

## ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BOR BERDASARKAN HASIL UJI SPT DAN TES PDA PADA ABUTMEN (A2) STA 55+560

(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Ruas Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA  
Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)

Deby Lelita Maryuni<sup>1)</sup>, Hernawan Bachtiar Ramadhan<sup>2)</sup>, Fithri Estikhamah<sup>3)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”  
Jawa Timur

<sup>3)</sup>Dosen Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur  
Email: <sup>(1)</sup>[21035010063@student.upnjatim.ac.id](mailto:21035010063@student.upnjatim.ac.id), <sup>(2)</sup>[21035010048@student.upnjatim.ac.id](mailto:21035010048@student.upnjatim.ac.id),  
<sup>(3)</sup>[fithri.ts@upnjatim.ac.id](mailto:fithri.ts@upnjatim.ac.id)

### ABSTRAK

Pondasi tiang bor merupakan salah satu jenis pondasi yang banyak digunakan pada proyek infrastruktur besar karena kemampuannya menahan beban yang besar. Dalam menentukan daya dukung pondasi tiang bor, penting untuk melakukan perbandingan antara hasil perhitungan analitis dan hasil uji lapangan guna memastikan akurasi dan keamanan desain pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan daya dukung pondasi tiang bor menggunakan metode analitis dari uji SPT dan tes PDA pada abutmen 2 (A2) STA 55+650, proyek pembangunan ruas Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik observasi dan dokumentasi, dengan perhitungan daya dukung menggunakan metode O'Neil dan Reese (1989) serta Meyerhoff (1976). Berdasarkan investigasi tanah dengan uji SPT, ditemukan jenis tanah pasir (non-kohesif). Daya dukung ultimate berdasarkan metode O'Neil dan Reese 1989 sebesar 833 ton dengan rasio 0,877, sedangkan metode Meyerhoff 1976 menghasilkan daya dukung sebesar 789 ton dengan rasio 0,83. Sementara itu, hasil tes PDA menunjukkan daya dukung sebesar 950 ton. Kesimpulannya, daya dukung tiang bor berdasarkan perhitungan analitis lebih kecil dibandingkan dengan hasil tes PDA.

Kata kunci: daya dukung, pondasi tiang bor, N-SPT, PDA test, metode O'Neil dan Reese, Meyerhoff 1976.

### ABSTRACT

*Bored pile foundation is one type of foundation that is widely used in large infrastructure projects because of its ability to withstand large loads. In determining the bearing capacity of bored pile foundation, it is important to compare the results of analytical calculations and field test results to ensure the accuracy and safety of the foundation design. This study aims to compare the bearing capacity of bored pile foundation using the analytical method of the SPT test and the PDA test on abutment 2 (A2) STA 55+650, the Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Toll Road construction project. The method used in this study is the observation and documentation technique, with the calculation of bearing capacity using the O'Neil and Reese (1989) and Meyerhoff (1976) methods. Based on soil investigations with the SPT test, the type of sandy soil (non-cohesive) was found. The ultimate bearing capacity based on the O'Neil and Reese method is 833 tons with a ratio of 0.877, while the Meyerhoff method produces a bearing capacity of 789 tons with a ratio of 0.83. Meanwhile, the PDA test results show a bearing capacity of 950 tons. In conclusion, the bearing capacity of bored piles based on analytical calculations is smaller than the PDA test results.*

**Keywords:** bearing capacity, bored pile foundation, N-SPT, PDA test, O'Neil and Reese method, Meyerhoff 1976.

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur baik bangunan gedung, jalan tol *elevated*, jalan flyover, ataupun jembatan, sering kali memerlukan pondasi yang kuat dan tahan lama yang mampu mendukung beban besar di atasnya [1]. Pondasi merupakan struktur bawah suatu bangunan yang berfungsi menopang bangunan di atasnya dan meneruskan beban merata dari struktur atas ke dalam lapisan tanah [2]. Salah satu jenis pondasi yang sering digunakan pada proyek-proyek besar adalah pondasi tiang bor. Pondasi tiang bor (*bored pile*) merupakan jenis pondasi yang pemasangannya dengan cara pengeboran tanah terlebih dahulu [3]. Pondasi tiang bor dipilih karena memiliki kelebihan yaitu mampu menahan beban yang signifikan dan mampu menembus lapisan tanah yang lebih dalam untuk mencapai lapisan tanah yang lebih stabil.

Sebelum pelaksanaan konstruksi selanjutnya, tentunya perlu diketahui daya dukung pondasi untuk mengetahui apakah pondasi yang digunakan mampu menahan beban di atasnya. Penentuan daya dukung pondasi tiang bor menjadi salah satu aspek penting dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi terutama dalam keberhasilan proyek jalan tol ini. Dua metode utama yang sering digunakan untuk menganalisis daya dukung tiang bor adalah uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test. Kedua metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam mengukur kapasitas dukung pondasi, dan hasil dari kedua metode ini dapat bervariasi tergantung pada kondisi tanah serta karakteristik teknis proyek.

Uji SPT merupakan metode yang banyak digunakan dalam penyelidikan tanah untuk memberikan gambaran umum tentang kekuatan tanah. Hasil dari SPT digunakan sebagai parameter untuk menghitung daya dukung pondasi. Di sisi lain, PDA Test memberikan data dinamis selama proses pemancangan tiang dan menyediakan informasi *real-time* tentang perilaku tiang selama instalasi serta prediksi daya dukung akhir pondasi [4].

Studi ini fokus pada perbandingan hasil dari kedua metode tersebut dalam menentukan daya dukung pondasi tiang bor pada abutmen 2 (A2) sebagai penghubung antara jalan tol *elevated* dan jalan tol timbunan pada Proyek Pembangunan Ruas Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2. Pondasi tiang bor pada abutmen yaitu salah satu bagian

jembatan yang bertugas menahan beban vertikal dan lateral [5]. Mengingat pentingnya akurasi dalam perhitungan daya dukung, analisis perbandingan antara SPT dan PDA Test diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik bagi para insinyur sipil dalam memilih metode yang lebih tepat sesuai dengan kondisi lapangan.

Di sisi lain, proyek pembangunan infrastruktur ini memiliki kaitan erat dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) nomor 17, yaitu "Kemitraan untuk Mencapai Tujuan". Dalam konteks ini, penerapan teknologi yang tepat guna, dengan penggunaan data yang valid dalam pengambilan keputusan berperan penting untuk memastikan keberhasilan proyek dan dampak positif jangka panjang pada masyarakat. Pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan juga menekankan pentingnya pengelolaan sumber daya dan minimisasi dampak lingkungan. Dengan melakukan analisis daya dukung pondasi yang cermat, proyek ini berkontribusi pada penyediaan infrastruktur berkualitas yang mendukung pertumbuhan ekonomi, sosial, serta menjaga keseimbangan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran prediksi daya dukung pondasi tiang bor dengan metode analitis uji SPT dan tes PDA pada abutmen 2 (A2) STA 55+650, proyek pembangunan ruas Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo. Hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan metode yang lebih efektif dalam penentuan daya dukung pondasi tiang bor, sehingga meminimalkan risiko kegagalan struktur dan memastikan keamanan serta efisiensi konstruksi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daya Dukung Pondasi

Daya dukung pondasi adalah kapasitas tanah untuk mendukung beban yang diteruskan oleh pondasi tanpa menyebabkan keruntuhan atau deformasi yang berlebihan. Untuk menentukan daya dukung pondasi secara akurat, dilakukan berbagai uji lapangan dan laboratorium, di antaranya adalah *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Pile Driving Analyzer* (PDA) test. Rumus

yang sering digunakan dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang tunggal, yaitu [6]:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$Q_u$  = daya dukung ultimate pondasi (ton, kN)

$Q_p$  = daya dukung ujung tiang (ton, kN)

$Q_s$  = tahanan gesekan selimut tiang (ton)

Perhitungan daya dukung pondasi tiang bor berdasarkan nilai SPT (*Standart Penetration Test*) dapat digunakan beberapa metode, yaitu metode O’Neil dan Reese (1989) dan Meyerhoff (1976).

**a. Metode O’Neil dan Reese 1989 [7]**

Tanah Kohesif

$$Q_p = A_b \times N_c \times C_u \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times L \dots\dots\dots (3)$$

Tanah Non - Kohesif [8]

$$Q_p = f_b \cdot A_b \dots\dots\dots (4)$$

$$f_b = 0,6 \sigma \times NSPT \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_s = f_s \cdot A_s \dots\dots\dots (6)$$

$$f_s = \beta \cdot \sigma'v \dots\dots\dots (7)$$

Adapun untuk mencari nilai  $\alpha$ , sebagai berikut:

$$\alpha = 0,55 \rightarrow \text{jika } \frac{Q_p}{Q_s} \leq 1,5$$

$$= 0,55 - 0,5 \left( \frac{Q_p}{Q_s} - 1,5 \right) \rightarrow \text{jika } 1,5 \leq \frac{Q_p}{Q_s} \leq 2,5 \dots\dots\dots (8)$$

Untuk menghitung nilai  $\beta$  digunakan langsung dengan rumus dari Reese dan O’Neill (1989):

Untuk  $N_{60} < 15$ , maka  $\beta$ :

$$\beta = \frac{0,0000}{15} (1,5 - 0,245\sqrt{N_{60}}) \dots\dots\dots (9)$$

Untuk  $N_{60} > 15$ , maka  $\beta$ :

$$\beta = 1,5 - 0,245\sqrt{N_{60}} \dots\dots\dots (10)$$

Untuk menghitung  $\sigma'v$  adalah sebagai berikut:

$$\sigma'v = z \cdot \gamma \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

$A_b$  = luas alas tiang bor ( $m^2$ )

$N_c$  = Nilai faktor kapasitas dukung,

Skempton (1959) menggunakan nilai 9

$C_u$  = Kohesi Undrained ( $kN/m^2$ )

$f_s$  = Tahanan gesek satuan ( $kN/m^2$ )

$A_s$  = Luas selimut tiang ( $m^2$ )

$p$  = Keliling tiang (m)

$L$  = Kedalaman (m)

$\alpha$  = Faktor adhesi

NSPT = Nilai N-SPT rata-rata antara ujung bawah tiang bored pile sampai 2db di bawahnya. Tidak perlu dikoreksi terhadap overburden.

$N_{60}$  = N-SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian

$\sigma'v$  = Tekanan efektif pada tiang ( $kN/m^2$ )

$\sigma$  = tegangan referensi = 100 kPa

$z$  = kedalaman dari permukaan tanah ke titik tengah strata (m)

$\gamma$  = Berat jenis tanah ( $kN/m^3$ )

**Metode Meyerhoff (1976)**

$$Q_u = (f_p + A_p) + (f_s \times A_s)$$

$$= (0,4 \times N_p \times (L/d) \times A_p) + (f_s \times A_s) \dots\dots\dots (12)$$

$$A_s = p \cdot L \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

$A_p$  = Luas penampang bored pile ( $m^2$ )

$A_s$  = Luas selimut tiang ( $m^2$ )

$f_p$  = Tahanan ujung ( $t/m^2, kN/m^2$ )

$p$  = Keliling tiang (m)

$L$  = Kedalaman lapisan tanah (m)

$N_p$  = Harga N-SPT terkoreksi pada elevasi dasar tiang (2d ke bawah dan 10d ke atas dari ujung tiang)

$d$  = Diameter tiang (m)

$f_s$  = 0,2 N untuk tanah pasir dan 0,5 N untuk tanah lempung

$N$  = Harga N-SPT rata-rata.

Untuk tabel nilai koreksi N-SPT di lapangan menurut Robertson dan Wride (1997 dan dimodifikasi oleh Skempton (1986) [9], adalah sebagai berikut:

**Tabel 1.** Nilai Koreksi N-SPT Lapangan (Skempton 1986)

Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Overburden Pressure		$C_N$	$(P_a / \sigma'_{vo})^{0,5}$ but $C_N \leq 2$
Energy ratio	Donut Hammer	$C_E$	0.5 to 1.0
	Safety Hammer		0.7 to 1.2
	Automatic Hammer		0.8 to 1.5
Borehole diameter	65 mm to 115 mm	$C_B$	1.0
	150 mm		1.05
	200 mm		1.15
Rod length	3 m to 4 m	$C_R$	0.75
	4 m to 6 m		0.85
	6 m to 10 m		0.95
	10m to 30 m		1.0
	>30 m		<1.0
Sampling method	Standard sampler	$C_s$	1.0
	Sampler without liners		1.1 to 1.3

(Sumber: Skempton 1986)

## 2.2 Uji *Standard Penetration Test* (SPT)

*Standard Penetration Test* (SPT) adalah salah satu metode pengujian lapangan yang paling umum digunakan untuk menentukan karakteristik tanah. Uji ini mengukur jumlah pukulan yang diperlukan untuk memasukkan sampler tabung terbuka ke dalam tanah pada kedalaman tertentu. Hasil uji SPT berupa nilai N-SPT, yang digunakan sebagai parameter analitis untuk mengevaluasi daya dukung tanah.

### a. Prosedur SPT

Pengujian SPT dilakukan dengan menjatuhkan palu seberat 63,5 kg dari ketinggian 76 cm ke atas alat bor yang dimasukkan ke dalam tanah. Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkan alat sejauh 30 cm diukur dan disebut sebagai nilai N [10].

### b. Kegunaan SPT

Nilai N-SPT digunakan untuk memperkirakan daya dukung tanah, konsistensi tanah lempung, dan kepadatan relatif tanah pasir. Selain itu, nilai N-SPT dapat digunakan sebagai dasar perhitungan daya dukung pondasi dangkal dan pondasi dalam [11].

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa uji SPT memberikan hasil yang bervariasi tergantung pada kondisi tanah, teknik pengujian, dan alat yang digunakan. Namun, metode ini tetap menjadi pilihan umum karena kemudahannya dan biaya yang relatif rendah.

## 2.3 Metode Pengujian Daya Dukung Pondasi: PDA Test

Uji PDA atau *Pile Driving Analyzer Test* adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang atau tiang bor selama proses pemancangan. PDA mengukur respons dinamis tiang terhadap beban pukulan dengan memanfaatkan sensor *akselerometer* dan *strain gauge* yang dipasang di tiang [12].

Dalam tes PDA, tercatat deformasi dan percepatan gelombang yang ditimbulkan dari hantaman palu yang dijatuhkan pada kepala tiang dari ketinggian tertentu. Dalam studi kasus ini digunakan palu dengan beban 12 ton dengan ketinggian 1,6 m. Daya dukung tiang bor dari hasil PDA akan dianalisis lebih lanjut menggunakan program CAPWAP (*Case Pile*

*Wave Analysis Program*), program tersebut merupakan suatu metode dalam menentukan persamaan gelombang yang berdasarkan parameter tanah aktif akibat beban tiang, yang dikembangkan di *Case Western Reserve University* [13]. *Pile Driving Analyzer* (PDA) atau uji beban dinamis memiliki beberapa kelebihan antara lain:

1. Menghemat waktu karena dapat dilakukan tes beberapa tiang dalam sehari.
2. PDA memerlukan ruang yang kecil.
3. PDA dapat menilai daya dukung dan integritas struktural tiang yang diuji.
4. PDA dapat mengevaluasi penurunan (*settlement*) suatu tiang.

Uji PDA digunakan untuk memverifikasi daya dukung tiang secara *real-time* dan juga untuk mengidentifikasi potensi masalah seperti kerusakan tiang selama proses pemancangan. Tes ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan daya dukung akhir dari tiang pancang. PDA memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat dibandingkan uji statik, namun memerlukan peralatan khusus dan tenaga ahli untuk interpretasi data yang dihasilkan.

## 2.4 Prosedur Pelaksanaan Pengujian

Pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*) dilakukan untuk mengukur kapasitas dukung tiang, integritas tiang, dan sifat dinamis dari tiang pancang atau tiang bor. Langkah pengujian dan prosedur dengan menggunakan *PDA Test* berdasarkan standar D4945-17 pada ASTM (2017). Pondasi tiang bor yang diuji dalam keadaan tertanam, kemudian tiang bor tersebut dipukul dengan *hammer* beberapa kali sampai diperoleh energi pukulan yang tinggi dan kualitas rekaman yang cukup baik. Namun, ketepatan pemasangan instrumen dan kinerja komputer serta sistem elektronik dapat memengaruhi kualitas rekaman [14]. Dalam studi kasus ini digunakan berat pemukul (*hammer*) sebesar 12 ton dan ketinggian *hammer* ke top tiang bor setinggi 1,6 m. Untuk langkah pelaksanaan pengujian tes PDA dijelaskan sebagai berikut:

### a. Pemasangan Sensor

Sensor dipasang di empat sisi kepala tiang bor, yang meliputi pengukur percepatan (*akselerometer*) dan *strain*

*gauge* untuk mendeteksi getaran dan tegangan saat tiang dipukul dengan palu atau digetarkan menggunakan alat tertentu. Posisi alat sensor tersebut berjarak minimal dari kepala tiang ke sensor sebesar 1,5D - 2D, dimana D merupakan diameter tiang pondasi [15].

### b. Perekaman dan Pemrosesan Data

Setelah dilakukan tumbukan *hammer* pada top/kepala tiang bor, getaran yang merambat pada tiang ditangkap oleh sensor yang telah dipasang dengan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Data yang diperoleh dari sensor tersebut dikumpulkan atau direkap dan dianalisis atau diproses oleh perangkat *Pile Driving Analyzer (PDA)* untuk menilai respons dinamis tiang terhadap beban. Hasil yang terekam pada PDA tersebut, kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan *software CAPWAP* [16].

### c. Analisis CAPWAP

*Input* data yang terdiri dari gaya (*force*) dan kecepatan (*velocity*) yang diukur dengan menggunakan PDA digunakan oleh program aplikasi analisis numerik disebut dengan *CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)* [17]. Analisis ini, dapat diperoleh informasi mengenai total daya dukung tiang, distribusi tegangan, kemungkinan adanya cacat atau kerusakan pada tiang, serta memisahkannya menjadi bagian perlawanan statis dan dinamis.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian yang dipilih pada titik pondasi tiang bor abutmen 2 (A2) sebagai penghubung jalan elevated dan jalan timbunan pada Proyek Pembangunan Ruas Jalan Tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2, yang berada di Sleman, Yogyakarta. Waktu pengambilan data dilakukan pada 4 Oktober 2024 di Kantor PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. Seksi II Paket 2.2



**Gambar 1.** Lokasi Proyek Pembangunan Ruas Jalan Tol Solo-Yogya-NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2

(Sumber: Google Earth)



**Gambar 2.** Letak Abutmen 2 (A2) di Lapangan Proyek Pembangunan Ruas Jalan Tol Solo-Yogya-NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2

(Sumber: Google Earth)

### 3.2 Metode Pengumpulan Data

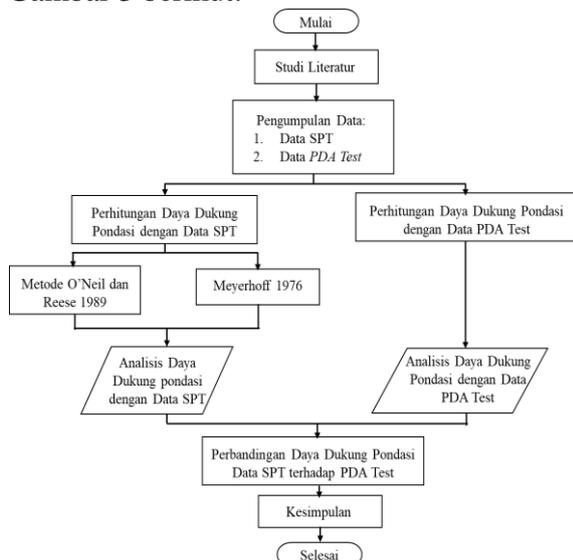
Metode yang digunakan dalam proses pengumpulan data penelitian berupa observasi dan teknik dokumentasi. Teknik dokumentasi merupakan suatu teknik pengumpulan data yang diperoleh dari instansi proyek terkait. Data yang diperoleh disebut dengan data sekunder. Data sekunder merupakan suatu data yang diperoleh dari instansi terkait, serta data yang memiliki berbagai informasi yang telah ada sebelumnya, yang sengaja dikumpulkan oleh peneliti untuk melengkapi kebutuhan data penelitian [18].

### 3.3 Metode Analisis Data

Metode yang digunakan untuk analisis data yaitu dengan metode kuantitatif dan deskriptif. Dengan metode kuantitatif, data kuantitatif dianalisis menggunakan software statistik yaitu Ms. Excel untuk menghitung daya dukung dan rasio perbandingan perhitungan dengan N-SPT dan PDA test. Namun, sebelum itu dilakukan analisis data, yaitu berupa studi literatur dengan mencari dasar-dasar teori dan rumus perhitungan daya dukung pondasi tiang bor dengan sumber data berupa jurnal, buku referensi atau *e-book*. Dari data yang diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan daya dukung pondasi tiang bor secara manual dengan menggunakan metode O'Neil dan Reese (1989) dan Meyerhoff (1976). Kemudian dilakukan perbandingan dengan daya dukung pondasi tiang bor yang dihasilkan dari pengujian tes PDA (*Pile Driving Analyzer*). Serta, langkah akhir berupa penarikan kesimpulan.

### 3.4 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3 berikut:

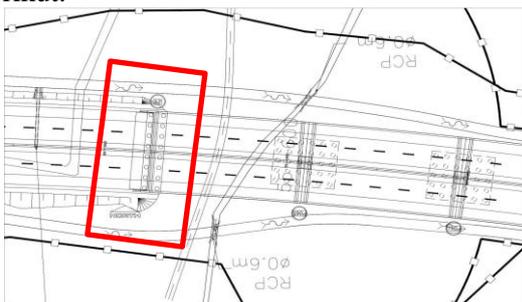


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian (Sumber: Data Pribadi)

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Inevtigasi Tanah

Pengujian SPT dan PDA dilakukan pada Abutmen 2 (A2) yang terlihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Titik pengujian SPT dan PDA (Sumber: Data Proyek Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah di titik abutmen 2 (A2) dengan metode *Standard Penetration Test* (SPT) diperoleh bahwa struktur lapisan tanah didominasi oleh jenis pasir dari kedalaman 0 meter sampai dengan 30 meter. Nilai stratifikasi dan SPT tiap lapisan tanah ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Penyelidikan Tanah di Abutmen 2 (A2)

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT
0 - 2	Pasir berlanau, berkerikil, abu-abu kecoklatan, halus, sangat lepas	0 - 5
2 - 5	Lanau berpasir, abu-abu, sedang padat	5 - 10
5 - 6	Pasir berlumpur, abu-abu, sedikit lepas	8
6 - 9,5	Pasir, sedikit kerikil, abu-abu gelap, kepadatan sedang sampai padat, berbutir sedang sampai kasar	8 - 37
9,5 - 12	Pasir berlanau, sedikit kerikil, abu-abu gelap, padat	37
12 - 13	Lempung berlanau, sedikit pasir, coklat	36 - 37
13 - 18	Pasir berlanau, sedikit kerikil, abu-abu, halus, padat	30 - 36
18 - 20	Lempung, sedikit pasir, abu-abu gelap, kepadatan sedang	16 - 20
20 - 22	Lempung berlanau, sedikit pasir, abu-abu gelap, sangat kaku	16 - 34
22 - 27	Pasir, abu-abu gelap, sangat padat	33 - 51
27 - 30	Pasir, sedikit kerikil, abu-abu gelap, kasar, sangat padat	50 - 51

(Sumber: data proyek)

### 4.2 Daya Dukung Pondasi Berdasar Hasil N-SPT

Nilai pukulan (N) dari data *Standard Penetration Test* (SPT) pada setiap kedalaman dikoreksi terhadap muka air tanah (MAT) dan tekanan *overburden*, dengan nilai N-SPT hasil koreksi yaitu  $N_{60}$ . Nilai N-SPT terkoreksi ( $N_{60}$ ) ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Nilai N-SPT Terkoreksi

Depth (m)	N (blow/ft)	N Koreksi		N60	N60 Rata-Rata
		MAT	Overburden		
0	0,00			0	19,35
1	5,00	5	6,78	5	
2	5,00	5,00	5,86	5	
3	10,00	10	11,32	10	
4	10,00	10,00	10,89	10	
5	8,00	8,0	8,34	8	
6	8,00	8,00	8,04	8	
7	25,00	20,00	24,41	20	
8	25,00	20,00	23,54	20	
9	37,00	26,00	33,38	26	
10	37,00	26,00	32,03	26	
11	37,00	26	30,79	26	
12	37,00	26,00	29,64	26	
13	36,00	25,5	27,80	25,5	
14	36,00	25,50	26,84	25,5	

15	30,00	23	21,62	22
16	30,00	22,5	20,92	20,9
17	33,00	24,0	22,28	22,3
18	33,00	24,00	21,61	21,61
19	16,00	15,5	10,17	10,2
20	16,00	15,50	9,87	9,87
21	16,00	12	9,60	9,60
22	33,13	24,06	19,33	19,33
23	50,25	33	28,55	29
24	50,23	32,61	27,80	27,80
25	50,20	32,60	27,09	27,09
26	50,19	32,60	26,42	26,42
27	50,18	32,59	25,78	25,78
28	50,23	32,62	25,21	25,21
29	50,28	32,64	24,66	24,66
30	50,21	32,61	24,07	24,07
31	50,21	32,61	23,55	23,55
32	50,21	32,61	23,04	23,04
33	50,21	32,61	22,56	22,56
34	50,21	32,61	22,10	22,10

(Sumber: Hasil Perhitungan Pribadi)

Berdasarkan jenis tanah yaitu tanah non-kohesif yang diperoleh dari penyelidikan tanah dan nilai N-SPT yang telah dikoreksi terhadap muka air tanah (MAT) dan tekanan *Overburden*, dapat dilakukan perhitungan daya dukung pondasi tiang bor dengan metode O'Neil dan Reese 1989 dan metode Meyerhoff 1976. Dan dari data perencanaan pondasi tiang bor, hasil penyelidikan tanah dan SPT diketahui:

Diameter (d)	= 1,2 m
$\gamma_t$	= 2,07 t/m <sup>3</sup>
Kedalaman (L)	= 34 m
N <sub>60</sub>	= 19,35
$\sigma_r$	= 100 kP
N <sub>p</sub>	= 22,1
N <sub>SPT</sub>	= 32,61
z	= 2 m

**a. Metode O'Neil dan Reese 1989**

- Luas Alas Tiang  

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,2^2 = 1,1304 \text{ m}^2$$
- Tahanan Ujung  

$$f_b = 0,6 \times \sigma_r \times N_{spt} < 4500 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,6 \times 100 \times 32,61$$

$$= 1956,3 \text{ kN/m}^2 < 4500 \text{ kN/m}^2 \text{ (Ok)}$$

- Tahanan Ujung Ultimate  

$$Q_b = f_b \times A_b$$

$$= 1956,3 \times 1,1304 = 221 \text{ ton}$$
- Luas Selimut Tiang  

$$A_s = \pi \times D \times L$$

$$= 3,14 \times 1,2 \times 34 = 128,112 \text{ m}^2$$
- Tekanan Efektif Pada Tiang Bored Pile  

$$\sigma'v = z \times \gamma_t$$

$$= 2 \times 2,07 = 4,14 \text{ ton/m}^2$$
- Koefisien  $\beta$   

$$N_{60} = 19,58 > 15$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{2} = 1,15$$
- Tahanan Gesek  

$$f_s = \sigma'v \times \beta$$

$$= 4,14 \times 1,15 = 4,776 \text{ ton/m}^2$$
- Tahanan Gesek Ultimate  

$$Q_s = A_s \times f_s$$

$$= 128,112 \times 4,776 = 612 \text{ ton}$$
- Daya Dukung Ultimate  

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$= 221 + 662 = 833 \text{ ton}$$

**b. Metode Meyerhoff 1976**

- Luas Alas Tiang  

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,2^2 = 1,1304 \text{ m}^2$$
- Tahanan Ujung Ultimate  

$$Q_p = 0,4 \times N_p \times (L/d)$$

$$= 0,4 \times 22,1 \times (34/1,2) = 283 \text{ ton}$$
- Tahanan Gesek  

$$f_s = 0,2 N$$

$$= 0,2 \times 19,35 = 3,87 \text{ ton/m}^2$$
- Luas Selimut Tiang  

$$A_s = \pi \times D \times L$$

$$= \pi \times 1,2 \times 34 = 128,112 \text{ m}^2$$
- Tahanan Gesek Ultimate  

$$Q_s = A_s \times f_s$$

$$= 128,112 \times 3,87 = 496 \text{ ton}$$
- Daya Dukung Ultimate  

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 283 + 496 = 779 \text{ ton}$$

Rekapitulasi dari kedua metode yang digunakan dalam perhitungan daya dukung tiang bor ditunjukkan pada Tabel 4 berikut:

**Tabel 4.** Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Bor Pendekatan Analitis Berdasarkan Nilai N-SPT

Metode Perhitungan	Daya Dukung (ton)		
	Ujung (Qp)	Selimut (Qs)	Ultimate (Qu)
O'Neil & Reese 1989	221	612	833
Meyerhoff 1976	283	496	779

(Sumber: Hasil Perhitungan Pribadi)

### 4.3 Hasil Uji PDA

GUDANG GAJAH Lestari p.t (2024) dalam laporan hasil pengujian dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan analisis CAPWAP memberikan hasil daya dukung pada pondasi tiang bor seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Hasil Uji PDA dengan Analisis CAPWAP

Nama Tiang / File Name	CAPWAP			
	Daya Dukung Bearing Capacity (Ru) [Ton]	Gaya Gesek Friction (SF) [Ton]	Gaya Ujung End Bearing (EB) [Ton]	Penurunan Maksimum Displacement Maksimum (Dx) [mm]
A2-15MR	950	657	293	11.09

(Sumber: Data Proyek Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)

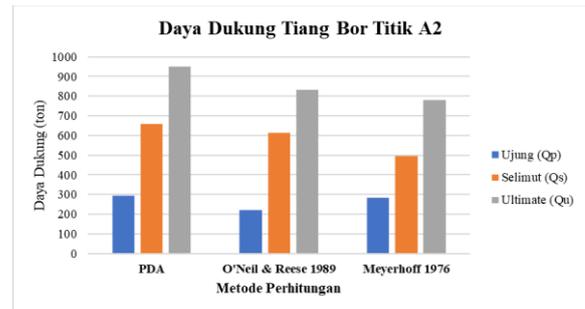
### 4.4 Analisa Perbandingan Daya Dukung N-SPT dengan PDA Test

Berdasarkan tabel 4 dan 5 sebelumnya, diperoleh perbandingan nilai daya dukung pondasi tiang bor pada abutmen 2 (A2) dengan metode pendekatan analitis dan PDA Test dengan Analisis CAPWAP, ditunjukkan pada tabel 6 berikut:

**Tabel 6.** Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Pendekatan Analitis dan PDA Test dengan Analisis CAPWAP

Metode Perhitungan	Daya Dukung (ton)		
	Ujung (Qp)	Selimut (Qs)	Ultimate (Qu)
PDA	293	657	950
O'Neil & Reese 1989	221	612	833
Meyerhoff 1976	283	496	779

(Sumber: Perhitungan Pribadi dan Data Proyek Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Daya Dukung Ujung, Selimut, dan Ultimate pada Titik A2

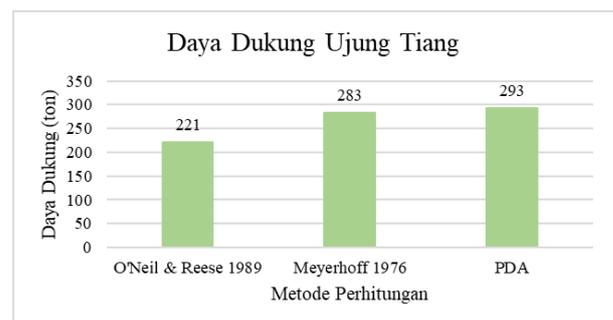
Berdasarkan hasil perbandingan daya dukung ultimate (Qu) dari pengujian N-SPT terhadap tes PDA, dapat disimpulkan bahwa metode dengan perhitungan N-SPT yang mendekati nilai 1 terhadap tes PDA adalah metode O'Neil & Reese 1989 dengan nilai 833 ton.

### a. Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang (Qp)

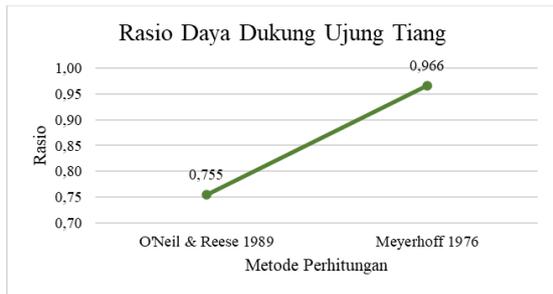
**Tabel 7.** Perbandingan Daya Dukung Ujung Tiang

No	Daya Dukung Ujung Tiang (ton)			Rasio
	SPT		PDA	
	Metode	Hasil	Hasil	
1	O'Neil & Reese 1989	221	293	0,755
2	Meyerhoff 1976	283	293	0,966

(Sumber: Perhitungan Pribadi dan Data Proyek Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)

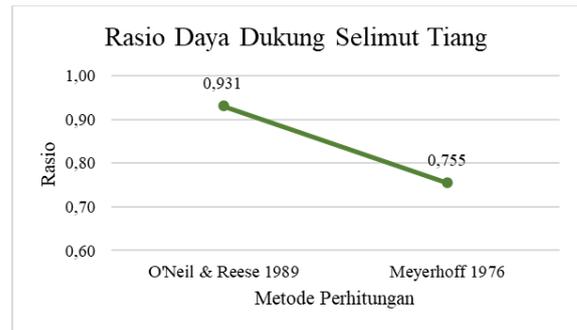


**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Daya Dukung Ujung Tiang Bor Titik A2



**Gambar 6.** Grafik Rasio Daya Dukung Ujung Tiang Bor Titik A2

Berdasarkan hasil perbandingan daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) dari pengujian N-SPT terhadap tes PDA, dapat disimpulkan bahwa metode dengan perhitungan N-SPT yang mendekati nilai 1 terhadap tes PDA adalah metode Meyerhoff 1976 dengan nilai rasio 0,966.



**Gambar 8.** Grafik Rasio Daya Dukung Selimut Tiang Bor Titik A2

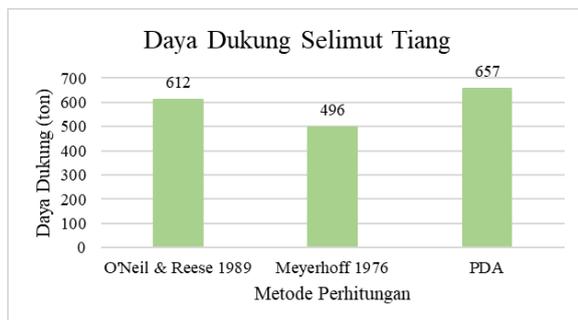
Berdasarkan hasil perbandingan daya dukung selimut tiang ( $Q_s$ ) dari pengujian N-SPT terhadap tes PDA, dapat disimpulkan bahwa metode dengan perhitungan N-SPT yang mendekati nilai 1 terhadap tes PDA adalah metode O'Neil dan Reese 1989 dengan nilai rasio 0,931.

### b. Kapasitas Daya Dukung Selimut Tiang ( $Q_s$ )

**Tabel 8.** Perbandingan Daya Dukung Selimut Tiang

No	Daya Dukung Selimut Tiang (ton)			Rasio
	SPT		PDA	
	Metode	Hasil	Hasil	
1	O'Neil & Reese 1989	612	657	0,931
2	Meyerhoff 1976	496	657	0,755

(Sumber: Perhitungan Pribadi dan Data Proyek Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)



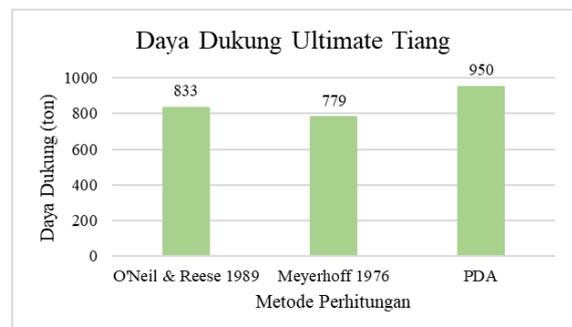
**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Daya Dukung Selimut Tiang Bor Titik A2

### c. Kapasitas Daya Dukung Ultimate Tiang ( $Q_u$ )

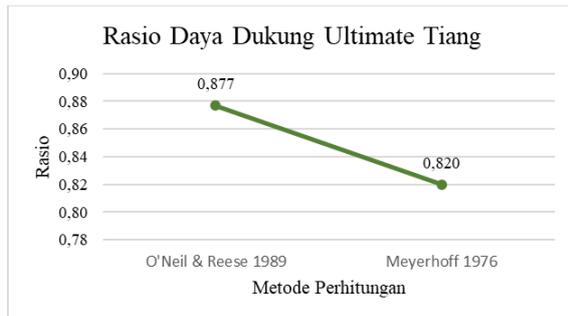
**Tabel 9.** Perbandingan Daya Dukung Ultimate Tiang

No	Daya Dukung Ultimate Tiang (ton)			Rasio
	SPT		PDA	
	Metode	Hasil	Hasil	
1	O'Neil & Reese 1989	833	950	0,877
2	Meyerhoff 1976	779	950	0,820

(Sumber: Perhitungan Pribadi dan Data Proyek Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2)



**Gambar 9.** Grafik Perbandingan Daya Dukung Ultimate Tiang Bor Titik A2



**Gambar 10.** Grafik Rasio Daya Dukung Ultimate Tiang Bor Titik A2

Berdasarkan hasil perbandingan daya dukung ultimate tiang ( $Q_u$ ) dari pengujian N-SPT terhadap tes PDA, dapat disimpulkan bahwa metode dengan perhitungan N-SPT yang mendekati nilai 1 terhadap tes PDA adalah metode O'Neil dan Reese 1989 dengan nilai rasio 0,877.

Nilai rasio daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) tersebut dapat menguatkan nilai rasio sebelumnya dimana metode O'Neil dan Reese 1989 masuk dalam kategori dengan nilai rasio daya dukung ujung ( $Q_p$ ) terhadap nilai daya dukung PDA mendekati 1. Sehingga, metode O'Neil dan Reese 1989 pada pengujian N-SPT di titik ini berhubungan dengan tes PDA.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian SPT diperoleh jenis tanah yaitu tanah pasir (non-koheusif), dengan nilai  $N$  terkoreksi ( $N_{60}$ ) terhadap muka air tanah (MAT) dan tekanan *overburden* sebesar 19,35.
2. Daya dukung ujung tiang bor dengan metode O'Neil dan Reese 1989 diperoleh nilai 221 ton dengan rasio 0,755 dari nilai tes PDA yaitu 293 ton. Sedangkan metode meyerhoff 1976 diperoleh nilai 287 ton dengan rasio 0,980 dari nilai tes PDA yaitu 293 ton.
3. Daya dukung selimut tiang bor dengan metode O'Neil dan Reese 1989 diperoleh nilai 612 ton dengan rasio 0,931 dari nilai tes PDA yaitu 657 ton. Sedangkan metode meyerhoff 1976 diperoleh nilai 496 ton dengan rasio 0,755 dari nilai tes PDA yaitu 657 ton.
4. Daya dukung ultimate tiang bor dengan metode O'Neil dan Reese 1989 diperoleh nilai 833 ton dengan rasio 0,877 dari nilai tes

PDA yaitu 950 ton. Sedangkan metode meyerhoff 1976 diperoleh nilai 779 ton dengan rasio 0,820 dari nilai tes PDA yaitu 950 ton.

5. Dari hasil perhitungan daya dukung tiang bor dengan metode analitis (O'Neil dan Reese 1989 dan Meyerhoff 1976) lebih kecil dari pada daya dukung tiang bor hasil tes PDA.

Perbandingan antara uji SPT dan PDA dalam analisis daya dukung pondasi menunjukkan bahwa masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Uji SPT, meskipun lebih umum dan murah, memberikan hasil yang lebih konservatif dan cenderung kurang akurat untuk pondasi tiang pancang dalam. Di sisi lain, PDA memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat, khususnya untuk pondasi tiang pancang dalam atau pada tanah dengan variasi yang signifikan.

### 5.2 Saran

1. Dalam penelitian lebih lanjut disarankan untuk meminimalisir kesalahan data dengan dibutuhkan perbandingan dan penelitian menggunakan lebih banyak sample. Dalam penelitian ini, disarankan agar analisis perbandingan daya dukung pondasi tiang bor berdasarkan hasil uji SPT dan tes PDA pada abutmen dilakukan dengan mempertimbangkan variabel-variabel tambahan seperti kondisi geoteknik setempat dan faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kestabilan pondasi. Selain itu, penggunaan metode analisis numerik dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai perilaku pondasi di bawah beban. Penelitian lebih lanjut juga disarankan untuk mengeksplorasi hubungan antara hasil uji lapangan dan kinerja jangka panjang pondasi tiang bor dalam berbagai kondisi tanah.
2. Untuk perhitungan data berikutnya menggunakan data lain seperti spt dan uji daya dukung pelat, uji penetrasi standar, uji pengukur tekanan pada pondasi tiang bor

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] F. Muhammad, L. Taqwa, U. Ibn, and K. Bogor, "Rasio Daya Dukung Aksial Bored Pile Berdasarkan Hasil Uji SLT dan PDA (Studi Kasus: Tamansari Apartemen Bintaro Mansion Kota Tangerang Selatan) Feril Hariati", doi: 10.47970/snarstek.v2i1.567.
- [2] A. Arif, E. I. Imananto, and M. Erfan, "PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH PONDASI TIANG PANCANG", vol. 1, 2018.
- [3] I. W. Jawat, P. P. T. Gita, and I. M. S. Dharmayoga, "Kajian Metoda Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Bored Pile Pada Tahap Perencanaan Pelaksanaan," *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, vol. 9, no. 2, pp. 126–142, 2020.
- [4] H. Maizir, S. Tinggi, and T. Pekanbaru, "EVALUASI DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN METODE DINAMIK", doi: 10.13140/RG.2.2.17176.19202.
- [5] A. Susanto, and R. Aditya Candrarini, "P. Fondasi Tiang Bor Abutment Jembatan Kali Kendeng Perbandingan Metode Meyerhof Dan Metode Reese, , dinamika TEKNIK SIPIL 30 BORED PILE FOUNDATION DESIGNING OF KALI KENDENG BRIDGE ABUTMENT (COMPARISON OF MEYERHOF METHOD AND REESE & WRIGHT METHOD)." [6] B. M. Das, "Principles of Foundation Engineering," 8 Edition, 2016.
- [7] W. M. Akbar, "TINJAUAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG TEKAN BERDASARKAN DATA LABORATORIUM DI MENARA BRI PEKANBARU," 2019.
- [8] F. Oemar, T. Rahmat Utama, and P. Wijaksono, "ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BORE PILE PADA PEMBANGUNAN PROYEK FLY OVER MARTADINATA KOTA TANGERANG," 2021.
- [9] J. D. Rogers, "Subsurface exploration using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test," *Environmental and Engineering Geoscience*, vol. 12, no. 2, pp. 161–179, May 2006, doi: 10.2113/12.2.161.
- [10] D. Arisandi, Y. Apriyanti, and F. Fahrani, "ANALISIS KORELASI NILAI N-SPT DENGAN NILAI TAHANAN KONUS SONDIR MENGGUNAKAN METODE STATISTIKA."
- [11] P. Studi and T. Sipil, "ANALISA DAYA DUKUNG TANAH BERDASAR DATA: SONDIR, N SPT dan LABORATORIUM ( Studi Kasus di BTN Hamzy Makassar ) Supriyanto 1."
- [12] R. Gohil and C. R. Parthasarathy, "Intelligent Assessment of Axial Capacity of Pipe Piles Using High Strain Dynamic Pile Load Tests in Offshore Environment," in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023, pp. 271–287. doi: 10.1007/978-981-19-6513-5\_24.
- [13] A. Suhendra, "STUDI KAPASITAS TIANG BOR BERDASARKAN METODE PILE DRIVING ANALYZER (PDA) DAN LOAD CELL," 2018.
- [14] H. T. Santoso *et al.*, "ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASAR HASIL UJI SPT DAN PENGUJIAN DINAMIS."
- [15] A. Thaha, A. Suprpti, and D. Nurhadi, "STUDI PEMBEBANAN TIANG DENGAN PDA TEST DI PELABUHAN PT. SEMEN TONASA BIRINGKASSI."
- [16] M. V. Ravli, S. Sunarjono, A. Proyek, and J. Ganda, "PENGUJIAN TIANG PONDASI MENGGUNAKAN PILE DRIVING ANALYZER (STUDI KASUS PROYEK JALUR KERETA GANDA SOLO BALAPAN-KADIPIRO)".
- [17] A. Hari Wibowo, "Studi Komparasi Kapasitas Dukung Rencana dan Kapasitas Dukung Aktual Fondasi Tiang Pancang Pada Konstruksi Slab On Pile Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2," *JPII*, vol. 2, no. 1, pp. 47–53, doi: 10.14710/jpii.2024.23917.
- [18] A. Mahmudi, M. Tirta Hartoni Putri, and T. Wardoyo, "Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi

Bored Pile Berdasarkan Data Sondir Dan Pile Driving Analyzer Test Pada Proyek Pengembangan Gedung J Universitas Kristen Petra Surabaya,” *INTER TECH*, vol. 1, no. 2, pp. 16–26, Dec. 2023, doi: 10.54732/i.v1i2.1051.