



Simulasi Daya Dukung Tiang Pancang pada Tanah Lunak Menggunakan *Software Plaxis 3D*

Faiz Fakhriy Aulia Rachman ¹, Arik Triarso ²

¹Mahasiswa D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya.

²Dosen D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya.

Email : faizfakhriy.21020@mhs.unesa.ac.id, ariktriarso@unesa.ac.id

Abstrak

Kondisi tanah lunak dengan daya dukung rendah menjadi tantangan dalam perencanaan fondasi bangunan bertingkat karena berisiko menimbulkan penurunan berlebih. Pada proyek Tower 3 CWI-01 ITS di Surabaya digunakan spun pile diameter 60 cm dan uji PDA untuk mengetahui kapasitas aktual. Penelitian ini mengevaluasi performa tiang pancang diameter 60 cm melalui simulasi *Plaxis 3D* serta membandingkannya dengan diameter 50 cm dan 40 cm dari aspek daya dukung ultimate, penurunan, dan jumlah tiang yang dibutuhkan untuk menahan beban rencana 1966,35 ton. Hasil menunjukkan diameter 60 cm memerlukan 10 tiang (2.337 ton, penurunan 33,6 mm), diameter 50 cm memerlukan 12 tiang (2.311,2 ton, penurunan 31,9 mm), dan diameter 40 cm memerlukan 15 tiang (2.290,5 ton, penurunan 28,7 mm), dengan nilai optimal presentase tertinggi 85,8% dicapai oleh diameter 40 cm. Dengan demikian, diameter 40 cm dengan 15 tiang direkomendasikan sebagai desain fondasi paling optimal karena menghasilkan daya dukung memadai, penurunan lebih kecil, dan efisiensi tinggi.

Kata kunci: Tiang pancang, tanah lunak, *Plaxis 3D*

Abstract

Soft soil conditions with low bearing capacity pose challenges in designing foundations for multi-story buildings due to the risk of excessive settlement. At the Tower 3 CWI-01 ITS project in Surabaya, 60 cm diameter spun piles were used, along with PDA testing to determine actual field capacity. This study evaluates the performance of 60 cm diameter piles through numerical simulation using *Plaxis 3D* and compares them with 50 cm and 40 cm diameters in terms of ultimate bearing capacity, settlement, and the required number of piles to support the design load of 1,966.35 tons. The results show that 60 cm piles require 10 piles (2,337 tons, 33.6 mm settlement), 50 cm piles require 12 piles (2,311.2 tons, 31.9 mm settlement), and 40 cm piles require 15 piles (2,290.5 tons, 28.7 mm settlement), with the highest optimal percentage value of 85.8% achieved by the 40 cm diameter. Thus, the 40 cm diameter pile with 15 piles is recommended as the most optimal foundation design because it provides sufficient bearing capacity, lower settlement, and higher efficiency.

Keywords: Pile foundation, soft soil, *Plaxis 3D*

Article History

Received: Juli 2025

Reviewed: Juli 2025

Published: Juli 2025

Plagiarism Checker No 235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.36](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

5

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, daya dukung tanah menjadi salah satu aspek yang sangat penting dalam memastikan stabilitas dan keamanan struktur. Daya dukung tanah didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk menopang beban tanpa mengalami keruntuhan geser atau deformasi yang berlebihan. Menurut (Hardiyatmo, 2017), "daya dukung tanah harus dihitung dengan mempertimbangkan karakteristik tanah, jenis beban struktur, dan kondisi lapangan untuk memastikan keamanan bangunan." Analisis daya dukung tanah yang kurang tepat dapat berujung pada kegagalan fondasi, terutama pada tanah dengan kekuatan rendah seperti tanah lunak. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang cermat untuk menghindari keruntuhan struktur.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengatasi rendahnya daya dukung tanah adalah melalui pemasangan tiang pancang. Tiang pancang merupakan elemen fondasi yang dirancang untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah yang lebih keras atau batuan dasar. (Hardiyatmo, 2023) menjelaskan bahwa "Tiang pancang sangat efektif pada tanah dengan daya dukung rendah karena mampu membawa beban besar hingga ke lapisan tanah yang stabil." Selain menyalurkan beban vertikal, tiang pancang juga dapat menahan gaya horizontal, sehingga ideal digunakan pada proyek-proyek di daerah dengan tanah yang bermasalah. Pada penelitian ini akan membandingkan tiang pancang dengan variasi diameter terhadap daya dukung tiang pancang dan penurunan tiang pancang.

Pemilihan tiang pancang sering kali menjadi solusi utama pada proyek yang melibatkan tanah lunak. Tanah lunak merupakan jenis tanah dengan karakteristik khusus yang menyulitkan dalam desain fondasi. Jenis tanah ini biasanya ditemukan di daerah rawa atau delta. Kekuatan tanah lunak yang rendah membuat struktur di atasnya rentan terhadap keruntuhan atau deformasi jangka panjang jika tidak direncanakan dengan baik.

Dalam praktiknya, daya dukung tiang pancang pada tanah lunak biasanya divalidasi menggunakan uji lapangan, salah satunya adalah Pile Driving Analyzer (PDA) test. Menurut (Haryadi & Prakoso, 2023) Uji PDA merupakan suatu metode pengujian secara dinamik untuk mengukur kapasitas Ultimit aksial tekan tiang, penurunan akhir, keutuhan tiang, dan energi yang berasal dari tumbukan hammer yang dilakukan pada fondasi dalam. Data dari uji PDA ini sering digunakan untuk membandingkan hasil perhitungan analitis dengan kondisi aktual di lapangan. Namun, hasil uji lapangan sering kali menunjukkan perbedaan dengan asumsi perencanaan akibat heterogenitas tanah, metode pemancangan, atau kesalahan desain.

Untuk menganalisis daya dukung tiang pancang secara lebih detail, pendekatan berbasis simulasi elemen hingga, seperti menggunakan Plaxis 3D, menjadi salah satu metode yang dapat diandalkan. (Soeratinoyo et al., 2022) Plaxis 3D merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk analisis numerik dalam rekayasa geoteknik, memungkinkan pemodelan tiga dimensi dari berbagai kondisi tanah dan struktur. Simulasi ini memungkinkan evaluasi kondisi tanah dan tiang pancang secara terintegrasi, termasuk analisis daya dukung dan respons tanah terhadap beban.

Dalam perencanaan proyek CWI-01 ITS Tower, daya dukung tiang pancang dihitung berdasarkan pendekatan analitis yang mengacu pada parameter tanah hasil investigasi geoteknik. Namun, pada tahap implementasi di lapangan, dilakukan uji PDA untuk memvalidasi daya dukung tersebut.

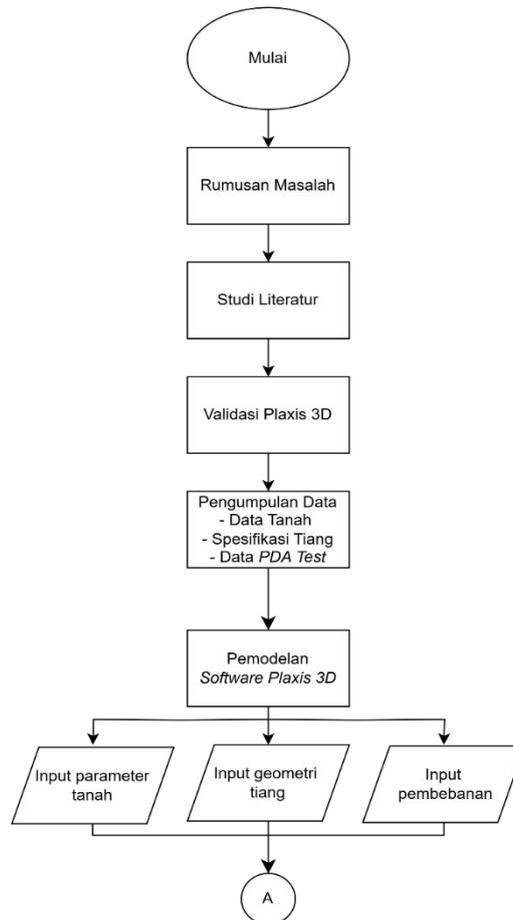
Simulasi menggunakan software Plaxis 3D memungkinkan perhitungan daya dukung tiang pancang secara lebih mendetail dengan mempertimbangkan interaksi antara tanah dan struktur. Namun, tingkat akurasi simulasi ini dalam merepresentasikan hasil uji Pile Driving Analyzer (PDA). Penelitian ini berupaya untuk mengevaluasi perbandingan kapasitas daya dukung tiang pancang dan penurunan tiang menggunakan simulasi Plaxis 3D dengan variasi diameter tiang pancang yang divalidasi dengan hasil uji PDA, serta dilakukan analisis untuk menentukan diameter tiang pancang yang optimal.

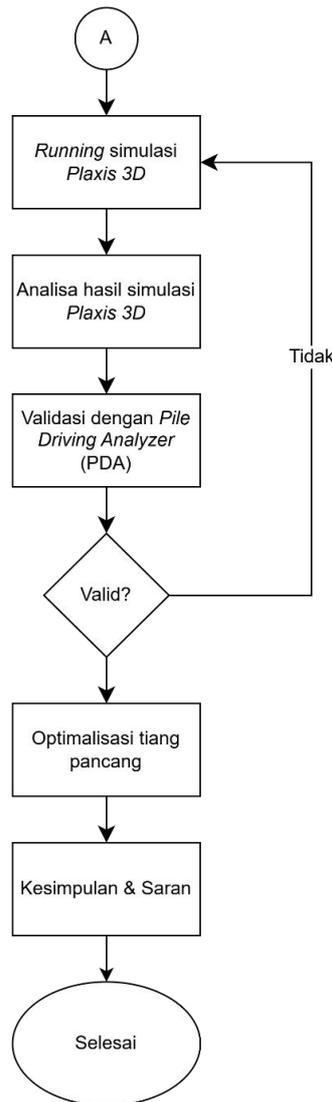


Selain itu, berdasarkan data proyek, total beban rencana yang harus dipikul oleh pondasi pilecap PC16A adalah sebesar 1966,35 ton. Sementara itu, hasil uji PDA di lapangan menunjukkan daya dukung izin per tiang sebesar 231 ton, sehingga kapasitas total pondasi menjadi jauh lebih besar dibandingkan beban rencana yang sebenarnya diperlukan. Perbedaan yang cukup signifikan antara beban yang dibutuhkan dan kapasitas pondasi yang tersedia inilah yang menjadi dasar penting untuk dilakukan evaluasi dan optimasi desain diameter serta jumlah tiang pancang, agar perencanaan pondasi dapat lebih sesuai dengan kondisi dan kebutuhan beban aktual di lapangan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil simulasi daya dukung tiang pancang dan penurunan pada plaxis 3D dengan diameter 60 cm, 50 cm dan 40 cm yang akan di validasi dengan hasil tes Pile Driving Analyzer (PDA) kemudian mencari jumlah tiang yang paling optimal untuk pile cap. Metode kuantitatif dipilih karena penelitian ini menggunakan data numerik dari parameter tanah dan spesifikasi tiang pancang.





Gambar 1. Bagan Diagram Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi performa tiang pancang pada tanah lunak dengan variasi diameter menggunakan simulasi numerik berbasis metode elemen hingga (FEM) melalui *software Plaxis 3D*. Fokus utama adalah membandingkan daya dukung *ultimate* (Q_{ult}), penurunan (*settlement*), dan efisiensi antara tiang pancang diameter 60 cm, 50 cm, dan 40 cm yang menjadi tiang pancang grup.

Data tanah diperoleh dari boring log proyek Tower 3 CWI-01 ITS Surabaya dengan kedalaman pengeboran hingga 36 meter, sedangkan parameter tanah dihitung melalui korelasi dari hasil uji *N-SPT* karena tidak tersedia data uji laboratorium. Pemodelan menggunakan tipe material *Mohr-Coulomb*, dengan pendekatan kondisi *Undrained* untuk tanah lempung/lanu dan *Drained* untuk pasir sesuai karakteristik permeabilitas tanah.

Analisis daya dukung *ultimate* dilakukan dengan memberikan beban sebesar 5000 kN menunjukkan kondisi *collapse* (kegagalan). Sementara itu, penurunan dihitung dengan memberikan beban vertikal sebesar 19.289,17 kN, sesuai hasil pembebanan pada pilecap 16A. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi untuk diameter 60 cm dengan hasil uji lapangan *Pile Driving Analyzer* (PDA).

1. Hasil Daya Dukung Ultimate



Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar diameter tiang, maka kapasitas daya dukung *ultimate* juga semakin tinggi. Hal ini karena luas penampang tiang yang lebih besar mampu mendistribusikan beban lebih merata ke tanah pendukung. Daya dukung bisa dihitung dengan menggunakan rumus dari panduan *Plaxis 3D* berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Daya Dukung *Ultimate*

No	Diameter Tiang	Beban (kN)	Qult (kN)	Qult (ton)
1	60	5000	2286,5	233,3
2	50	5000	1893,5	193,2
3	40	5000	1492	152,2

(Sumber: Dokumen Pribadi)

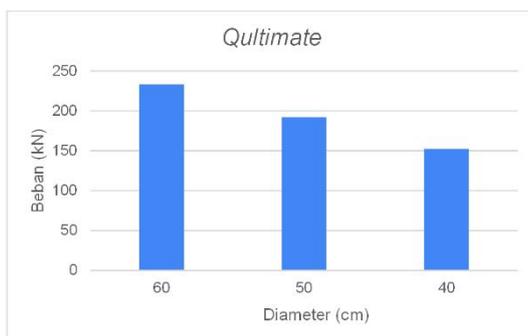


Diagram 1. Variasi Daya Dukung *Qultimate*

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Validasi hasil simulasi terhadap uji PDA pada diameter 60 cm menghasilkan selisih hanya 1,4%, yang masih berada di bawah ambang toleransi yang diperbolehkan (maksimal 20%). Hal ini menunjukkan bahwa model numerik *Plaxis 3D* dapat merepresentasikan kondisi lapangan dengan baik, sehingga hasil simulasi dapat diandalkan untuk membandingkan variasi diameter lainnya.

Tabel 2. Perbandingan *Qultimate*

No	Diameter Tiang	Qult	jumlah tiang	Daya Dukung	PU (ton)	optimal presentas
1	60	233,3	10	2333,00	1966,35	84,3
2	50	193,2	12	2318,40	1966,35	84,8
3	40	152,2	15	2283	1966,35	86,1

(Sumber: Dokumen Pribadi)

2. Hasil Penurunan (*Settlement*)

Analisis penurunan pada pile cap yaitu Diameter 60 cm menggunakan 10 buah tiang pancang, diameter 50 cm menggunakan 12 buah tiang pancang dan diameter 40 cm menggunakan 15 buah tiang pancang. dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software *Plaxis 3D*, diberikan beban sebesar 19.289,19 kN. kemudian output yang diamati pada analisis ini fokus diarahkan pada nilai deformasi vertikal atau penurunan (*settlement*) yang terjadi pada pilecap akibat beban yang diberikan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Penurunan



No	Diameter (cm)	Pilecap	Kedalaman (m)	Penurunan
1	60	10	28	33,6
2	50	12	28	31,9
3	40	15	28	28,7

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa seluruh variasi diameter memiliki nilai penurunan di bawah batas maksimum penurunan yang diperbolehkan (25 mm-75 mm) sesuai SNI 8460:2017. Artinya, ketiga desain secara deformasi vertikal masih memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan di lapangan.

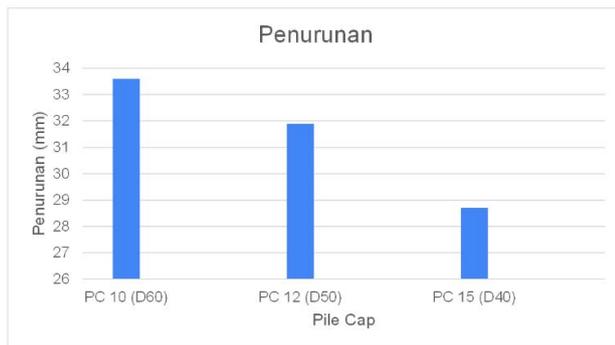


Diagram 2. Variasi Penurunan

(Sumber: Dokumen Pribadi)

3. Hubungan antara Daya Dukung dan Penurunan Tiang Pancang

Untuk melihat hubungan antara daya dukung ultimate (Q_{ult}) dan penurunan tiang pancang, dilakukan analisis regresi linier dari hasil simulasi berbagai diameter. Metode ini digunakan untuk mengetahui arah dan kekuatan hubungan antar kedua variabel, yang divisualisasikan dalam bentuk grafik berikut:



Gambar 2. Grafik Regresi Linier Hubungan antara Daya Dukung dan Penurunan Tiang Pancang

Berdasarkan Gambar 2, terdapat hubungan antara daya dukung dan penurunan tiang pancang, dengan gradien regresi 0,0604. Nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,967$ menunjukkan hubungan yang kuat, artinya 96,7% variasi penurunan dapat dijelaskan oleh variasi daya dukung. Pola ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja fondasi tiang pancang.

4. Evaluasi Dan Rekomendasi Optimal Jumlah Tiang Pancang

Berdasarkan perhitungan, total beban (P_u) rencana yang diterima fondasi Pile Cap 16A terdiri atas beban struktur atas, berat sendiri Pile Cap dan beban tanah penutup, sehingga total beban pada Pile Cap menjadi:

$$P_u = 1677,75 + 203 + 85,6 = 1966,35 \text{ ton}$$



Nilai P_u inilah yang menjadi acuan utama dalam menentukan jumlah tiang pancang yang optimal agar dapat menahan beban struktur dengan aman.

Untuk menentukan jumlah tiang pancang yang optimal, dilakukan perhitungan dengan membandingkan total beban rencana pondasi (P_u) terhadap kapasitas daya dukung total (jumlah tiang dikali Q_{ult}). Nilai optimal presentase dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Optimal = \frac{P_u}{n \times Q_{ult}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan untuk diameter tiang 60m dengan Q_{ult} sebesar 152,7 ton dilakukan percobaan jumlah tiang pancang sebagai berikut:

$$Optimal = \frac{1966,35}{15 \times 152,7} \times 100\% = 85,8\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa jumlah tiang sebanyak 15 buah untuk diameter 40 cm menghasilkan optimal presentase sebesar 85,8%, yang paling mendekati target desain mendekati 100%. Dengan demikian, alternatif diameter 40 cm dianggap sebagai pilihan yang lebih optimal karena menghasilkan daya dukung total yang tidak terlalu jauh melebihi beban rencana, sehingga perencanaan menjadi lebih efisien dan ekonomis.

Perhitungan serupa juga dilakukan untuk diameter 60 cm dan 50 cm dengan pendekatan yang sama, yaitu melalui proses iterasi untuk menemukan jumlah tiang yang sesuai hingga diperoleh nilai optimal presentase mendekati target perencanaan. Namun, meskipun diameter lebih besar dapat mengurangi jumlah tiang, nilai presentase yang dihasilkan justru lebih rendah dibandingkan diameter 40 cm.

Langkah ini penting dilakukan agar kapasitas daya dukung fondasi dapat dimanfaatkan secara efektif sesuai kebutuhan beban aktual, sekaligus menghindari kelebihan kapasitas yang tidak terpakai. Ringkasan hasil perhitungan jumlah tiang, daya dukung total, dan optimal presentase untuk setiap variasi diameter tiang pancang selanjutnya disajikan pada tabel berikut sebagai dasar analisis dan rekomendasi desain fondasi paling optimal.

Tabel 4. Perhitungan Optimal pile cap

No	Diameter Tiang	Q _{ult}	jumlah tiang	Daya Dukung	PU (ton)	optimal presentas
1	60	233,3	10	2333,00	1966,35	84,3
2	50	193,2	12	2318,40	1966,35	84,8
3	40	152,2	15	2283	1966,35	86,1

(sumber: dokumen pribadi)

Dari tabel di atas terlihat bahwa untuk diameter tiang 60 cm dengan jumlah 10 tiang, diperoleh daya dukung total sebesar 2.333 ton, yang menghasilkan optimal presentase sebesar 84,3%. Artinya, kapasitas pondasi dimanfaatkan sekitar 84,3% untuk menahan beban rencana.

Pada diameter 50 cm, dengan jumlah 12 tiang, diperoleh daya dukung total sebesar 2.318,4 ton dan optimal presentase sebesar 84,8%. Nilai ini menunjukkan pemanfaatan kapasitas pondasi yang lebih dekat dengan kebutuhan beban rencana dibandingkan diameter 60 cm.

Sedangkan pada diameter 40 cm, dengan jumlah 15 tiang, diperoleh daya dukung total sebesar 2.283 ton. Nilai optimal presentase yang dicapai adalah 86,1%, yang paling mendekati target desain mendekati 100%. Hal ini menunjukkan bahwa desain dengan diameter 40 cm dan 15 tiang lebih optimal, karena kapasitas pondasi lebih efisien dan sesuai kebutuhan tanpa berlebihan.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, semakin kecil diameter tiang memang memerlukan jumlah tiang lebih banyak untuk mencapai daya dukung total yang memadai. Namun, justru desain dengan diameter lebih kecil dapat menghasilkan pemanfaatan kapasitas pondasi yang lebih efisien karena daya dukung totalnya mendekati beban rencana.



Nilai optimal presentase antara 84,3-86,1% menunjukkan bahwa semua alternatif sudah cukup efisien.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini mengenai daya dukung dan penurunan tiang pancang pada tanah lunak menggunakan software Plaxis 3D, maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut

1. Daya Dukung

Semakin besar diameter tiang pancang, semakin besar pula daya dukung total yang dihasilkan, meskipun jumlah tiang yang diperlukan menjadi lebih sedikit. Diameter 60 cm dengan 10 tiang menghasilkan daya dukung total sebesar 2.333 ton. Sebaliknya, semakin kecil diameter tiang, semakin banyak jumlah tiang yang dibutuhkan untuk mencapai daya dukung total yang memadai; contohnya diameter 40 cm memerlukan 15 tiang untuk mencapai daya dukung total sebesar 2.223 ton.

2. Penurunan

Berdasarkan hasil analisis kelompok tiang (pile cap), semakin kecil diameter tiang yang digunakan, maka semakin banyak jumlah tiang yang diperlukan dan semakin lebar ukuran pile cap yang terbentuk. Kondisi ini membuat beban struktur dapat terdistribusi lebih merata ke tanah di bawahnya, sehingga menghasilkan penurunan total fondasi yang paling kecil. Diameter 40 cm dengan jumlah 15 tiang (pc 15) memberikan penurunan hanya sebesar 28,7 mm, lebih kecil dibandingkan diameter 50 cm dengan 12 tiang (pc 12) sebesar 31,9 mm, dan diameter 60 cm dengan 10 tiang (pc 10) sebesar 33,6 mm. Hal ini membuktikan bahwa semakin kecil diameter tiang yang digunakan, semakin banyak jumlah tiang yang diperlukan, serta semakin lebar pile cap yang dibentuk, maka penurunan total fondasi menjadi semakin kecil.

3. Optimalisasi jumlah tiang pancang

Semakin dekat nilai daya dukung total terhadap beban rencana (ditunjukkan oleh optimal presentase yang mendekati 100%), semakin efisien dan optimal desain fondasi tersebut. Diameter 40 cm dengan 15 tiang memiliki optimal presentase paling tinggi, yaitu 86,1%, sehingga direkomendasikan sebagai desain fondasi paling efisien dan mendekati target perencanaan, tanpa kelebihan kapasitas yang tidak terpakai.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications. (2017).
- Alamsyah, D. F., & Yakin, Y. A. (2023). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Masjid Al-Marwah Ciledug, Tangerang Selatan). Institut Teknologi Nasional.
- Arliyanto, P. B. P., Cahyono, M. S. D., & Rahayu, Y. E. (2024). Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Luciano De Court dan Plaxis Dengan Pile Driving Analyzer (PDA) Test Pada Pembangunan Gedung Research Center UPN Veteran Jawa Timur. *Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.25139/jprs.v7i1.6709>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. Standar Nasional Indonesia, 8460, 1-323.
- Bowles, J. E. (1984). *Physical and geotechnical properties of soils*. New York : McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design (5th Editio)*. McGraw-Hill, New York.
- Brinkgreve, R., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. (2017). *Plaxis 3D Reference Manual*.
- Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering*. Global Engineering: Timothy L. Anderson.
- Dwitasari, M. N. (2018). *Kajian Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Tangki Timbun Dengan Metode Elemen Hingga Dan Meyerhof*. Universitas Islam Indonesia.



- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I. Gadjah Mada University Press. <https://ebooktekniksipil.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/mechanika-tanah-i.pdf>
- Hardiyatmo, H. C. (2017). Mekanika Tanah I Edisi ke Tujuh. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2022). Analisis dan Perancangan Fondasi II (5th ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2023). Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi 6. Gadjah Mada University Press.
- Haryadi, D., & Prakoso, W. A. (2023). Analisa Statistik Hasil Uji Kapasitas metode Dinamis (PDA Test) pada Pondasi Tiang Pancang Sistem Pancang Tekan. Wahana Teknik Sipil, 28(1).
- Hidayat, Z. N., Aschuri, I., & Pratiwi, D. S. (2022). Analisis Daya Dukung Tiang Pancang pada Proyek Pembangunan Gedung BNI KC. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Kasiram, M. (2009). Metodologi Penelitian Kualitatif Kuantitatif (Cet II). UIN Maliki press.
- Prilia, R., Manoppo, F. J., & Manaroinsong, L. D. K. (2021). Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil). Tekno, 19, 139-150.
- Putri, R. M. (2017). Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Pile Driving Analyze (PDA) Test Dan Standard Penetration Test (SPT). Universitas Jember.
- Rausche, F., Goble, G. G., & Likins, G. (1985). Dynamic Determination of Pile Capacity. Journal of Geotechnical Engineering, 111(3). [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:3\(367\)](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:3(367))
- Romadhoni, A. (2022). Analisa Daya Dukung Pondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Pasar Baru Mandailing Natal. 96.
- Rus, T. Y., Sunarno, & Irwaniansyah, F. E. N. A. (2021). Analisa Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Data Uji Laboratorium, N-SPT, Dan CPT Terhadap Nilai Uji Pile Driving Analyzer (Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Pt. Kaltim Amonium Nitrat Di Kota Bontang). 5.
- Sakyi, K. A., Musona, D., & Mweshi, G. (2020). . The Research: Methods and Methodology. Advances in Social Sciences Research Journal, 7(3), 13-40. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-39811-8_2
- Shafa, S. Y. (2025). ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR PONDASI EKSISTING KONSTRUKSI SARANG LABA-LABA (KSL) PADA GEDUNG A DEKANAT FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI PADANG.
- Soeratinoyo, A. H., Manoppo, F. J., & Mandag, A. T. (2022). Pemodelan Pondasi Box di Tanah Berpotensi Likuifaksi. In Tekno (Vol. 20, Issue 81). Universitas Sam Ratulangi.
- Sugiyono. (2016). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, R&D. Bandung: Alfabeta.