
Studi Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Dimensi pada Struktur Jembatan

Ali Zainal Abidin Isa Alhabsyi¹

Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

E-mail: abidinhabsyi@gmail.com

Dian Solin Purnamawati²

Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

E-mail: diansolin.ts@upnjatim.ac.id

Himatul Farichah³

Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

E-mail: himatul_farichah.ts@upnjatim.ac.id

Abstrak

Fondasi tiang dalam, seperti tiang bor (bored pile) dan tiang pancang (driven pile), merupakan solusi utama untuk mendukung struktur pada tanah dengan daya dukung rendah. Tiang bor dipilih karena fleksibilitasnya terhadap kondisi tanah, meskipun memerlukan waktu pemasangan lebih lama. Sebaliknya, tiang pancang unggul dalam mutu material dan efisiensi waktu pelaksanaan. Penelitian ini menganalisis kapasitas daya dukung fondasi menggunakan metode Nakazawa dengan variasi diameter tiang pancang 0,8 m, 1 m, dan 1,2 m pada kedalaman 15 m. Analisis penurunan dilakukan dengan metode Vesic secara manual serta metode elemen hingga sebagai pembanding. Studi dilakukan pada titik Bor-78 sedalam 30 meter dengan kondisi tanah berupa lempung dan lanau sangat lunak hingga lunak, serta lapisan pasir cukup padat di bagian bawah. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung meningkat signifikan seiring bertambahnya diameter tiang, sementara penurunan fondasi cenderung menurun. Penurunan dianalisis dengan mempertimbangkan deformasi tanah dan deformasi batang tiang secara terpisah. Studi ini diharapkan menjadi referensi teknis dalam perencanaan fondasi jembatan pada kondisi tanah lunak dan padat, dengan mempertimbangkan efisiensi desain berdasarkan variasi dimensi tiang yang digunakan.

Kata kunci: Daya Dukung Tiang, Fondasi Dalam, Metode Nakazawa, Metode Vesic, Dan Penurunan Fondasi.

Abstract

Deep foundations, such as bored piles and driven piles, are key solutions for supporting structures on soils with low bearing capacity. Bored piles are chosen for their adaptability to varying soil conditions, although they require longer installation time. Conversely, driven piles offer advantages in material quality and faster installation, making them more efficient in project execution. This study analyzes the bearing capacity of foundation piles using the Nakazawa method, with pile diameters of 0.8 m, 1 m, and 1.2 m at a depth of 15 m. Settlement analysis is performed using the Vesic method manually and compared with the finite element method. The case study is based on borehole point Bor-78, with a depth of 30 meters. The soil profile consists of very soft to soft clay and silt layers, with a moderately dense sand layer at the bottom. Results show that increasing the pile diameter significantly improves the bearing capacity, while foundation settlement tends to decrease. Settlement is analyzed by separating soil deformation and pile shaft deformation contributions. This study is expected to serve as

a technical reference for bridge foundation planning in soft and dense soil conditions, emphasizing design efficiency through pile dimension variations.

Keywords: *Deep Foundation, Foundation Settlement, Method Nakazawa, Method Vesic, and Pile Bearing Capacity.*

1. PENDAHULUAN

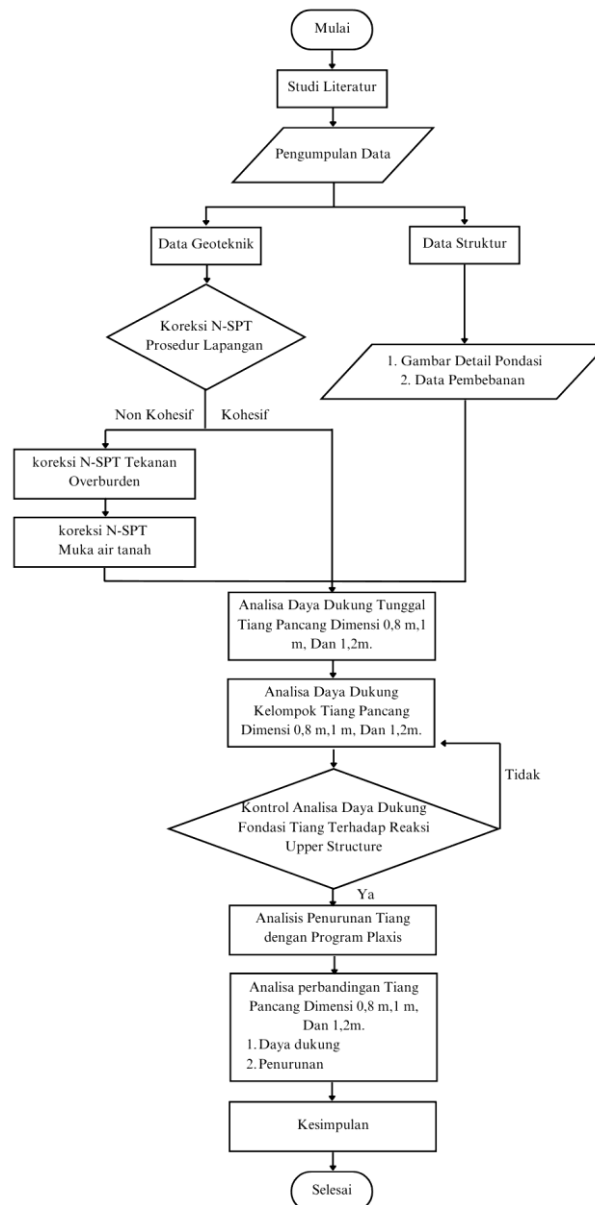
Fondasi tiang dalam merupakan solusi utama untuk mendukung struktur bangunan dan jembatan pada kondisi tanah dengan daya dukung rendah. Dua metode fondasi tiang yang umum digunakan adalah tiang bor (bored pile) dan tiang pancang (driven pile). Tiang bor banyak diaplikasikan karena fleksibilitas desainnya dan kemampuannya menyesuaikan dengan kondisi lapisan tanah yang beragam. Namun, proses pelaksanaan tiang bor yang meliputi pengeboran dan pengecoran memerlukan waktu dan biaya lebih besar dibandingkan tiang pancang. Sebaliknya, tiang pancang memiliki keunggulan dalam hal mutu material karena diproduksi secara fabrikasi serta efisiensi waktu pemasangan, sehingga cocok untuk proyek dengan batasan waktu pelaksanaan [1].

Dalam perencanaan fondasi tiang, aspek penurunan (settlement) dan kapasitas daya dukung menjadi parameter penting yang harus dianalisis untuk menjamin stabilitas dan efisiensi struktur. Daya dukung ultimit tiang merupakan kombinasi dari daya dukung ujung dan gesekan dinding yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah non-kohefif [2]. Variasi dimensi tiang, seperti diameter dan panjang, berpengaruh terhadap distribusi beban serta deformasi tanah. Misalnya, metode Vesic banyak digunakan untuk memprediksi penurunan tiang pancang tunggal pada berbagai kondisi tanah [3].

Penelitian terdahulu umumnya memfokuskan pada kondisi tanah homogen atau hanya membandingkan metode analitis tanpa memperhatikan respons deformasi tanah yang kompleks. Penelitian ini mengangkat aspek yang belum banyak dikaji, yaitu analisis kombinasi daya dukung dan penurunan pada kondisi tanah berlapis (lunak–padat) dengan variasi diameter tiang pancang, menggunakan pendekatan gabungan antara metode analitis (Nakazawa, Vesic) dan metode numerik (elemen hingga). Metode elemen hingga dinilai mampu merepresentasikan interaksi antara tiang dan tanah secara lebih akurat, terutama pada kondisi tanah tidak seragam [4]. Penelitian dilakukan pada lokasi dengan kondisi tanah nyata berupa lapisan lempung dan lanau sangat lunak di permukaan, serta pasir cukup padat di kedalaman, yang mewakili kompleksitas tanah berlapis.

Dengan memvariasikan diameter tiang (0,8 m, 1,0 m, 1,2 m) pada kedalaman tetap 15 m, studi ini mengevaluasi perubahan daya dukung dan penurunan secara simultan. Pendekatan ini diharapkan memberikan kontribusi baru dalam memahami pengaruh dimensi tiang pada fondasi dalam di tanah berlapis, serta memberikan acuan desain yang lebih akurat dan efisien untuk proyek infrastruktur seperti jembatan.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian
Sumber : Penulis, 2025

Pengumpulan Data

Analisis Uji SPT

Dalam perencanaan fondasi tiang pancang, N-SPT yang digunakan bukan merupakan harga N-SPT yang secara langsung bersumber dari data lapangan. Akan tetapi, perlu dilakukan koreksi N-SPT terhadap metode lapangan (Skempton, 1986), koreksi N-SPT terhadap tekanan overburden, koreksi N-SPT terhadap muka air tanah (Terzaghi and Peck, 1948). Koreksi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai N-SPT yang merepresentasikan kondisi tanah aktual dan dapat digunakan dalam analisis geoteknik secara lebih akurat.

Koreksi N-SPT terhadap metode lapangan

Perhitungan koreksi terhadap metode lapangan menurut Skempton, 1986 [5]. sebagai berikut :

$$NI_{60} = \frac{E_H C_B C_S C_R N}{0,60} \dots\dots\dots (2.1)$$

Koreksi N-SPT terhadap tekanan overburden

perhitungan koreksi terhadap tekanan overburden sebagai berikut :

$$(N1)_{60} = CN \times N_{60} \leq 2N_{60} \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk mendapatkan nilai CN digunakan persamaan menurut Peck, 1974 [6] sebagai berikut:

Dimana nilai P'0 dalam satuan kN/m² atau kPa.

$$CN = 0,77 \log \left(\frac{2000}{P'_{0}} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Koreksi N-SPT terhadap tekanan muka air tanah

Perhitungan koreksi terhadap muka air tanah adalah sebagai berikut:

$$(N1)_{60(CORR)} = 15 + 1,2 [(N1)_{60} - 15] \dots\dots\dots (2.4)$$

Analisis Fondasi Tiang Tunggal

Daya Dukung Fondasi Tiang

Daya dukung tiang didapatkan dari penjumlahan daya dukung ujung dan daya dukung geser. Nilai daya dukung tiang tunggal untuk mengetahui kapasitas tiang dengan perbedaan diameter. Nilai dari daya dukung tiang menurut Nakazawa, 2000 [7] didapatkan dari persamaan berikut:

Tiang Pancang :

$$Ra = \frac{1}{n} \quad Ru = \frac{1}{n} (RP + RF) \dots\dots\dots (2.7)$$

Tabel 2. 1 Faktor Keamanan

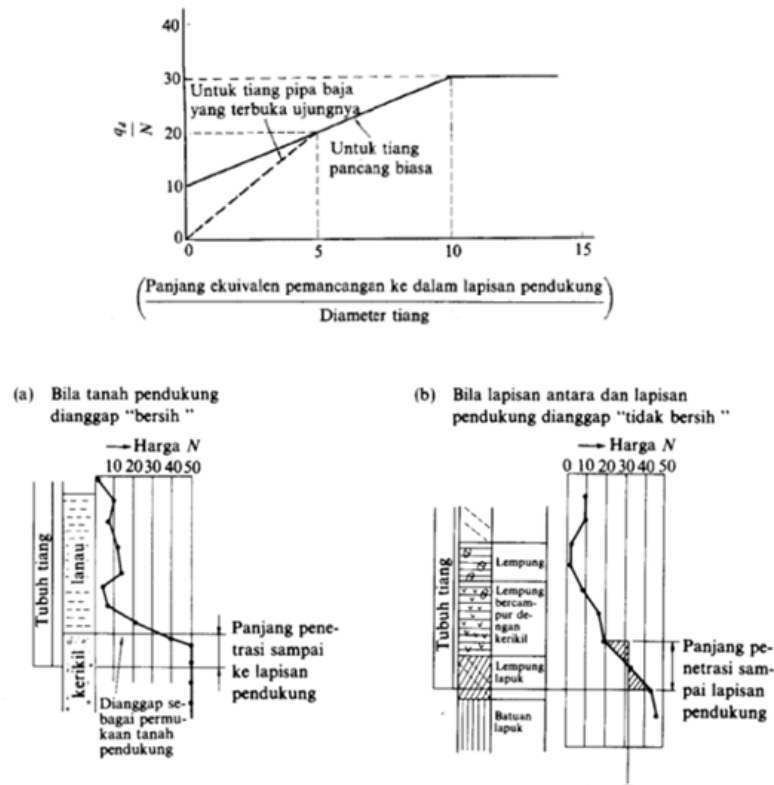
	Jembatan jalan raya		Jembatan kereta api	Konstruksi pelabuhan	
	Tiang pendukung	Tiang geser	-	Tiang pendukung	Tiang geser
Beban tetap	3	4	3	Lebih besar dari 2,5	
Beban tetap + Beban sementara	-	-	2	-	
Waktu gempa	2	3	1,5 (1,2)	Lebih besar dari 1,5	Lebih besar dari 2,0

Sumber : Nakazawa,2000 [7]

Nilai daya dukung batas (Ru) didapatkan dari persamaan berikut:

$$Ru = qd A + U \sum li fi \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :



Gambar 2. 2 panjang ekivalen penetrasi sampai ke lapisan pendukung

Sumber : Nakazawa,2000 [7]

Nilai daya dukung terpusat diperoleh dari hubungan antara L/D dan q_d/\bar{N} seperti yang terdapat pada gambar 3.3. L yang digunakan disini adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan tanah pendukung yang diperoleh dari gambar 3.4. D adalah diameter tiang yang digunakan. Sedangkan \bar{N} adalah harga rata-rata N pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana,

\bar{N} = Harga N rata-rata untuk perencanaan tanah fondasi diujung tiang

N_1 = Harga N pada ujung tiang

\bar{N}_2 = Harga rata-rata N pada jarak $4D$ dari ujung tiang

Penentuan Jumlah Kelompok Tiang

Perhitungan kebutuhan jumlah tiang yang digunakan pada 1 tiang kelompok dapat dihitung sebagai berikut :

$$n = \frac{P}{0,7 \times Q_{all}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Efisiensi Kelompok Tiang

Menggunakan Metode Converse-Labarre [8]:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\theta = \text{arc tg } D/S$$

Dengan syarat,

Daya dukung vertikal kelompok tiang > Gaya aksial yang terjadi.

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan syarat,

$E_g \times \text{jumlah tiang} \times \text{daya dukung ijin tiang} > \text{Gaya aksial yang terjadi.}$

Distribusi Beban Pada Tiang

Jika beban luar bekerja pada kelompok tiang adalah beban vertical sentries, maka beban yang bekerja pada setiap tiang adalah [9]:

$$Q_p = \frac{Q_v}{n} + \frac{M_y x}{\sum(x^2)} + \frac{M_x y}{\sum(y^2)} \dots\dots\dots (2.13)$$

Penurunan Tiang Tunggal

Perhitungan Penurunan Tiang untuk memastikan penurunan tiang yang terjadi masih tergolong aman sesuai dengan SNI 8460:2017, 2017 [10] Pendekatan analitis masih relevan dan banyak digunakan [11]. Persamaan yang digunakan dalam penurunan fondasi tiang tunggal menurut [12] adalah sebagai berikut:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana,

S = Penurunan tiang total

S₁ = Penurunan batang

S₂ = Penurunan akibat beban di ujung tiang

S₃ = Penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang tiang

Menentukan S₁

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk menentukan Q_{wp} yaitu 40% dari beban tiang tunggal dan Q_{ws} yaitu 60% dari beban tiang tunggal [13]

Modulus Young bahan tiang didapatkan dari mutu bahan yang digunakan.

Persamaan untuk nilai modulus Young adalah sebagai berikut:

$$E_p = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan,

f'_c = mutu bahan tiang yang dimana digunakan 30 Mpa

Nilai ξ tergantung pada unit tahanan gesek alami tiang yang didorong ke tanah.

Untuk bentuk elemen tahanan gesek alami adalah seragam atau simetris, seperti persegi panjang seragam atau parabola, umumnya pada tanah liat atau lanau, nilainya = 0,5. Sedangkan untuk pasir, nilai satuan tahanan imajiner alam = 0,67 berbentuk segitiga. [14]

Menentukan S2

$$S2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$q_p = Q_p \times A_p \dots\dots\dots (2.18)$$

Tabel 2. 2 Nilai Cp

Jenis tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (padat ke lepas)	0,02-0,04	0,09-0,18
Lempung (kaku ke lunak)	0,02-0,03	0,03-0,06
Lanau (padat ke lepas)	0,03-0,05	0,09-0,12

Sumber : Das,2004 [15]

Menentukan S3

$$S3 = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \dots\dots\dots (2.19)$$

sumber : Vesic, 1977 [12]

$$C_s = \left(0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) \times C_p \dots\dots\dots (2.20)$$

Penurunan Tiang Tunggal Metode Elemen Hingga

Simulasi penurunan fondasi tiang tunggal dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (FEM) untuk menganalisis respons tanah terhadap beban vertikal. Proses ini melibatkan beberapa tahapan utama:

1. Pemodelan Geometri: Membuat model tanah berlapis dan fondasi tiang tunggal sesuai kondisi lapangan.
2. Pendefinisian Material: Menginput parameter tanah dan material tiang berdasarkan data investigasi geoteknik.
3. Pemberian Beban Aksial: Menempatkan beban vertikal pada kepala tiang sesuai kondisi rencana.
4. Proses Simulasi: Menjalankan simulasi secara bertahap (*staged construction*) untuk memperoleh distribusi tegangan dan penurunan.

Komparasi Hasil Penurunan

Untuk mengetahui nilai perbedaan antara penurunan dengan metode analitis dan penurunan berbasis *finite element method*, digunakan persamaan rasio perbedaan sebagai berikut:

$$\text{Rasio perbedaan} = \frac{Y-X}{Y} \times 100\% \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan,

Y = Nilai penurunan perhitungan analitis

X = Nilai penurunan berbasis FEM

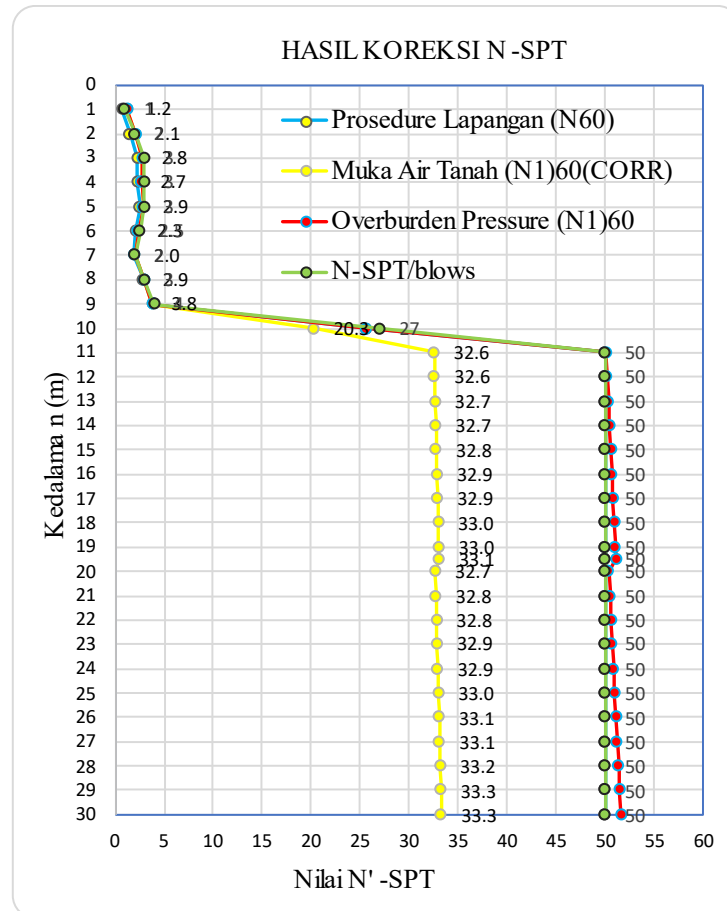
Penurunan Tiang Kelompok

$$S_g = S \sqrt{\frac{B}{D}} \dots\dots\dots (2.22)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Uji SPT

Hasil Perhitungan koreksi N-SPT terhadap metode lapangan, perhitungan koreksi terhadap tekanan overburden, dan Perhitungan koreksi terhadap muka air tanah di ilustrasi dengan kedalaman tiang pancang dengan nilai N'SPT ditunjukkan dengan gambar 3.1 berikut :



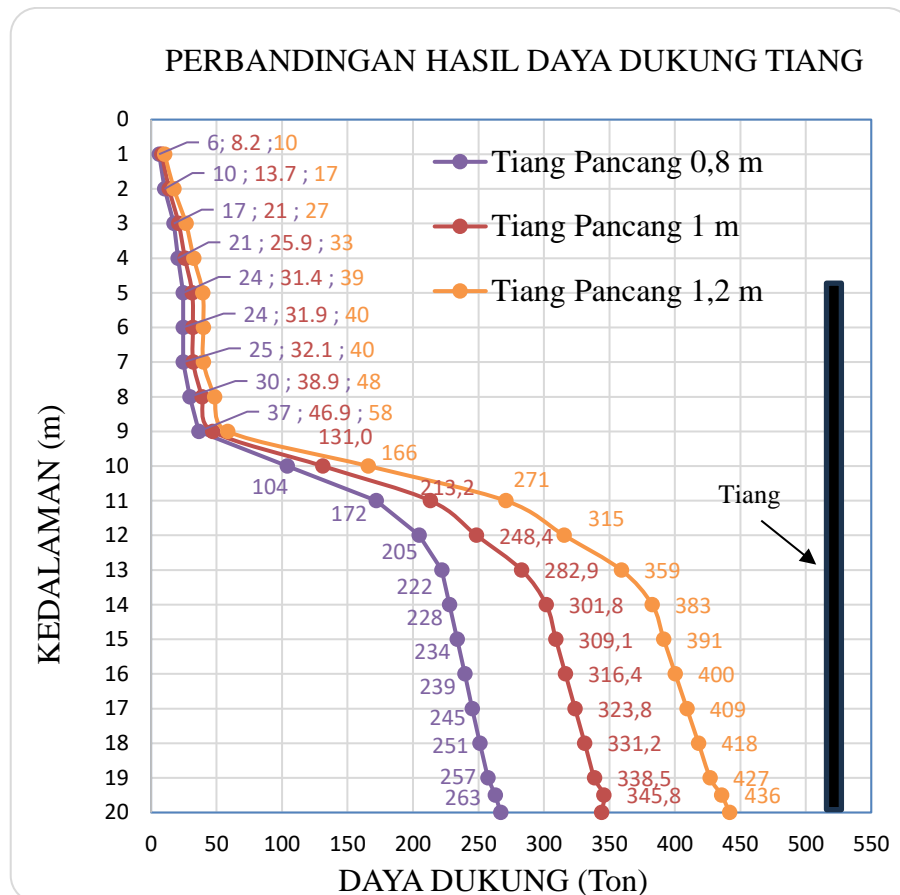
Gambar 3. 1 Grafik N'SPT dan Tiang Pancang

Sumber : Penulis, 2025

Gambar menunjukkan hasil koreksi data N-SPT terhadap muka air tanah dan tekanan overburden hingga diperoleh nilai akhir yang digunakan dalam analisis. Pada kedalaman 0–10 meter, nilai N-SPT rendah (1,2–3,8) mengindikasikan lapisan lempung dan lanau sangat lunak dengan daya dukung rendah. Di bawah 11 meter, nilai N-SPT maksimum (50) dan hasil koreksi 32,6–33,3 menunjukkan lapisan pasir padat yang lebih stabil dan cocok untuk mendukung fondasi. Hasil ini menegaskan perbedaan vertikal karakteristik tanah di lokasi studi.

Daya dukung tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang tunggal di hitung menggunakan metode nakazawa persamaan rumus 2.7 dan didapat hasil yang di ilustrikan pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3. 2 Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Variasi Dimensi
Sumber : Penulis, 2025

Berdasarkan Gambar 3.2, daya dukung izin tiang pancang meningkat seiring bertambahnya diameter. Pada diameter 0,8 m diperoleh 263 ton, diameter 1,0 m sebesar 345,79 ton, dan diameter 1,2 m sebesar 435,7 ton. Peningkatan dari 0,8 m ke 1,0 m menghasilkan kenaikan daya dukung sekitar 31,5%, sementara dari 0,8 m ke 1,2 m mencapai 65,7%. Kenaikan ini disebabkan oleh bertambahnya luas penampang ujung dan selimut tiang, yang meningkatkan distribusi beban serta daya dukung akibat gesekan tanah secara signifikan.

Penentuan Jumlah Tiang

Penentuan jumlah tiang pada masing-masing tipe dipengaruhi oleh P_u yang diterima dan beban izin tanah. Nilai beban struktur yang diterima diperoleh dari *output* SAP2000 yang didapatkan pada data sekunder sebagai hasil reaksi kolom yang akan ditopang oleh fondasi. Untuk beban struktur yang diterima pada abutment adalah 6770,33 ton. Berikut contoh perhitungan jumlah pada tiang diameter 0,8 m [16] :

$$n = \frac{P}{0,7 * R_a}$$

$$n = \frac{6770,33}{0,7 * 262,876}$$

$$n = 36,79$$

Jadi, jumlah tiang berdasarkan pembulatan untuk tipe diameter 0,8 m adalah $37 \approx 52$ dengan mempertimbangkan jarak maksimum antar tiang dengan lebar pilecap serta mempertimbangkan persebaran gaya p maksimum pada tiang Tunggal. Untuk penentuan jumlah tiang berdasarkan n pembulatan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel Hasil Perhitungan Jumlah Tiang

Tipe Tiang	Pu	Diameter	Rf	Rp	Ru	Ra	n	n pakai
	(ton)	(m)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)		
Pancang 0,8 M	6770.33	0,8	228	561	788.63	262.88	36.79	52
Pancang 1 M	6770.33	1	285	752	1037.36	345.79	27.97	33
Pancang 1,2 M	6770.33	1,2	342	965	1307.09	435.70	22.20	24

Sumber: Penulis, 2025

Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Diketahui:

$$R_a = 262,88 \text{ ton (Tabel 3.1)}$$

$$P = 6770,33 \text{ ton (Tabel 3.1)}$$

$$n = 52 \text{ tiang}$$

$$d = 0,8 \text{ m (Tabel 3.1)}$$

$$s = 2,178 \text{ m}$$

Jarak antar tiang berdasarkan SNI 8460:2017 2017 [10] diisyaratkan dengan persamaan:

$$S \geq 2,5D$$

$$S = 2,5D, \text{ maka } S = 2 \times 0,8 = 1,6 \text{ m (memenuhi)}$$

$$m = 4 \text{ (jumlah baris)}$$

$$n = 13 \text{ (jumlah tiang dalam 1 baris) Maka efisiensi tiang kelompok adalah}$$

$$\theta = \arctg \frac{0,8}{2,178}$$

$$\theta = 20.17^\circ$$

$$E_g = 1 - 20.17 \frac{(13-1)4 + (4-1)13}{90.4.13}$$

$$E_g = 0,993$$

Daya dukung izin kelompok tiang:

$$Q_g = 52 \times 262,88 \times 0,993$$

$$Q_g = 13580,10 \text{ ton}$$

$$Q_g > P_u$$

$$13580,10 \text{ ton} > 6770 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

Tabel 3. 2 Kapasitas Dukung Ultimit Kelompok Tiang

Tipe Tiang	n tiang	θ	Eg	Qg	Qv	Kontrol Qg > Qv
				(ton)	(ton)	
Pancang 0,8 M	52	20.17	0.993	13580.10	6770.33	OK
Pancang 1 M	33	21.54	0.993	11335.90	6770.33	OK
Pancang 1,2 M	24	18.90	0.994	10397.66	6770.33	OK

Sumber: Penulis, 2025

Tabel 3. 3 Perhitungan Distribusi beban pada tiang (Pmaks)

Tipe Tiang	n tiang	θ	Eg	No. Pile	x	y	P maks	RA	Kontrol
					(m)	(m)	(ton)	(ton)	
Pancang 0,8 M	52	20.17	0.993	13	14.37	3.00	156.89	262.88	OK
Pancang 1 M	33	21.54	0.993	12	13.89	2.80	227.49	345.79	OK
Pancang 1,2 M	24	18.90	0.994	7	13.40	2.60	338.06	435.70	OK

Sumber: Penulis, 2025

Perhitungan penurunan tiang Tunggal

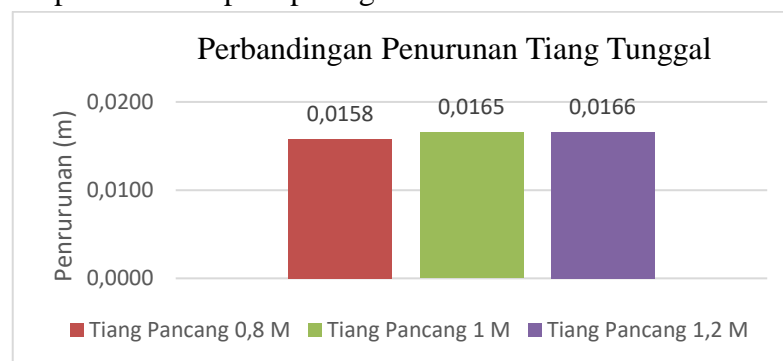
Perhitungan penurunan tiang tunggal di perhitungkan menggunakan rumus persamaan 2. 16, 2. 18, 2. 20 dengan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut :

Tabel 3. 4 Hasil Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal Pada Variasi Dimensi Tiang

Tipe	Ap	Qwp	Qws	Qp	S1	S2	S3	S Total	S ijin	Kontrol
	m2	ton	ton	Ton	m	m	m	m	m	
Pancang 0,8 M	0.50	62.75	94.13	561.0	0.0019	0.0056	0.0083	0.0158	0.08	OK
Pancang 1 M	0.78	98.47	136.5	752.9	0.0017	0.0052	0.0096	0.0165	0.10	OK
Pancang 1,2 M	1.13	135.2	202.8	965.8	0.0016	0.0047	0.0104	0.0166	0.12	OK

Sumber: Penulis, 2025

Perbandingan penurunan tiang tunggal yang terjadi dengan perbedaan diameter didapatkan hasil penurunan seperti pada gambar 3.3 berikut :



Gambar 3. 3 Grafik Perbandingan Penurunan Tiang Tunggal

Sumber: Penulis, 2025

Hasil perbandingan menyatakan bahwa pengaruh besar diameter dapat memengaruhi hasil penurunan tiang Tunggal. Semakin besar seperti yang dapat dilihat pada diameter 0,8m terjadi penurunan sebesar 0,0158 m sedangkan pada variasi diameter 1m didapatkan

hasil 0,0165m. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Gobel et al., 2024 [17] yang menyatakan bahwa variasi diameter tiang secara signifikan memengaruhi besarnya penurunan pondasi, di mana semakin besar diameter tiang, distribusi beban ke tanah juga berubah sehingga mempengaruhi nilai penurunan yang terjadi.

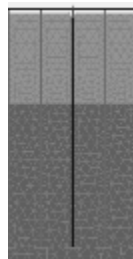
Penurunan Tiang Tunggal Metode Elemen Hingga

Hasil permodelan dari lapisan struktur tanah dan fondasi tiang tunggal pada perangkat lunak berbasis FEM ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.



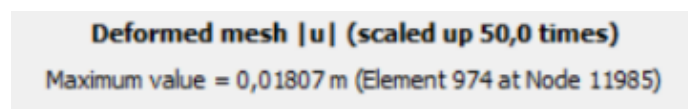
Gambar 3. 4 Hasil Simulasi Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Berbasis FEM
Sumber : Penulis, 2025

Setelah model selesai dibuat, beban tiang tunggal diletakkan arah vertikal tepat diatas fondasi. Hasil dari simulasi penurunan fondasi tiang tunggal dengan diameter 0,8 m ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Hasil Simulasi Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Berbasis FEM
Sumber : Penulis, 2025

Hasil simulasi penurunan tiang tunggal menggunakan metode elemen hingga mempunyai nilai maksimal 0,01807 m yang ditunjukkan pada gambar 3. 6 berikut:



Gambar 3. 6 Hasil Simulasi Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Berbasis FEM
Sumber : Penulis, 2025

Hasil tersebut sesuai dengan batas penurunan yang diizinkan dari AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, yang menyatakan bahwa penurunan fondasi pada jembatan maksimum senilai 50 mm atau 0,05 m [18]

Komparasi Hasil Penurunan Tiang Tunggal

$$\begin{aligned}\text{Rasio perbedaan} &= \frac{0,0158-0,0180}{0,0158} \times 100\% \\ &= 0,12 \%\end{aligned}$$

Komparasi dari hasil penurunan antara metode analitis dan metode elemen hingga (FEM) di dapat rasio perbedaan 0,12 %. Dari rasio yang menunjukkan nilai deviasi yang cukup kecil maka dinyatakan bahwa penggunaan metode elemen hingga dapat membantu memperkirakan penurunan yang terjadi pada tiang fondasi dalam. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ningsih A [19] yang menunjukkan nilai perbedaan yang tidak terlalu besar.

Penurunan Tiang Kelompok

Berdasarkan kondisi tanah Pada 2/3 L tiang merupakan tanah dengan karakteristik pasir maka penurunan yang terjadi ialah hanya penurunan segera tanpa penurunan konsolidasi.

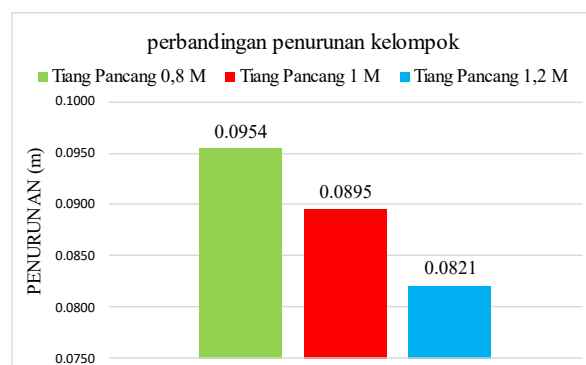
Penurunan segera

$$\begin{aligned}S_g &= S \sqrt{\frac{B}{D}} \\ S_g &= 0,0158 \sqrt{\frac{29,337}{0,8}} \\ S_g &= 0,0954 \text{ m}\end{aligned}$$

Tabel 3. 5 Hasil Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok Pada Variasi Dimensi Tiang

Tipe	S Total	B	D	Sg
	m	m	m	m
Tiang Pancang 0,8 M	0.0158	29,337	0,8	0.0954
Tiang Pancang 1 M	0.0165	29,337	1	0.0895
Tiang Pancang 1,2 M	0.0166	29,337	1,2	0.0821

Sumber: Penulis, 2025



Gambar 3. 7 Grafik Perbandingan Penurunan Kelompok

Sumber: Penulis, 2025

Hasil perbandingan menyatakan bahwa deviasi yang terjadi terbesar pada tiang pancang dengan diameter 1,2 m dengan deviasi 1,33 cm dengan nilai penurunan tiang pancang 0,8 m, hal ini dapat di simpulkan berdasarkan nilai penurunan tiang tunggal di

atas dengan semakin besar diameter maka hasil penurunan tiang kelompok juga semakin berkurang. Sesuai dengan SNI 8460:2017, 2017 [10] penurunan izin $< 15 \text{ cm} + b/600$ (b dalam satuan cm) maka penurunan dinyatakan aman.

4. KESIMPULAN

Perhitungan daya dukung fondasi menggunakan metode Nakazawa menunjukkan bahwa diameter tiang berpengaruh signifikan terhadap kapasitas dukung akhir, di mana tiang dengan diameter 1,2 meter menghasilkan daya dukung tertinggi sebesar 435,7 ton, dibandingkan dengan diameter 1,0 meter sebesar 345,79 ton dan diameter 0,8 meter sebesar 262,88 ton. Selain itu, perhitungan penurunan tiang tunggal dengan metode Vesic mengindikasikan bahwa semakin besar diameter tiang, maka penurunan tiang tunggal juga semakin besar. Namun, untuk fondasi kelompok, penurunan cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya diameter tiang karena distribusi tegangan ke tanah menjadi lebih luas dan pemanfaatan tanah keras di kedalaman lebih efektif. Komparasi antara hasil penurunan yang diperoleh dari metode analitis dan metode elemen hingga (FEM) menunjukkan perbedaan rasio yang sangat kecil, yaitu 0,12%, yang mengindikasikan bahwa kedua metode tersebut memiliki tingkat akurasi tinggi dan dapat diandalkan untuk aplikasi rekayasa. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa perbedaan kecil dalam hasil analisis dapat dianggap aman dan valid untuk digunakan dalam perencanaan pondasi tiang [20]

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar dalam perencanaan fondasi tiang diperhatikan pemilihan diameter tiang yang tepat untuk mengoptimalkan kapasitas daya dukung dan meminimalkan penurunan fondasi. Penggunaan diameter tiang yang lebih besar perlu disesuaikan dengan kondisi tanah dan konfigurasi kelompok tiang agar distribusi beban dapat berlangsung efektif. Selain itu, metode pemasangan seperti pre-boring dapat dipertimbangkan sebagai alternatif untuk meningkatkan efisiensi pelaksanaan dan mengurangi risiko penurunan berlebih, khususnya pada tanah dengan karakteristik tertentu. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji secara mendalam pengaruh variasi dimensi tiang, metode pemasangan, dan kondisi tanah yang beragam terhadap daya dukung dan penurunan fondasi, sehingga dapat menghasilkan rekomendasi desain yang lebih akurat dan efisien.

5. REFERENSI

- [1] M. SIDIK. (2022). “Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Nilai Standard Penetration Test (Spt) Pada Proyek Jembatan Sicanang, Kec. Medan Belawan,” Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- [2] L. Fitriyana, M. F. Ni’Am, M. M. M. Jabra, and E. R. Mulya. (2024). “Heave in the Soil due to Driving Pile Foundations,” in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Institute of Physics. doi: 10.1088/1755-1315/1321/1/012036.
- [3] D. Novandro and A. Kawanda. (2023). “Analisis Keandalan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Metode Dinamik Terhadap Uji Beban Statik Reliability

-
- Analysis Of Dynamic Method Driven Pile Foundation Bearing Capacity Against Static Load Test”.
- [4] S. Bildik and H. Tanrıöver. (2023). “Numerical Investigation of the Pile–Soil Interaction Problem under Dynamic Loads,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 21, p. 11653, doi: 10.3390/app132111653.
- [5] A. W. Skempton. (1986). “Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation,” *Géotechnique*, vol. 36, no. 3, pp. 425–447, doi: 10.1680/geot.1986.36.3.425.
- [6] B. R. Peck. (1974). “Foundation Engineering Second Edition”.
- [7] Nakazawa. (2000). “Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi”.
- [8] A. Gazali et al. (2021). “Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Tiang Pancang Berdasarkan Data N-Spt (Studi Kasus : Dermaga Mesjid Sultan Suriansyah Kota Banjarmasin)”.
- [9] M. Musa et al. (2021). “Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang Dengan Tiang Bor Pada Gedung Kuliah Politeknik Negeri Madiun”.
- [10] SNI 8460:2017. (2017). “” Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan perancangan geoteknik”, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [11] A. Aditya Prabowo, D. Adytia Pratama, and P. Agung Maha Agung. (2019). “Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta”.
- [12] Vesic. (1977). “Design Of Pile Foundations NCHRRP Synthesis of Practice. No. 42 Transportation Research Board. Washington D. C”.
- [13] M. Ridar and A. Khatib. (2015). “Tinjauan Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Sumuran Di Pemuda City Walk Di Jl. Pemuda Pekanbaru Propinsi Riau”.
- [14] M. Muhshi, A. Ika Putra, and S. Agus Nugroho. (2020). “Pemetaan Penurunan Elastis Fondasi Tiang Berdasarkan Data Sondir Kota Pekanbaru”.
- [15] B. M. Das. (2004). “Mekanika Tanah Jilid 2 Braja M Das Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis”.
- [16] F. R. Meiliana, D. P. Solin, and H. Farichah. (2023). “Analisis Mitigasi Desakan Akibat Pemancangan Pada Gedung Workshop Upn ‘Veteran’ Jawa Timur,” *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, vol. 6, no. 3 , doi: 10.24815/jarsp.v6i3.33442.
- [17] F. Gobel, R. R. I. Legrans, and J. H. Ticoh. (2024). “Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Pada Pekerjaan Transmisi Line 150 kV PLTS Terapung PT. PJB Masdar Solar Energi”.
- [18] M. Yasir, Z. Hasibuan, E. Maulani, and Y. Chandra. (2024). “Pengaruh Penambahan Variasi Beban Terhadap Penurunan Pondasi Tiang Pancang: Studi Kasus Jembatan Aek Pardamean Baru Kabupaten Mandailing Natal”.
- [19] A. A. Ningsih and A. A. Setiawan. (2023). “Perbandingan Penurunan Elastis Fondasi Tiang Pancang dengan Menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Komposit*, vol. 7, no. 2, pp. 145–150, doi: 10.32832/komposit.v7i2.13757.
- [20] A. A. Ningsih and A. A. Setiawan. (2023). “Perbandingan Penurunan Elastis Fondasi Tiang Pancang dengan Menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Komposit*, vol. 7, no. 2, pp. 145–150, doi: 10.32832/komposit.v7i2.13757.
-