterprise Processes For E-Business*. Irwin/Mcgraw-Hill, 2001.
- [3] J. 1 L Braja, A. Bahasa, And L. Noor, “Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis).”
- [4] N. Larasati, C. Arnindhita Sekar Wira Satya Utama Putri, J. H. Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang Jl Soedarto, S. Tembalang, K. Semarang, And J. Tengah, “Kajian Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-Spt, Data Rencana Dan Pda Test (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1 Paket 1),” 2024.
- [5] M. A. Ramadhan, G. Aji, I. Sophian, And T. Yan, “Analisis Daya Dukung Tanah Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Uji Spt Di Ibu Kota Negara (IKN), Kalimantan Timur, Indonesia.”
- [6] P. Kementerian *Et Al.*, “Spesifikasi Umum 2018,” 2018.