E-ISSN : 2988-1986
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 9 No 11 Tahun 2025

PERBANDINGAN DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 3D* DAN HASIL TES *PDA* (Studi Kasus Gedung *Tower* 03 CW 01 ITS)

Ahmad Fajar Dwi Purnomo
Mahasiswa D4 Teknik Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Fakultas Vokasi,
Universitas Negeri Surabaya, Surabaya
E-mail: ah.fajar20@gmail.com

Abstract
The design of pile foundations on soft soil requires careful evaluation of both bearing capacity and settlement to ensure structural safety and stability. This study compares the bearing capacity of a single pile obtained from numerical modeling using Plaxis 3D with empirical data from Pile Driving Analyzer (PDA) testing, conducted on the Tower 03 CW 01 ITS building project. The numerical model was based on correlated SPT data and structural loads analyzed using SAP2000.
The results show that the ultimate bearing capacity from Plaxis (404.73 tons) differs by only 3.6% from the PDA result (418.80 tons). The settlement predicted by Plaxis was 8.83 mm, which remains within the allowable limit according to SNI 8460:2017. Based on this validation, Plaxis 3D was then used to evaluate alternative pile depths. One efficient recommendation is a depth of 26 meters, which supports a working load of 129.95 tons with a settlement of 9.88 mm and a usage efficiency of 75.8%.
These findings confirm that Plaxis 3D can be used as a reliable tool for analyzing and optimizing pile foundation design, particularly in soft soil conditions.

Keywords: Pile foundation, Plaxis 3D, PDA Test

Abstrak
Perencanaan fondasi tiang pancang pada tanah lunak memerlukan evaluasi terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan agar struktur tetap aman dan stabil. Penelitian ini membandingkan hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan perangkat lunak Plaxis 3D dengan data empiris dari pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada proyek Gedung *Tower* 03 CW 01 ITS. Pemodelan dilakukan berdasarkan data tanah hasil korelasi uji SPT serta analisis beban struktur dari SAP2000.
Hasil menunjukkan bahwa kapasitas ultimit dari Plaxis (404,73 ton) memiliki selisih hanya 3,6% dibanding hasil PDA (418,80 ton), dengan penurunan yang ditunjukkan Plaxis sebesar 8,83 mm dan masih berada dalam batas aman menurut SNI 8460:2017. Berdasarkan validasi tersebut, pemodelan Plaxis digunakan untuk mengevaluasi alternatif kedalaman tiang. Salah satu rekomendasi efisien adalah kedalaman 26 m, yang mampu menahan beban 129,95 ton dengan penurunan 9,88 mm dan efisiensi pemakaian sebesar 75,8%.
Plaxis 3D terbukti dapat digunakan sebagai alat bantu yang andal dalam analisis dan optimasi desain fondasi tiang pancang, khususnya pada kondisi tanah lunak.

Kata kunci: Tiang pancang, Plaxis 3D, Tes PDA

Article History
Received: Juli 2025
Reviewed: Juli 2025
Published: Juli 2025

Plagiarism Checker No 235
Prefix DOI : 10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. Pendahuluan

Perencanaan fondasi merupakan aspek krusial dalam desain struktur, khususnya pada bangunan bertingkat dengan kondisi tanah lunak. Fondasi berperan dalam meneruskan beban struktur ke lapisan tanah yang lebih stabil agar tidak terjadi keruntuhan maupun penurunan berlebih (Bowles, 1997). Dalam praktiknya, fondasi dalam seperti tiang pancang banyak digunakan pada tanah lunak karena kemampuannya menjangkau lapisan tanah keras yang lebih dalam dan stabil (Das & Sobhan, 2014). Salah satu tantangan dalam perencanaan fondasi adalah memastikan bahwa kapasitas daya dukung tanah mencukupi dan deformasi vertikal (penurunan) masih dalam batas toleransi. Sesuai Standar Nasional Indonesia (BSN, 2017), penurunan total maksimal yang diperbolehkan untuk struktur gedung adalah 50 mm, sedangkan penurunan diferensial dibatasi hingga 30 mm.

Pada proyek pembangunan ITS CW 01 *Tower* 3, ditemukan ketidaksesuaian data tanah antara hasil uji lapangan (SPT) dan laboratorium (*Atterberg Limits & UU Triaxial Test*) pada kedalaman 30 meter, yang memunculkan keraguan terkait klasifikasi tanah keras maupun lunak di lokasi tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan validasi hasil perencanaan daya dukung fondasi melalui pendekatan numerik maupun uji lapangan.

Seiring dengan perkembangan teknologi, *software* berbasis metode elemen hingga seperti Plaxis 3D banyak digunakan dalam analisis interaksi tanah-struktur, termasuk estimasi daya dukung dan prediksi penurunan fondasi (Sartika Hutapea et al., 2021). Di sisi lain, pengujian lapangan seperti *Pile Driving Analyzer* (PDA) *Test* juga memberikan data empiris mengenai kapasitas tiang aktual. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan Plaxis 3D dengan hasil uji PDA di lapangan, sebagai upaya untuk mengevaluasi keandalan hasil pemodelan numerik terhadap kondisi nyata di lapangan.

2. Tinjaun Pustaka

2.1. Korelasi N-SPT

Data uji *Pile Driving Analyzer* (SPT) merupakan salah satu hasil penyelidikan tanah yang paling umum digunakan dalam perencanaan geoteknik. Meskipun tidak langsung menghasilkan parameter mekanik tanah, nilai N-SPT dapat dikorelasikan secara empiris untuk memperoleh parameter input dalam pemodelan numerik seperti kohesi (c), sudut geser dalam (φ), modulus elastisitas (E), berat jenis (γ), rasio Poisson (ν), dan sudut dilatansi (ψ).

Korelasi ini mengacu pada tabel dan grafik dari literatur seperti *Geotechnical Investigation and Design Tables* (Look, 2007) dan *Foundation Analysis and Design* (Bowles, 1996). Misalnya, modulus elastisitas dapat dihitung sebagai fungsi linier dari nilai N, sementara parameter lain ditentukan berdasarkan jenis tanah dan rentang nilai SPT-nya. Pendekatan ini penting dalam pemodelan dengan Plaxis 3D agar parameter input mencerminkan kondisi tanah aktual di lapangan secara representatif.

2.2. Kapasitas Daya Dukung Berdasarkan Hasil Tes PDA

Metode *Pile Driving Analyzer* (PDA) merupakan salah satu pengujian dinamis yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang secara langsung di lapangan. Prinsip dasar dari tes ini adalah mengukur respons tiang terhadap energi tumbukan dari alat pemancang *(hammer)* dengan bantuan sensor akselerometer dan strain gauge yang terpasang pada tiang. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan dan percepatan, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung daya dukung tiang baik secara total maupun secara komponen tahanan ujung dan gesekan sisi (Likins et al., 2004).

PDA test bekerja berdasarkan metode gelombang satu dimensi dan analisis gelombang pantul, yang mampu memisahkan antara energi yang ditransmisikan ke ujung tiang dan yang direfleksikan kembali ke permukaan. Analisis ini dapat digunakan untuk menentukan *ultimate bearing capacity* dari tiang pancang secara cepat tanpa menunggu waktu pembebanan yang panjang seperti pada uji statik (Hussein & Goble, 1991). Hasil pengujian PDA umumnya dianalisis lebih lanjut menggunakan program CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) untuk mendapatkan estimasi yang lebih akurat terhadap kapasitas aksial tiang pancang, serta memberikan distribusi tahanan sepanjang batang tiang (Basyaruddin et al., 2019). Hasil dari PDA test yang telah dikalibrasi

dengan CAPWAP telah diterima secara luas sebagai metode yang andal dan praktis dalam penilaian kapasitas tiang pancang di lapangan.

2.3. Daya Dukung dan Penurunan Tiang Tunggal Menggunakan *Software* Plaxis 3D

Analisis daya dukung tiang tunggal merupakan langkah penting dalam perencanaan fondasi dalam, khususnya pada tanah lunak atau heterogen. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah metode elemen hingga *(finite element method/FEM),* yang memungkinkan analisis perilaku tanah dan struktur secara simultan. Plaxis 3D, sebagai perangkat lunak berbasis FEM, menyediakan *platform* yang andal untuk memodelkan interaksi nonlinier antara tanah dan fondasi, termasuk distribusi tegangan, deformasi, dan kapasitas daya dukung (Brinkgreve et al., 2019).

Dalam pemodelan tiang tunggal, Plaxis 3D memperhitungkan kondisi batas, jenis material, dan parameter tanah yang diinput dari hasil penyelidikan lapangan atau hasil korelasi data uji SPT. Daya dukung dihitung berdasarkan deformasi dan distribusi tegangan vertikal akibat pembebanan pada kepala tiang. Beberapa studi menunjukkan bahwa hasil perhitungan daya dukung dengan Plaxis cenderung konservatif dibanding metode analitik, namun memberikan gambaran lebih realistis terhadap perilaku penurunan dan interaksi tanah-struktur (Zhao et al., 2015; Widodo et al., 2020). Oleh karena itu, Plaxis 3D banyak digunakan dalam kajian daya dukung tiang tunggal sebagai validasi atau pembanding terhadap metode manual maupun uji lapangan.

Untuk mencari kapasitas daya dukung maksimal pada plaxis 3D dapat digunakan rumus berikut:

$$q_{ult} = M_{stage} \times P_{input}$$

di mana:

- q_{ult} = kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal (kN),
- M_{stage} = faktor multiplier beban saat keruntuhan,
- P_{input} = beban yang diberikan pada kepala tiang (kN).

Dengan menggunakan pendekatan tersebut, diperoleh nilai kapasitas daya dukung tiang tunggal berdasarkan simulasi numerik Plaxis 3D yang akan dibandingkan dengan hasil pengujian di lapangan pada subbab selanjutnya.Berikut adalah grafik Mstage yang digunakan untuk menghitung Qult tiang tunggal.

Selain daya dukung, aspek penurunan (*settlement*) pada fondasi tiang pancang memegang peranan krusial dalam menjamin kinerja dan kestabilan struktur. Penurunan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan arsitektural, gangguan fungsi bangunan, bahkan kegagalan struktural jika melebihi ambang batas yang ditentukan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap besarnya penurunan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam perencanaan fondasi. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 8460:2017), batas maksimum penurunan yang diizinkan untuk fondasi tiang pancang pada bangunan gedung adalah 25 mm untuk penurunan total dan 15 mm untuk penurunan diferensial, guna menjaga integritas dan kenyamanan bangunan secara keseluruhan (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus dan simulasi numerik, berfokus pada perbandingan daya dukung fondasi tiang pancang pada proyek Gedung *Tower* 03 CW 01 ITS. Analisis dilakukan melalui dua metode: pemodelan numerik dengan Plaxis 3D berbasis metode elemen hingga, dan pengujian lapangan menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA). Pemodelan dilakukan berdasarkan parameter tanah hasil uji laboratorium serta beban struktur dari analisis struktural.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kedalaman tiang pancang, sementara variabel terikat meliputi daya dukung dan penurunan fondasi. Variabel kontrol mencakup karakteristik tanah, dimensi fondasi, beban struktur, dan kondisi batas model. Hasil simulasi Plaxis dibandingkan dengan data PDA untuk mengevaluasi keakuratan model numerik dan kesesuaiannya terhadap standar batas penurunan dan kapasitas menurut SNI 8460:2017.

4. Hasil Penelitian

4.1. Parameter Input Plaxis 3D

Setelah dilakukan proses korelasi terhadap data hasil penyelidikan tanah, baik dari uji SPT maupun uji laboratorium, maka diperoleh nilai-nilai parameter tanah yang diperlukan untuk

keperluan input dalam pemodelan numerik. Parameter-parameter tersebut mencakup sifat mekanik dan fisik tanah yang akan digunakan pada simulasi interaksi tanah–struktur menggunakan perangkat lunak Plaxis 3D. Nilai-nilai parameter yang digunakan ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 1 Rekap Input Parameter Tanah

Depth (m)	N'	C (kN/m2)	φ (°)	E (kN/m²)
0 - 4	2	10	20	1500
4 - 5	1	0	26	8000
5 - 8.5	2	10	22	1500
8.5 - 10	9	0	28	14000
10 - 11	17	0	33	16000
11 - 12.5	24	26	25	35000
12.5 - 14.5	16	0	34	14400
14.5 - 16.5	20	20	26	13500
16.5 - 19.5	29	34	28	140000
19.5 - 20.5	41	0	40	112000
20.5 - 28.5	26	29	27	15000
28.5 - 30	48	62	29	11000
30 - 32	55	73	30	15000
32 - 34	57	76	30	15000
34 - 36	54	71	29	15000

4.2. Pembebanan

Beban yang digunakan dalam pemodelan numerik dengan Plaxis 3D bertujuan untuk mensimulasikan penurunan (*settlement*) yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada struktur. Nilai beban tersebut diperoleh dari hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000, dengan mengambil data pada joint reaction node 1581, yang dipilih karena posisinya paling dekat dengan titik pelaksanaan uji PDA di lapangan.

Dari hasil analisis tersebut, diperoleh:

- Total gaya vertikal (∑V) = 1.268,3549 ton
- Total momen arah-x (∑Mx) = -54,80785 ton.m
- Total momen arah-y (∑My) = 21,21566 ton.m

Untuk keperluan simulasi tiang tunggal dalam Plaxis 3D, gaya vertikal total ini dikonversi menjadi beban yang bekerja pada satu tiang pancang menggunakan rumus Hiley. Konversi ini mempertimbangkan efisiensi energi tumbukan dan pembagian beban terhadap jumlah tiang yang menumpu beban. Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh beban pada satu tiang sebesar 129,95 ton.

Nilai inilah yang kemudian digunakan sebagai input beban aksial vertikal dalam tahap *Phase Construction* pada pemodelan Plaxis 3D untuk menganalisis deformasi vertikal (penurunan).

4.3. Pemodelan Tiang Tunggl dengan Plaxis 3D

Setelah seluruh data tanah dan parameter perencanaan diperoleh dari hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium, tahap selanjutnya adalah melakukan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 3D. Proses ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi aktual di lapangan guna memperoleh estimasi kapasitas daya dukung tiang tunggal secara lebih representatif.

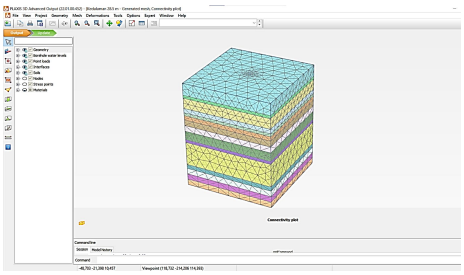
Langkah awal dalam proses pemodelan adalah menentukan sistem satuan unit yang akan digunakan, di mana pada penelitian ini dipilih sistem satuan kN, m, dan kN/m². Selanjutnya dilakukan input data tanah berdasarkan stratifikasi lapisan tanah, dimulai dari permukaan hingga kedalaman 36 meter, disesuaikan dengan parameter teknis seperti modulus elastisitas, kohesi, sudut geser dalam, dan berat jenis yang telah dikorelasikan dari hasil uji SPT.

Pemilihan model tanah dilakukan berdasarkan jenis tanah pada masing-masing lapisan:

- Tanah kohesif dimodelkan menggunakan kondisi Undrained B,
- Tanah non-kohesif dimodelkan sebagai Drained.

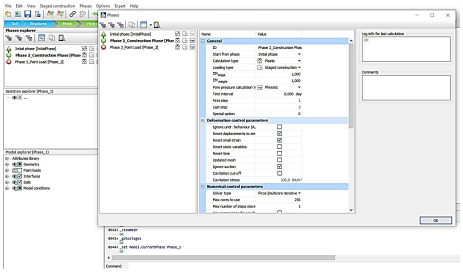
Model konstitutif tanah yang digunakan adalah *Mohr-Coulomb*, karena cukup merepresentasikan perilaku tanah untuk kajian kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi. Posisi muka air tanah diasumsikan berada pada kedalaman -1,5 meter dari permukaan.

Struktur tiang dimodelkan sebagai elemen volume *(embedded pile)* dengan spesifikasi diameter 0,6 meter dan panjang 28,5 meter sesuai kondisi eksisting di lapangan. Proses pembuatan mesh dilakukan dengan tingkat kekasaran *coarse*, karena tingkat akurasi dianggap cukup untuk analisis awal daya dukung tanpa mengorbankan efisiensi waktu komputasi.



Gambar 1 Hasil *Mesh* dengan elemen distribusi *coarse*

Tahapan selanjutnya adalah *Phase Construction*, yaitu pemodelan proses konstruksi secara bertahap hingga pemberian beban. Beban aksial vertikal sebesar 10.000 kN diberikan pada kepala tiang untuk mensimulasikan beban maksimum dari struktur atas.

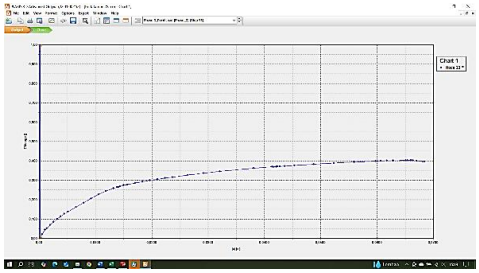


Gambar 2 Tahap *Stage Construction*

Setelah semua tahapan selesai, dilakukan perhitungan kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal berdasarkan nilai faktor Mstage pada saat keruntuhan (collapse). Nilai Mstage menggambarkan rasio beban maksimum yang masih dapat ditahan oleh struktur sebelum mengalami kegagalan. Nilai kapasitas daya dukung ultimit (qult) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$q_{ult} = M_{stage} \times P_{input}$$

Dengan menggunakan pendekatan tersebut, diperoleh nilai kapasitas daya dukung tiang tunggal berdasarkan simulasi numerik Plaxis 3D yang akan dibandingkan dengan hasil pengujian di lapangan pada subbab selanjutnya.Berikut adalah grafik *Mstage* yang digunakan untuk menghitung Qult tiang tunggal.



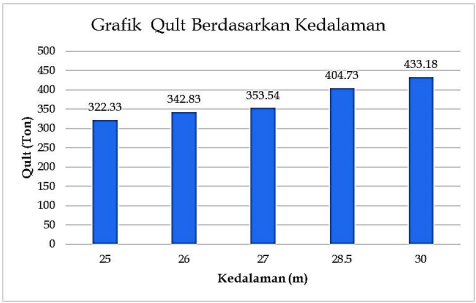
Gambar 3 Kurva Qult

Berdasarkan hasil diatas diketahui bahwa daya dukung *ultimate* dari struktur tiang pancang yang telah dimodelkan adalah sebagai berikut dimana Qult= ∑Mstage x beban, maka 0.3969 x 10.000 kN adalah 3969 kN atau 404,73 ton.

Pemodelan dilakukan pada beberapa kedalaman berbeda untuk mengevaluasi alternatif desain yang lebih efisien. Hasilnya disajikan dalam tabel dan grafik berikut:

Table 1 Rekapitulasi Qult pada variasi kedalaman

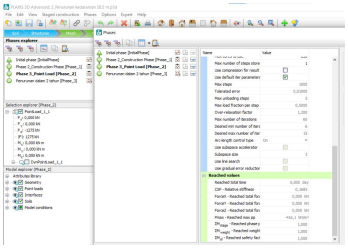
Kedalaman (m)	Beban (kN)	∑Mstage	Qult kN	Qult (Ton)
25	5000	0.6322	3161	322.33
26	5000	0.6723	3361.5	342.78
27	5000	0.6933	3466.5	353.48
28.5	10000	0.3969	3969	404.73
29	10000	0.4053	4053	413.29
30	10000	0.4248	4248	433.18



Gambar 4 Grafik Qult Berdasarkan Kedalaman

Selain menganalisis kapasitas daya dukung, perangkat lunak Plaxis 3D juga memungkinkan untuk mengevaluasi besarnya penurunan (*settlement*) yang terjadi akibat pembebanan vertikal. Tahapan pemodelan untuk analisis penurunan secara umum serupa dengan pemodelan daya dukung, yang meliputi input data tanah, pemodelan geometri tiang, pembuatan mesh, dan definisi kondisi batas.

Perbedaan utama terletak pada tahap *Phase Construction*, di mana beban yang diberikan merupakan beban distribusi pada satu tiang pancang, yaitu sebesar 129,5 ton, yang diperoleh dari hasil konversi beban struktur.



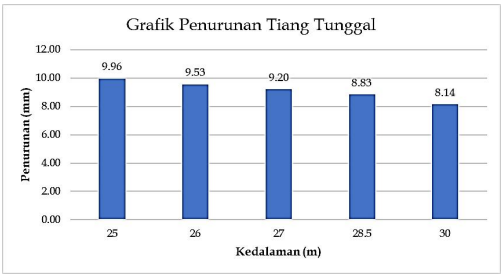
Gambar 5 tahap pemberian beban untuk penurunan

Pemodelan dilakukan untuk beberapa variasi kedalaman tiang pancang, dengan tujuan mengevaluasi pengaruh panjang tiang terhadap besarnya penurunan, serta untuk menyusun alternatif desain yang lebih efisien dan tetap memenuhi batas toleransi penurunan menurut SNI 8460:2017.

Hasil penurunan vertikal pada masing-masing skenario kedalaman ditampilkan pada tabel dan grafik berikut sebagai dasar pertimbangan pemilihan konfigurasi tiang yang optimal.

Tabel 2 Rekapitulasi Penurunan

Kedalaman (m)	Beban (T)	Penurunan (mm)
25	129.95	**9.96**
26	129.95	**9.53**
27	129.95	**9.20**
28.5	129.95	**8.83**
30	129.95	**8.14**



Gambar 6 Grafik Penurunan Tiang Tunggal

4.4. Hasil Tes PDA

Pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) dilakukan pada tiang pancang PSC Ø60 dengan panjang tertanam 28,5 m sesuai standar ASTM D-4945. Salah satu tiang yang diuji, yaitu Tiang No. 197, yang terletak paling dekat dengan titik analisis Plaxis (berdasarkan lokasi SPT), menghasilkan kapasitas dukung *ultimate* sebesar 419,8 ton, dengan kontribusi gesekan selimut sebesar 336,5 ton dan tahanan ujung 83,3 ton. Daya dukung izin (dengan FK=2) mencapai 209,9 ton, melebihi beban rencana sebesar 185,2 ton.

Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, yang mencakup gaya energi, tahanan maksimum, serta nilai penurunan. Penurunan maksimum (DMX) tiang No. 197 sebesar 10,81 mm, masih berada dalam batas yang diizinkan oleh SNI (<25 mm). Nilai ini menunjukkan penurunan elastis (immediate *settlement*) yang tidak signifikan terhadap stabilitas jangka panjang. Kinerja tiang juga menunjukkan efisiensi energi hammer (EMX = 3,03 ton.m) dan tahanan maksimum (RMX = 407 ton), yang mengindikasikan respon struktur tiang yang baik.

Hasil penurunan vertikal pada masing-masing skenario kedalaman ditampilkan pada tabel dan grafik berikut sebagai dasar pertimbangan pemilihan konfigurasi tiang yang optimal.

Tabel 3 Hasil Pengujian PDA di Lapangan

No.	EMX (ton.m)	RMX (ton)	RSU (ton)	DMX (mm)	DFN (mm)
129	2.69	342	453	10.69	1.99
197	**3.03**	**407**	**514**	**10.81**	**2.1**
29	1.04(1)	256	289	6.15	0.88
147	3.13	385	482	12.3	0.18

Tabel 4 Kapasitas Dukung Hasil Analisis CAPWAP

No.	Kapasitas Dukun CAPWAP (Ton)			
	Selimut	Ujung	Total (Termobil-isir)	Ijin (FK=2)
129	289.2	81.2	370.4	185.2
197	**336.5**	**83.3**	**419.8**	**209.9**
29	161	100.3	261.2(1)	130.6
147	323	81.9	404.9	202.5

4.5. Perbandingan Hasil Tes PDA dan

Perbandingan dilakukan pada tiang dengan kedalaman 28,5 m untuk menilai keakuratan pemodelan Plaxis 3D. Hasil menunjukkan nilai Qult dari Plaxis sebesar 404,73 ton, hanya 3,6% lebih rendah dari hasil PDA (418,80 ton), sehingga dapat dianggap akurat dan valid.

Penurunan dari Plaxis tercatat 8,83 mm, sedangkan dari PDA 10,81 mm, dengan selisih 11,9%. Keduanya masih di bawah ambang batas penurunan maksimum 25 mm menurut SNI 8460:2017, yang menunjukkan bahwa kondisi fondasi masih aman secara deformasi.

Tabel 5 Perbandingan hasil Tes PDA dan Plaxis

Metode	Qult (ton)	Penurunan (mm)
PDA	418.80	10.81
Plaxis 3D	404.73	8.83
Selisih (%)	3.6%	11.9%

4.6. Rekomendasi Konfigurasi Kedalaman Alternatif

Hasil pemodelan Plaxis 3D yang telah divalidasi dengan uji PDA menunjukkan tingkat akurasi yang baik, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung dan penurunan pada kedalaman lain. Salah satu alternatif yang direkomendasikan adalah kedalaman 26 meter, dengan pertimbangan berikut:

a. Kinerja Daya Dukung

Pada kedalaman 26 m, tiang mampu menahan beban maksimum 129,95 ton tanpa melebihi kapasitas izin 171,39 ton (Qult = 342,78 ton, FK = 2). Tingkat efisiensi pemakaian mencapai 75,8%, dan masih sesuai dengan hasil uji PDA (209,9 ton), sehingga dapat dikategorikan aman dan efisien.

b. Penurunan

Simulasi Plaxis menghasilkan penurunan 9,88 mm, dengan selisih kecil (0,93 mm) dari hasil PDA (10,81 mm). Nilai ini masih dalam batas aman berdasarkan:

- SNI 8460:2017: Maksimum 25 mm
- Vesic: 10% dari diameter tiang (6 mm untuk Ø60 cm)

Penurunan juga diperkirakan tetap aman setelah mempertimbangkan konsolidasi jangka panjang.

Dengan memenuhi kriteria daya dukung dan penurunan, kedalaman 26 m dapat dijadikan alternatif desain yang lebih efisien namun tetap andal.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan Plaxis 3D dan pengujian lapangan dengan PDA pada proyek Gedung *Tower* 03 CW 01 ITS, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

a. Pemodelan dengan Plaxis 3D terbukti akurat dan valid dalam memperkirakan daya dukung dan penurunan tiang pancang tunggal. Hasil kapasitas ultimit dari Plaxis (404,73 ton) memiliki selisih hanya 3,6% dari hasil PDA (418,80 ton), sementara penurunan sebesar 8,83 mm juga masih dalam batas aman dibandingkan nilai PDA (10,81 mm), sesuai ketentuan SNI 8460:2017.

b. Alternatif kedalaman tiang 26 m dapat dijadikan solusi efisien, dengan kapasitas daya dukung izin sebesar 171,39 ton dan beban kerja 129,95 ton (efisiensi 75,8%), serta penurunan sebesar 9,88 mm yang masih memenuhi batas aman menurut SNI maupun pendekatan Vesic. Konfigurasi ini memberikan efisiensi material tanpa mengorbankan aspek keamanan dan performa struktur.

Dengan validasi hasil pemodelan numerik oleh data empiris, Plaxis 3D dapat diandalkan sebagai alat bantu dalam evaluasi dan optimasi desain fondasi tiang pancang pada proyek serupa.

Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 – Tata cara perencanaan teknis fondasi tiang pancang untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. https://sispk.bsn.go.id/sni/DetailSni/11991

Basyaruddin, A., Rahardjo, B., & Susila, E. (2019). Evaluasi kapasitas tiang pancang dengan metode PDA dan CAPWAP. *Jurnal Teknologi*, 8(1), 27–34.

Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. M. (2019). *PLAXIS 3D 2019 – Reference Manual*. Delft: Plaxis bv. https://communities.bentley.com/products/geotechnical1/w/wiki/46093/plaxis-manuals

Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Stamford, CT: Cengage Learning.

Hussein, M., & Goble, G. G. (1991). *Dynamic pile testing: State of practice*. Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation.

Likins, G. E., Rausche, F., & Goble, G. G. (2004). Pile driving formulae: Fact or fiction? *Proceedings of the 7th International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles*, 1–12.

Look, B. G. (2007). *Geotechnical investigation and design tables*. Boca Raton: CRC Press.

Sartika Hutapea, Y., Hidayat, R., & Ramli, M. (2021). Evaluasi daya dukung tiang dengan metode numerik Plaxis 3D dan uji PDA pada

tanah lunak. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(2), 101–110.

Widodo, S., Junaedi, R., & Setiawan, D. A. (2020). Analisa daya dukung tiang tunggal menggunakan Plaxis 3D dan metode manual. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 4(2), 45–52.

Zhao, J., Liu, H., & Liu, C. (2015). Numerical analysis of pile–soil interaction using 3D finite element method. *Computers and Geotechnics*, 63, 84–95.