

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG BERDASARKAN KEDALAMAN PONDASI (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG EDUPRENEUR CENTER UNIVERSITAS AIRLANGGA KAMPUS B)

Fery Dwi Purnomo*, Laily Endah Fatmawati

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya, Indonesia

*Penulis korespondensi: ferydwi39@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang berdasarkan kedalaman pondasi pada proyek Pembangunan Gedung *Edupreneur Center* Universitas Airlangga Kampus B, sebagai bagian dari pengembangan kawasan pendidikan perkotaan. Dua tipe pondasi dianalisis, yaitu MiniPile 400×400 mm pada kedalaman 23,00 m dan Bored Pile Ø400 mm pada kedalaman 45,00 m, termasuk konfigurasi kombinasi keduanya. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa hasil *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Pile Driving Analyzer* (PDA). Analisis kapasitas daya dukung dilakukan menggunakan metode empiris Meyerhof (1976) dan Vesic (1977), sedangkan penurunan tiang dihitung menggunakan metode Vesic dan divalidasi melalui pemodelan numerik PLAXIS 3D V24. Pendekatan ini penting dalam konteks perencanaan wilayah dan kota untuk memastikan bahwa pembangunan gedung bertingkat di kawasan perkotaan dapat berlangsung secara aman, efisien, dan berkelanjutan tanpa menimbulkan gangguan terhadap infrastruktur dan bangunan di sekitarnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya dukung ultimit MiniPile pada kedalaman 23,00 m berada pada kisaran 1.054–1.203 kN, dengan penurunan yang masih berada dalam batas izin. Sementara itu, daya dukung Bored Pile Ø400 mm pada kedalaman 45,00 m meningkat signifikan hingga 4.327–5.237 kN akibat kontribusi dominan gesekan selimut dan tahanan ujung pada lapisan pasir padat. Uji PDA memberikan kapasitas dominan RX5 sebesar 246–472 ton, yang lebih representatif untuk tiang prestressed, serta menunjukkan nilai penurunan maksimum (DMX) sebesar 7–15 mm. Hasil pemodelan PLAXIS 3D menunjukkan penurunan yang sebanding dengan perhitungan analitis dan masih berada dalam batas aman. Hasil perbandingan mengindikasikan bahwa metode Meyerhof memberikan nilai yang lebih konservatif, sedangkan metode Vesic menghasilkan kapasitas yang lebih mendekati kondisi lapangan. Integrasi metode empiris, uji PDA, dan analisis numerik memberikan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja pondasi. Secara spasial dan perencanaan, hasil penelitian ini mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan kawasan perkotaan, khususnya dalam penentuan tipe dan kedalaman pondasi yang optimal untuk bangunan pendidikan di lingkungan perkotaan dengan keterbatasan lahan dan kondisi tanah lunak. Penelitian ini menegaskan bahwa peningkatan kedalaman pondasi berpengaruh signifikan terhadap daya dukung dan kontrol penurunan, serta pentingnya verifikasi lapangan untuk menjamin keandalan desain geoteknik dalam mendukung pembangunan kota yang aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: daya dukung tiang pancang, penurunan pondasi, N-SPT, PDA, PLAXIS 3D

1 PENDAHULUAN

Pondasi berfungsi menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah dengan kapasitas dukung yang memadai sebagai dasar keselamatan dan keberlanjutan pembangunan di kawasan perkotaan. Pada wilayah dengan kondisi tanah permukaan lunak, yang umumnya dijumpai

pada kawasan hasil pengembangan atau daerah dataran aluvial perkotaan, penggunaan pondasi dalam seperti tiang pancang dan bored pile menjadi kebutuhan utama untuk menjangkau lapisan tanah yang lebih padat. Hal ini penting untuk mencegah penurunan berlebih dan kegagalan struktur yang dapat berdampak terhadap fungsi bangunan serta lingkungan binaan di sekitarnya. Oleh karena itu, analisis daya dukung dan penurunan pondasi menjadi aspek krusial dalam perencanaan geoteknik yang terintegrasi dengan perencanaan wilayah dan kota.

MiniPile merupakan pondasi tiang pracetak berpenampang persegi yang dipasang dengan metode pemancangan menggunakan hammer sehingga menyebabkan pemadatan tanah di sekitar tiang dan meningkatkan interaksi tanah–tiang. Sementara itu Bored Pile merupakan pondasi tiang yang dibuat dengan metode pengeboran tanah kemudian diisi dengan beton bertulang sehingga prosesnya tidak menimbulkan getaran besar namun dapat menyebabkan gangguan pada tanah di sekitar lubang bor. Perbedaan metode tersebut menyebabkan mekanisme transfer beban dan kontribusi tahanan gesek selimut antara kedua jenis pondasi menjadi berbeda sehingga perlu dilakukan evaluasi komparatif terhadap kinerjanya.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas analisis daya dukung pondasi tiang menggunakan pendekatan empiris berbasis data *Standard Penetration Test* (SPT) maupun pendekatan numerik. Namun sebagian besar penelitian hanya menggunakan satu metode analisis atau hanya membandingkan hasil perhitungan dengan pengujian lapangan secara terbatas. Studi yang secara simultan membandingkan beberapa metode empiris dengan verifikasi pengujian lapangan serta analisis numerik masih relatif terbatas, khususnya pada kondisi tanah berlapis yang didominasi lempung lunak hingga kedalaman tertentu. Selain itu, kajian yang membandingkan secara langsung kinerja dua tipe pondasi yang umum digunakan pada proyek gedung bertingkat yaitu MiniPile dan Bored Pile juga masih jarang dilakukan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi tiga pendekatan analisis secara bersamaan, yaitu metode empiris berbasis data SPT menggunakan metode Meyerhof dan Vesic, verifikasi kapasitas daya dukung menggunakan uji lapangan *Pile Driving Analyzer* (PDA), serta analisis numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 3D. Selain itu penelitian ini juga membandingkan kinerja dua jenis pondasi dalam yaitu MiniPile dan Bored Pile dengan mempertimbangkan variasi kedalaman pondasi terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi.

Pada proyek Gedung *Edupreneur Center* Universitas Airlangga Kampus B, yang berlokasi di kawasan pendidikan dengan intensitas pemanfaatan lahan yang tinggi, kondisi tanah didominasi oleh lapisan lempung lunak hingga kedalaman sekitar 20 m, sedangkan lapisan pasir padat baru ditemui pada kedalaman yang lebih besar. Kondisi geoteknik tersebut secara langsung memengaruhi kinerja pondasi MiniPile pada kedalaman 23,00 m dan Bored Pile pada kedalaman 45,00 m, sehingga diperlukan evaluasi mendalam terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan berdasarkan variasi kedalaman pondasi. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang menggunakan metode Meyerhof dan Vesic, membandingkannya dengan hasil uji PDA, serta memvalidasi perilaku deformasi pondasi melalui pemodelan PLAXIS 3D sebagai bagian dari upaya mendukung perencanaan bangunan perkotaan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

2 METODE

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek Pembangunan Gedung Airlangga *Edupreneur Center* Universitas Airlangga Kampus B yang berlokasi di Jl. Airlangga No. 4–6, Surabaya, dengan fokus analisis pada kondisi tanah dan perencanaan pondasi di lokasi tersebut. Lokasi penelitian berada di kawasan Surabaya Timur pada koordinat sekitar 7°16' LS dan 112°45' BT. Secara geologi regional wilayah ini tersusun oleh endapan aluvial muda yang didominasi oleh

lapisan lempung lunak hingga kedalaman tertentu yang kemudian diikuti oleh lapisan pasir padat pada kedalaman yang lebih besar.

2.2 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yaitu:

1. Analisis daya dukung pondasi hanya menggunakan metode empiris Meyerhoff dan Vesic berbasis data SPT.
2. Jenis pondasi yang dianalisis adalah MiniPile penampang 400×400 mm dan Bored Pile \varnothing 400 mm.
3. Analisis penurunan dilakukan menggunakan pendekatan teoritis serta pemodelan numerik menggunakan PLAXIS 3D.
4. Verifikasi kapasitas daya dukung dilakukan menggunakan data pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA).
5. Kondisi tanah dianggap homogen pada setiap lapisan berdasarkan hasil penyelidikan tanah.

2.3 Data Penelitian

Penyelidikan tanah dilakukan melalui 1 titik borehole dengan kedalaman pengeboran mencapai 45 m. Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dilakukan pada interval kedalaman tertentu untuk memperoleh nilai N-SPT yang digunakan sebagai dasar analisis daya dukung pondasi.

Data yang didapatkan untuk penelitian ini, antara lain:

1. Data Penyelidikan Tanah SPT (*Standard Penetration Test*)

Tabel 1. Kondisi dan Parameter Tanah Hasil SPT (*Standard Penetration Test*)

Kedalaman	Jenis Tanah	N - SPT Rerata	STRENGTH TEST			γ	Gs	e0	Sr
			TYPE	c	ϕ				
1 - 5	Lempung dan lanau, cokelat keabu-abuan, sedikit hingga berpasir, lunak	2	UU	0,15	9	1,50	2,55	2,08	99
5 - 17,5	Lempung dan lanau, abu-abu, sedikit pasir, sangat	< 1	UU	0,10	7	1,44	2,51	2,42	100
17,5 - 23	Pasir dan lanau, abu-abu, sedikit kerikil, sedikit	< 1	UU	0,12	5	1,45	2,52	2,39	100
23 - 30	Lempung dan lanau, abu-abu kecokelatan, sedikit hingga berpasir, sangat kaku hingga keras	> 50	QT	0,10	34	1,85	2,75	0,98	93
30 - 43	pasir dan lempung, abu-abu, sedikit lanau, sedang hingga padat	26							
43 - 45		39							

Sumber: (CV. Testana Engineering Boring Test, 2023)

- Nilai N-SPT dikompilasi per kedalaman berdasarkan laporan penyelidikan tanah.
- Parameter tanah dihitung melalui korelasi empiris (ϕ , Cu, γ , e, Gs, Sr).
- Data digunakan untuk perhitungan kapasitas ujung dan gesekan selimut.

2. Data uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)**Tabel 2.** Rekap Data Hasil Uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

Id Pile	RMX (Ton)	RX5 (Ton)	EMX (T . m)	DMX (mm)	DFN (mm)	BTA (%)
5C - 94	195	246	2,04	15	0	30
3A - 38	309	337	1,02	7	0	46
2D - 13	416	472	4,43	13	1	86
7B - 144	333	379	2,59	11	0	56

Sumber: (CV. Testana Engineering Pile Driving Analyzer, 2025)

- Data RX5 (nilai kapasitas daya dukung tiang maksimum), dan DMX (penurunan maksimum).
- Koreksi dilakukan berdasarkan standar ASTM D4945.
- Grafik respons gelombang dianalisis untuk mengidentifikasi transfer energi dan resistensi dinamis.

2.4 Prosedur Analisis Data

2.4.1 Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

Dihitung menggunakan dua metode, yaitu:

1. Meyerhoff (1976)

$$Q_p = q_p \cdot A_p = A_p \cdot N_q \cdot \sigma'_v \leq A_p \cdot ql \quad (1)$$

Keterangan:

A_p : Luas penampang ujung tiang (m^2)

$N_q \cdot$: Faktor daya dukung ujung (tergantung jenis tanah dan sudut geser dalam θ)

σ'_v : Tegangan vertikal efektif di ujung tiang (kN/m^2)

ql : perlawanan ujung tiang batas

2. Vesic (1977)

$$Q_p = q_p \cdot A_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot + \sigma'_0 \cdot N_q \cdot) \quad (2)$$

Keterangan:

A_p : Luas penampang ujung tiang (m^2)

c : Kohesi tanah pada ujung tiang (kN/m^2)

$N_c \cdot$: Faktor daya dukung tanah

σ'_0 : Tegangan efektif rerata dibagian bawah ujung tiang

$N_q \cdot$: Faktor daya dukung ujung (tergantung jenis tanah dan sudut geser dalam θ)

Metode Meyerhoff dan Vesic dipilih karena kedua metode tersebut merupakan pendekatan empiris yang banyak digunakan dalam perencanaan pondasi tiang berbasis data SPT. Metode Meyerhoff dikenal memberikan estimasi kapasitas yang relatif konservatif dan sederhana untuk aplikasi praktis, sedangkan metode Vesic mempertimbangkan mekanisme keruntuhan tanah yang lebih rinci sehingga dapat memberikan estimasi kapasitas daya dukung yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

2.4.2 Perhitungan Daya Dukung Geser Sisi (Q_s)

$$Q_s = \sum (p \cdot \Delta L \cdot f) \quad (3)$$

Keterangan:

- p : Keliling penampang tiang (m)
 ΔL : Kedalaman yang ditinjau (m)
 f : Perlawanan geser pada setiap lapisan tanah

Perlawanan Geser pada Pasir

$$f = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta \quad (4)$$

Keterangan:

- K : Koefisien tekanan tanah
 σ'_v : Tegangan vertikal efektif di ujung tiang (kN/m^2)
 δ : Sudut geser tiang dan tanah (untuk minipile $0,6\phi$; sedangkan boredpile $0,8\phi$)

Perlawanan Geser pada Lempung

$$f = \alpha \cdot C_u \quad (5)$$

Keterangan:

- α : Faktor adhesi / letakkan secara empiris (untuk minipile = $0,35$; sedangkan boredpile $0,60$)
 C_u : Kuat geser *undrained*

2.4.3 Perhitungan Daya Dukung Tiang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (6)$$

Keterangan:

- Q_{ult} : Daya dukung aksial total ultimit (kN)

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (7)$$

Keterangan:

- Q_{all} : Daya dukung izin tiang (kN)
 SF : Faktor keamanan

$$E_g = \left[1 - \frac{(n-1) \cdot D}{s} \right] \cdot \left[1 - \frac{(m-1) \cdot D}{s} \right] \quad (8)$$

Keterangan:

- E_g : Efisiensi kelompok tiang (kN)
 m : Jumlah baris
 n : Jumlah kolom
 D : Diameter tiang (m)
 s : Jarak antar tiang (m)

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_{ult} \quad (9)$$

- Q_g : Daya dukung kapasitas total kelompok tiang (kN)
 E_g : Efisiensi kelompok tiang (kN)
 n : Jumlah tiang
 Q_{ult} : Daya dukung aksial total ultimit (kN)

2.4.4 Perhitungan Penurunan Tiang

1. Penurunan Tiang Tunggal

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (10)$$

Keterangan:

- S : Penurunan total tiang tunggal (mm)
 S_1 : Penurunan batang tiang (mm)
 S_2 : Penurunan akibat beban di ujung tiang (mm)
 S_3 : Penurunan akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang (mm)

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} \quad (11)$$

$$S_2 = \frac{\left(\frac{Q_{wp}}{A_p}\right)D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (12)$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{pL}\right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (13)$$

Keterangan:

- Q_{wp} : Beban yang dipikul ujung tiang akibat beban kerja (kN)
 Q_{ws} : Beban yang dipikul selimut tiang akibat beban kerja (kN)
 L : Kedalaman yang ditinjau (m)
 A_p : Luas penampang ujung tiang (m²)
 E_p : Modulus elastisitas tiang pancang
 ξ : Koefisien distribusi tahanan kulit sepanjang tiang
 D : Diameter tiang (m)
 μ_s : Poisson rasio tanah
 I_{wp} : Faktor pengaruh = α_r
 E_s : Modulus elastisitas tanah di ujung tiang
 p : Keliling penampang tiang (m)

2. Penurunan Tiang Kelompok

$$\Delta S_c = \sum \Delta S_i \quad (14)$$

Keterangan:

- ΔS_c : Penurunan konsolidasi tiang kelompok (mm)

ΔS_i : Penurunan konsolidasi pada setiap lapisan tanah (mm)

$$\Delta S_p = \frac{q B}{E_s} (1 - \mu^2) I_s \quad (15)$$

$$\Delta S_i = \frac{Cc}{1 + e_0} H \times \log \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right) \quad (16)$$

Keterangan:

ΔS_p : Penurunan konsolidasi pada tanah pasir (mm)

q : Tekanan efektif pada dasar blok

B : Lebar blok (m)

E_s : Modulus elastisitas tanah di ujung tiang

μ_s : Poisson rasio tanah

I_s : *Influence Factor*

ΔS_i : Penurunan konsolidasi pada tanah lempung (mm)

Cc : Koefisien pemampatan

e_0 : Angka pori awal pada lapisan kedalaman yang dituju

H : Ketebalan lapisan kedalaman yang dituju (m)

σ_0 : Tegangan overburden pada lapisan kedalaman yang dituju

$\Delta\sigma$: Peningkatan tegangan efektif di tengah lapisan kedalaman yang dituju

$$S_{izin} = 10\% \times D \quad (17)$$

Keterangan:

S_{izin} : Penurunan pondasi yang diizinkan (mm)

D : Diameter tiang (m)

2.4.5 Analisis Numerik PLAXIS 3D

Analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS untuk mensimulasikan interaksi tanah struktur secara lebih rinci dan realistis. Pemodelan ini memperhatikan kondisi lapisan tanah, parameter properti material, serta konfigurasi dan kedalaman tiang sesuai kondisi lapangan. Hasil analisis berupa deformasi tiang, distribusi tegangan, serta respons dan perilaku tanah di sekitar tiang akibat pembebanan, yang digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja pondasi.

2.4.6 Analisis Statistik

$$\eta = \frac{Q_{all,eksisting}}{Q_{all,perhitungan}} \quad (18)$$

Keterangan:

η : Efisiensi antara perhitungan dan eksisting.

$Q_{all,eksisting}$: Daya dukung izin tiang berdasarkan eksisting

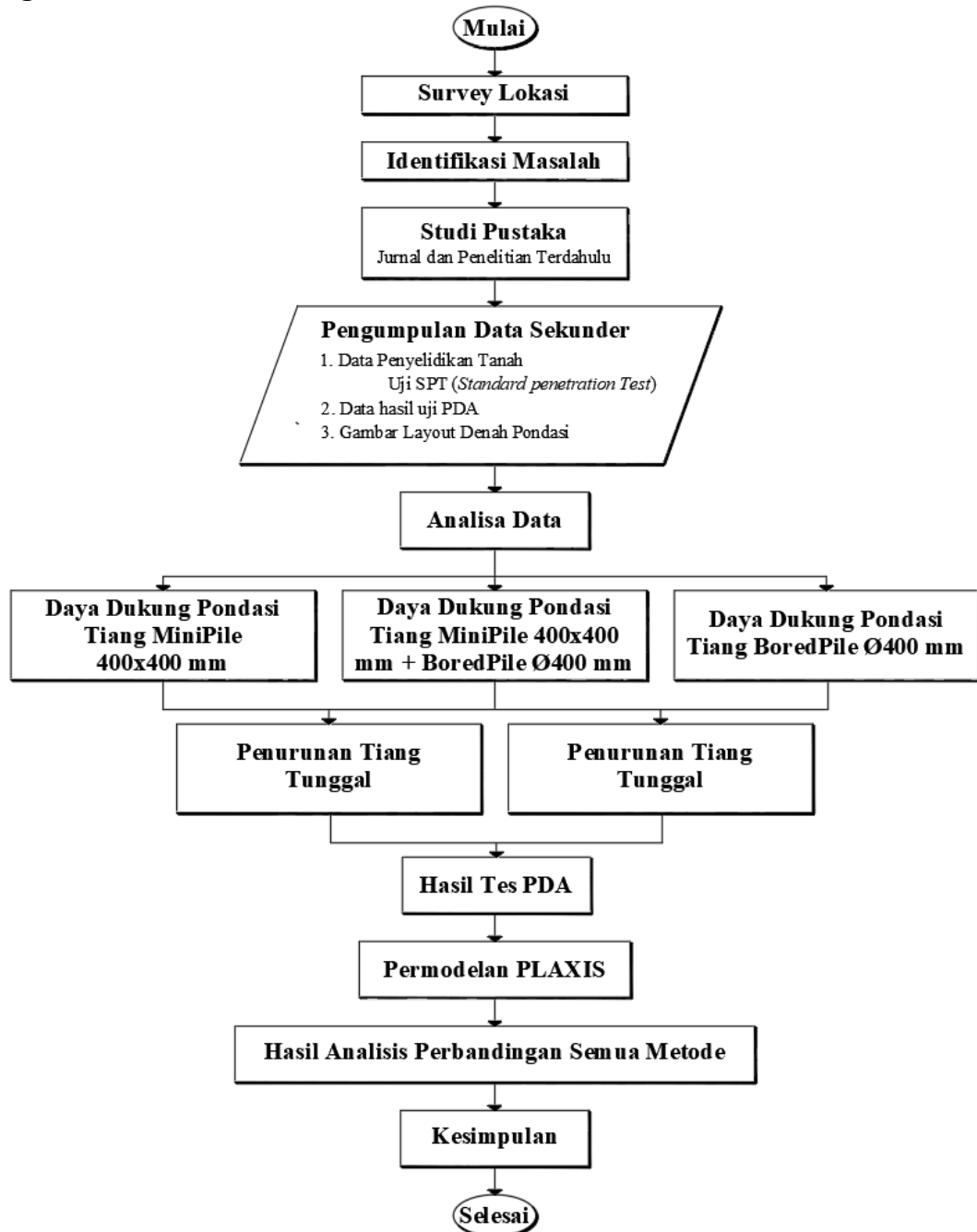
$Q_{all,perhitungan}$: Daya dukung izin tiang berdasarkan perhitungan

Tabel 3. Interpretasi nilai efisiensi desain pondasi

Nilai Efisiensi	Spesifikasi
$\eta < 0,50$	Interaksi sangat kuat
$0,50 < \eta < 0,80$	Memiliki kondisi normal di tanah lunak ; masih aman dengan FS sesuai standard
$0,80 < \eta < 1,00$	Efisiensi baik; pelaksanaan baik
$\eta > 1,00$	Kondisi lapangan lebih baik dari desain

Sumber: (Fellenius, 2001)

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian (Fery *et al.*, 2025)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daya Dukung Tiang MiniPile 400x400 mm Metode Meyerhoff

Tabel 4. Hasil Perhitungan Daya Dukung MiniPile Meyerhoff

Kedalaman (m)	Qp	Qs	ΣQs	Qult	Qizin	Qgroup
1,00	29,420	8,238	8,238	37,658	12,553	22,316
2,00	29,420	8,238	16,475	45,895	15,298	27,197
3,00	29,420	8,238	24,713	54,133	18,044	32,079
4,00	29,420	8,238	32,950	62,370	20,790	36,960
5,00	29,420	8,238	41,188	70,608	23,536	41,842
6,00	18,829	5,492	46,680	65,508	21,836	38,820
7,00	18,829	5,492	52,171	71,000	23,667	42,074
8,00	18,829	5,492	57,663	76,492	25,497	45,329
9,00	18,829	5,492	63,155	81,984	27,328	48,583
10,00	18,829	5,492	68,647	87,475	29,158	51,837
11,00	20,712	6,590	75,237	95,948	31,983	56,858
12,00	20,712	6,590	81,827	102,538	34,179	60,763
13,00	20,712	6,590	88,417	109,128	36,376	64,669
14,00	20,712	6,590	95,007	115,718	38,573	68,574
15,00	20,712	6,590	101,597	122,309	40,770	72,479
16,00	20,712	6,590	108,187	128,899	42,966	76,384
17,00	20,712	6,590	114,777	135,489	45,163	80,290
18,00	620,548	46,704	161,481	782,029	260,676	463,425
19,00	620,548	49,299	210,780	831,328	277,109	492,639
20,00	620,548	51,894	262,674	883,221	294,407	523,390
21,00	620,548	54,488	317,162	937,710	312,570	555,680
22,00	620,548	57,083	374,245	994,792	331,597	589,507
23,00	620,548	59,678	433,922	1054,470	351,490	624,871

Sumber: (Fery *et al.*, 2025)

Berdasarkan Tabel 4, perhitungan daya dukung tiang MiniPile 400 × 400 mm menggunakan metode Meyerhoff menunjukkan peningkatan kapasitas seiring bertambahnya nilai N-SPT. Pada kedalaman 23,00 m dengan nilai N-SPT rata-rata 25, diperoleh tahanan ujung (Qp) sebesar 620,548 kN dan tahanan gesek selimut (Qs) sebesar 433,922 kN, yang menunjukkan kontribusi signifikan dari kedua komponen terhadap kapasitas total tiang. Nilai daya dukung ultimit (Qult) pada kedalaman tersebut sebesar 1.054,470 kN, sedangkan daya dukung izin (Qizin) sebesar 351,490 kN dengan faktor keamanan 3.

Untuk kondisi kelompok tiang, nilai daya dukung kelompok (Qgroup) sebesar 624,871 kN, yang diperoleh menunjukkan peningkatan sejalan dengan kapasitas tiang tunggal, mencerminkan konsistensi antara parameter tanah berdasarkan N-SPT dan kapasitas pondasi yang dihitung.

3.2 Daya Dukung Tiang MiniPile 400x400 mm Metode Vesic

Tabel 5. Hasil Perhitungan Daya Dukung MiniPile Vesic

Kedalaman (m)	Qp	Qs	ΣQs	Qult	Qizin	Qgroup
1,00	23,399	8,238	8,238	31,637	10,546	18,748
2,00	26,567	8,238	16,475	43,042	14,347	25,507
3,00	28,151	8,238	24,713	52,863	17,621	31,326
4,00	29,734	8,238	32,950	62,684	20,895	37,146
5,00	31,317	8,238	41,188	72,505	24,168	42,966
6,00	23,254	5,492	46,680	69,933	23,311	41,442
7,00	24,445	5,492	52,171	76,616	25,539	45,402
8,00	25,635	5,492	57,663	83,299	27,766	49,362
9,00	26,826	5,492	63,155	89,981	29,994	53,322
10,00	28,017	5,492	68,647	96,664	32,221	57,282
11,00	27,617	6,590	75,237	102,854	34,285	60,951
12,00	28,659	6,590	81,827	110,486	36,829	65,473
13,00	29,701	6,590	88,417	118,118	39,373	69,996
14,00	30,743	6,590	95,007	125,750	41,917	74,518
15,00	31,785	6,590	101,597	133,382	44,461	79,041
16,00	32,827	6,590	108,187	141,014	47,005	83,564
17,00	33,868	6,590	114,777	148,645	49,548	88,086
18,00	361,513	46,704	161,481	522,994	174,331	309,922
19,00	386,130	49,299	210,780	596,910	198,970	353,724
20,00	410,746	51,894	262,674	673,420	224,473	399,064
21,00	435,363	54,488	317,162	752,525	250,842	445,940
22,00	459,980	57,083	374,245	834,224	278,075	494,355
23,00	484,596	59,678	433,922	918,518	306,173	544,307

Sumber: (Fery et al., 2025)

Berdasarkan Tabel 5, perhitungan daya dukung tiang MiniPile 400 × 400 mm menggunakan metode Vesic menunjukkan peningkatan kapasitas seiring bertambahnya nilai N-SPT. Pada kedalaman 23,00 m dengan nilai N-SPT rata-rata 25, diperoleh tahanan ujung (Qp) sebesar 484,596 kN dan tahanan gesek selimut (Qs) sebesar 433,922 kN, yang menunjukkan kontribusi signifikan dari kedua komponen terhadap kapasitas total tiang. Nilai daya dukung ultimit (Qult) pada kedalaman tersebut sebesar 918,518 kN, sedangkan daya dukung izin (Qizin) sebesar 306,173 kN dengan faktor keamanan 3.

Untuk kondisi kelompok tiang, nilai daya dukung kelompok (Qgroup) sebesar 544,307 kN, yang diperoleh menunjukkan peningkatan sejalan dengan kapasitas tiang tunggal, mencerminkan konsistensi antara parameter tanah berdasarkan N-SPT dan kapasitas pondasi yang dihitung.

3.3 Daya Dukung Tiang Boredpile Ø400 mm Metode Meyerhoff

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Dukung BoredPile Meyerhoff

Kedalaman (m)	Qp	Qs	ΣQs	Qult	Qizin	Qgroup
1,00	23,106	11,091	11,091	34,197	11,399	20,265
2,00	23,106	11,091	22,182	45,288	15,096	26,838
3,00	23,106	11,091	33,273	56,380	18,793	33,410
4,00	23,106	11,091	44,364	67,471	22,490	39,983
5,00	23,106	11,091	55,455	78,562	26,187	46,555
6,00	14,788	7,394	62,849	77,637	25,879	46,007
7,00	14,788	7,394	70,243	85,031	28,344	50,389
8,00	14,788	7,394	77,637	92,425	30,808	54,771
9,00	14,788	7,394	85,031	99,820	33,273	59,152
10,00	14,788	7,394	92,425	107,214	35,738	63,534
11,00	16,267	8,873	101,298	117,565	39,188	69,668
12,00	16,267	8,873	110,171	126,438	42,146	74,926
13,00	16,267	8,873	119,044	135,311	45,104	80,184
14,00	16,267	8,873	127,917	144,184	48,061	85,442
15,00	16,267	8,873	136,790	153,057	51,019	90,700
16,00	16,267	8,873	145,663	161,929	53,976	95,958
17,00	16,267	8,873	154,535	170,802	56,934	101,216
18,00	487,377	36,681	191,217	678,594	226,198	402,130
19,00	487,377	38,719	229,936	717,313	239,104	425,074
20,00	487,377	40,757	270,693	758,070	252,690	449,227
21,00	487,377	42,795	313,488	800,865	266,955	474,587
22,00	487,377	44,833	358,321	845,698	281,899	501,154
23,00	487,377	46,871	405,191	892,569	297,523	528,929

Sumber: (Fery *et al.*, 2025)

Berdasarkan Tabel 6, perhitungan daya dukung tiang Boredpile Ø400 mm menggunakan metode Meyerhoff menunjukkan peningkatan kapasitas seiring bertambahnya nilai N-SPT. Pada kedalaman 23,00 m dengan nilai N-SPT rata-rata 25, diperoleh tahanan ujung (Qp) sebesar 487,377 kN dan tahanan gesek selimut (Qs) sebesar 405,191 kN, yang menunjukkan kontribusi signifikan dari kedua komponen terhadap kapasitas total tiang. Nilai daya dukung ultimit (Qult) pada kedalaman tersebut sebesar 892,569 kN, sedangkan daya dukung izin (Qizin) sebesar 297,523 kN dengan faktor keamanan 3.

Untuk kondisi kelompok tiang, nilai daya dukung kelompok (Qgroup) sebesar 528,929 kN, yang diperoleh menunjukkan peningkatan sejalan dengan kapasitas tiang tunggal, mencerminkan konsistensi antara parameter tanah berdasarkan N-SPT dan kapasitas pondasi yang dihitung.

3.4 Daya Dukung Tiang Boredpile Ø400 mm Metode Vesic

Tabel 7. Hasil Perhitungan Daya Dukung MiniPile Vesic

Kedalaman (m)	Qp	Qs	ΣQs	Qult	Qizin	Qgroup
1,00	18,377	11,091	11,091	29,469	9,823	17,463
2,00	20,866	11,091	22,182	43,048	14,349	25,510
3,00	22,109	11,091	33,273	55,383	18,461	32,819
4,00	23,353	11,091	44,364	67,717	22,572	40,129
5,00	24,597	11,091	55,455	80,052	26,684	47,438
6,00	18,263	7,394	62,849	81,113	27,038	48,067
7,00	19,199	7,394	70,243	89,442	29,814	53,003
8,00	20,134	7,394	77,637	97,771	32,590	57,939
9,00	21,069	7,394	85,031	106,101	35,367	62,875
10,00	22,005	7,394	92,425	114,430	38,143	67,810
11,00	21,691	8,873	101,298	122,989	40,996	72,882
12,00	22,509	8,873	110,171	132,680	44,227	78,625
13,00	23,327	8,873	119,044	142,371	47,457	84,368
14,00	24,145	8,873	127,917	152,062	50,687	90,111
15,00	24,964	8,873	136,790	161,753	53,918	95,854
16,00	25,782	8,873	145,663	171,444	57,148	101,597
17,00	26,600	8,873	154,535	181,136	60,379	107,340
18,00	283,932	50,691	205,226	489,158	163,053	289,871
19,00	303,265	53,507	258,733	561,998	187,333	333,036
20,00	322,599	56,323	315,056	637,655	212,552	377,870
21,00	341,933	59,139	374,195	716,128	238,709	424,372
22,00	361,267	61,955	436,150	797,417	265,806	472,543
23,00	380,601	64,771	500,921	881,522	293,841	522,383

Sumber: (Fery et al., 2025)

Berdasarkan Tabel 7, perhitungan daya dukung tiang BoredPile Ø400 mm menggunakan metode Vesic menunjukkan peningkatan kapasitas seiring bertambahnya nilai N-SPT. Pada kedalaman 23,00 m dengan nilai N-SPT rata-rata 25, diperoleh tahanan ujung (Qp) sebesar 380,601 kN dan tahanan gesek selimut (Qs) sebesar 500,921 kN, yang menunjukkan kontribusi signifikan dari kedua komponen terhadap kapasitas total tiang. Nilai daya dukung ultimit (Qult) pada kedalaman tersebut sebesar 881,522 kN, sedangkan daya dukung izin (Qizin) sebesar 293,841 kN dengan faktor keamanan 3.

Untuk kondisi kelompok tiang, nilai daya dukung kelompok (Qgroup) sebesar 522,283 kN, yang diperoleh menunjukkan peningkatan sejalan dengan kapasitas tiang tunggal, mencerminkan konsistensi antara parameter tanah berdasarkan N-SPT dan kapasitas pondasi yang dihitung.

3.5 Analisis Hasil Perhitungan

Hasil analisis menunjukkan adanya tren peningkatan kapasitas daya dukung seiring bertambahnya kedalaman pondasi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai N-SPT pada lapisan tanah yang lebih dalam yang menunjukkan kondisi tanah yang lebih padat. Pada

kedalaman yang lebih besar kontribusi tahanan ujung dan gesekan selimut meningkat secara signifikan sehingga menghasilkan kapasitas daya dukung yang lebih besar.

3.6 Perbandingan Daya Dukung Tiang

3.6.1 Perbandingan dengan Hasil Uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

Berdasarkan tabel 2, nilai kapasitas daya dukung tiang terkecil pada notasi RX5 berada pada Id pile 5C – 94 sebesar 246 Ton \approx 2.451,148 kN. Langkah selanjutnya, lakukan efisiensi perbandingan antara eksisting (hasil uji PDA) dan perhitungan teoritis. Dikarenakan pada hasil uji PDA didapatkan nilai kapasitas daya dukung ultimit tiang, maka sebagai perbandingan diambil dari kapasitas daya dukung ultimit dari perhitungan teoritis.

Tabel 8. Perhitungan efisiensi perbandingan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan teoritis

Metode	Qult (kN)	RX5 (kN)	η
Minipile - Meyerhoff	1054,470	2451,148	2,325
Minipile - Vesic	918,518		2,669
Boredpile - Meyerhoff	892,568		2,746
Boredpile - Vesic	881,522		2,781

Sumber: (Fery *et al.*, 2025)

Berdasarkan tabel 8, nilai $\eta > 1,00$, sehingga kondisi lapangan lebih baik dibandingkan perhitungan teoritisnya. Selain itu, efisiensi perbandingan tersebut juga menunjukkan kondisi tanah lebih kuat ataupun desain terlalu konservatif.

Hasil pengujian PDA menunjukkan kapasitas daya dukung ultimit yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan teoritis. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan empiris yang digunakan dalam perencanaan cenderung konservatif sehingga memberikan faktor keamanan tambahan dalam desain pondasi.

3.6.2 Perbandingan dengan kondisi eksisting

Data eksisting pada perencanaan menggunakan dua metode, yaitu L'Decourt dan Reese & Wright. Didapatkan nilai pada kedalaman 23,00 sebagai berikut:

Tabel 9. Perhitungan efisiensi perbandingan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan teoritis

Metode	Qp (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Qizin (kN)
<i>L'Decourt Formula</i>				
Spunpile D50 cm	2.504,26	935,92	3.440,18	1.146,73
Spunpile D60 cm	3.606,08	1.123,14	4.729,22	1.576,41
<i>Reese and Wright Formula</i>				
Boredpile D60 cm	685,52	736,34	1.421,87	473,96
Boredpile D80 cm	1.219,60	981,46	2.201,05	733,68

Sumber: (CV. Testana Engineering, 2025)

Untuk perbandingan kondisi eksisting pada tabel 9 diambil nilai terkecil yaitu pada tiang Boredpile D60 pada metode Reese and Wright. Sehingga kondisi eksisting untuk perhitungan

selanjutnya menggunakan nilai boredpile D60 cm, berikut merupakan perbandingan semua metode yang didapatkan:

Tabel 10. Rekapitulasi perbandingan hasil analisis dengan kondisi eksisting

Metode	Qp (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Qizin (kN)	Qgroup (kN)	η
Minipile - Meyerhoff	620,55	433,92	1.054,47	351,49	624,87	1,35
Minipile - Vesic	484,60	433,92	918,52	306,17	544,31	1,55
Boredpile - Meyerhoff	487,38	405,19	892,57	297,52	528,93	1,59
Boredpile - Vesic	380,60	500,92	881,52	293,84	522,38	1,61
Kondisi Eksisting	685,52	736,34	1.421,86	473,95		

Sumber: (Fery et al., 2025)

Berdasarkan Tabel 10, nilai efisiensi perbandingan antara kondisi eksisting dan hasil perhitungan teoritis menunjukkan $\eta > 1,00$, yang menandakan bahwa kapasitas daya dukung lapangan lebih besar dibandingkan hasil perhitungan teoritis sehingga desain pondasi cenderung konservatif. Nilai Qizin terbesar diperoleh pada metode Meyerhoff untuk minipile 400×400 mm, sedangkan Qizin terkecil diperoleh pada metode Vesic untuk bored pile Ø400 mm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa metode analisis dan tipe pondasi memberikan pengaruh signifikan terhadap besarnya kapasitas daya dukung izin yang diperoleh.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa Bored Pile dengan kedalaman 45 m memiliki kapasitas daya dukung yang jauh lebih besar dibandingkan MiniPile dengan kedalaman 23 m. Hal ini disebabkan oleh panjang tiang yang lebih besar serta penetrasi pondasi hingga mencapai lapisan tanah pasir padat yang memiliki nilai N-SPT tinggi sehingga meningkatkan kontribusi tahanan ujung dan gesekan selimut.

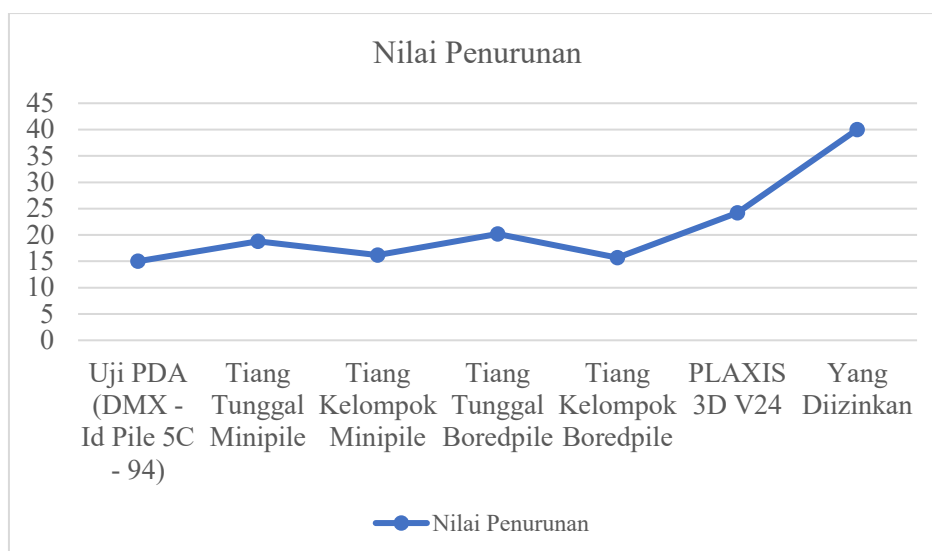
3.7 Perbandingan Nilai Penurunan

Nilai penurunan berdasarkan uji PDA diperoleh dari parameter DMX pada Tabel 2, dengan penurunan maksimum sebesar 15,00 mm pada ID Pile 5C–94 yang digunakan sebagai representasi kondisi lapangan. Selanjutnya, hasil penurunan dari uji PDA, pemodelan numerik PLAXIS, dan perhitungan teoritis direkapitulasi dalam Tabel 11 untuk memudahkan perbandingan antar metode. Rekapitulasi ini bertujuan mengevaluasi kesesuaian hasil serta menilai keandalan setiap metode dalam merepresentasikan respons deformasi pondasi tiang.

Tabel 11. Rekapitulasi nilai penurunan

Metode	Penurunan (mm)
Penurunan Uji PDA (DMX - Id Pile 5C - 94)	15.000
Penurunan Tiang Tunggal Minipile 400x400 mm	18.780
Penurunan Tiang Kelompok Minipile 400x400 mm	16.159
Penurunan Tiang Tunggal Boredpile Ø400 mm	20.167
Penurunan Tiang Kelompok Boredpile Ø400 mm	15.704
Penurunan Hasil Permodelan PLAXIS 3D V24	24.170
Penurunan yang Diizinkan	40.000

Sumber: (Fery et al., 2025)



Gambar 2. Bagan Perbandingan Nilai Penurunan (Fery *et al.*, 2025)

Berdasarkan interpretasi pada Gambar 2 dan Tabel 11, nilai penurunan yang diperoleh dari metode empiris, uji lapangan, dan pemodelan numerik menunjukkan kecenderungan yang konsisten dan berada di bawah batas penurunan izin sebesar 40 mm. Meskipun terdapat variasi antar metode, seluruh nilai penurunan masih berada dalam rentang yang dapat diterima secara struktural.

Keselarasan hasil dari ketiga pendekatan tersebut mengindikasikan bahwa parameter tanah yang digunakan telah representatif dan mekanisme interaksi tanah–struktur bekerja dengan baik. Dengan demikian, pondasi tiang pancang pada lokasi yang dianalisis dinyatakan aman terhadap risiko deformasi berlebih dan telah memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan dalam perencanaan.

Berdasarkan hasil analisis, nilai penurunan yang diperoleh masih berada di bawah batas penurunan izin sebesar 40 mm sesuai kriteria perencanaan pondasi dalam. Dengan demikian baik pondasi MiniPile maupun Bored Pile masih memenuhi persyaratan deformasi yang diizinkan sehingga aman terhadap potensi kerusakan struktur akibat penurunan berlebih.

4 SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa MiniPile penampang 400×400 mm dengan kedalaman 23 m menghasilkan kapasitas daya dukung ultimit sebesar 918–1054 kN dengan kapasitas izin sekitar 306–351 kN. Bored Pile diameter 400 mm dengan kedalaman 45 m menghasilkan kapasitas daya dukung ultimit sebesar 4327–5237 kN, atau meningkat sekitar ± 4 kali dibandingkan MiniPile. Hasil pengujian PDA menunjukkan kapasitas daya dukung ultimit sebesar 246–472 ton yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan teoritis sehingga menunjukkan bahwa desain pondasi bersifat konservatif. Nilai penurunan maksimum yang diperoleh sebesar 15 mm yang masih berada di bawah batas penurunan izin 40 mm, sehingga pondasi dinyatakan aman terhadap deformasi berlebih. Metode Meyerhof cenderung memberikan hasil yang lebih konservatif, sedangkan metode Vesic memberikan estimasi yang lebih mendekati hasil pengujian lapangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga selama proses penyusunan penelitian ini. Dukungan, ketelitian, serta kesabaran beliau dalam membimbing menjadi kontribusi penting bagi terselesainya tugas akhir ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada orang tua atas doa, dukungan moral, dan motivasi yang senantiasa diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, H. H. (2021). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pondasi Dangkal Dengan Metode L Hemnier Dan Meyerhof. *Jurnal Penelitian IPTEKS*, 6(1), 1–5. <https://doi.org/10.32528/ipteks.v6i1.4171>
- Alfayyadh, L. A. J. (2024). A Comparative Analysis of Bearing Capacity of Pile Foundations Using SPT Measurements for Nasiriyah Soil. *Mesopotamian Journal of Civil Engineering*, 2024, 82–94. <https://doi.org/10.58496/MJCE/2024/010>
- Ardiyanti, R., Hasrul, M. R., Rahman, M. J., Muddin, M. A. K., & Yusuf, F. A. (2023). Perbandingan daya dukung tiang pancang dengan metode empiris (standard penetration test) Mayerhof, Terzaghi, dan Vesic. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 17(3), 277–283.
- Arliyanto, P. B. P. A., 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. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 7(1), 16–23. <https://doi.org/10.25139/jprs.v7i1.6709>
- Fauzan, M. K., Yelvi, Y., Adinegara, A. W., & Sudardja, H. (2024). Analisis kapasitas dukung fondasi spun pile pada pile slab. *Construction and Material Journal*, 6(2), 169–183. <https://doi.org/10.32722/cmj.v6i2.7037>
- Gazali, A., Adawiyah, R., & Nordina, H. (2023). Studi Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Mini Pile pada Pembangunan Gedung Kantor Dinas Satuan Polisi Pamong Praja Kabupaten Tapin. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 6(1), 100–113. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11680>
- Hutabarat, D. E., & Yelvi, Y. (2025). Analisis daya dukung spun pile berdasarkan data kalendering dan standard penetration test (SPT). *Construction and Material Journal*, 7(2), 245–259. <https://doi.org/10.32722/cmj.v7i2.7730>
- Laksono, A. D., Fatmawati, L. E., & Widhiarto, H. (2023). Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Mini Pile (Square Pile) Sebagai Alternatif Perkuatan Pondasi Pada Proyek Pembangunan SMPN 9 Kota Kediri. *De'Teksi: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 8–19.
- Li, H., Zhang, Y., & Wang, J. (2024). Bearing capacity evaluation of foundation soils using classical geotechnical equations. *Arabian Journal of Geosciences*.
- Rahman, M., Karim, M., & Islam, S. (2023). Settlement analysis of pile foundation using numerical modelling. *Journal of Civil Engineering Research*.
- Sulistianto, D., & Rus, T. Y. (2024). Analisis daya dukung pondasi dan perencanaan konstruksi di gudang bahan peledak, Samboja, Kutai Kartanegara. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 10(2), 91–100.
- Suryanto, B., Nugroho, A., & Santoso, D. (2022). Evaluation of pile foundation performance using PDA test and numerical modelling. *Indonesian Journal of Geotechnical Engineering*.
- Syahputra, M. (2021). Analisis pondasi bored pile pada proyek rusunami sukaramai medan dengan metode reese (1997) & wright dan reese & o'neill (1998) berdasarkan data standart

- penetration test (SPT). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 10(2), 88–94.
- Syahputri, S. N., Hamdani, H., Ilmi, M. K., & Hidayat, A. R. (2025). Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Struktur Jembatan Gantung dengan Menggunakan Metode Meyerhof dan Tomlinson Berdasarkan Data Standard Penetration Test (SPT). *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 5(4), 9337–9349.
- Widiarso, D. A., Herlambang, F. G. S., Trisnawati, D., Qadaryati, N., & Haryanto, W. (2025). Soil bearing capacity analysis to determine pile foundation design on alluvial soils in Semarang City, Indonesia. *GEOMATE Journal*, 28(129), 10–20.