

BACK ANALYSIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG

Zahra Zulfa Nazwa¹, Vivi Bachtiar², R.M. Rustamaji²

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak
JL. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Bansir Laut, Pontianak Tenggara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat
***Koresponden email:** zahrazlfnzw@gmail.com

Abstract:

Pile foundations are a good solution for soft soil in Kalimantan Barat. However, checking bearing capacity using comparisons of secondary data is still limited. This study aims to reanalyze the bearing capacity and settlement of 25 cm x 25 cm pile foundations located at the Nahdlatul Athfal Islamic Boarding School on Trans Kalimantan Road, Kubu Raya Regency, using Standard Penetration Test (SPT), Calendering, and Pile Drving Analyzer (PDA) data. The pile length used is 36 meters (35 meters driven) and 30 meters (29 meters driven). The bearing capacity analysis of the pile (Q_{all}) based on SPT data from five methods yielded the smallest value from the Meyerhof (1976) method, with a value of 262,98 kN (36-meter pile) and 117,42 kN(30-meter pile). Meanwhile, based on calendering data from eight formulas, the smallest value was obtained from the Hilley (1930) formula, which was 107,07 kN (36-meter pile) and 131,51 kN (30-meter pile). The total settlement of 13,191 mm (36-meter pile) and 23,15 (30-meter pile) meets the settlement requirements specified in SNI 8460:2018. This study provides guidance on selecting an appropriate method for bearing capacity based on soil conditions in Pontianak.

Keywords : *Bearing Capacity, Pile Foundation, Settlement*

Abstrak:

Fondasi tiang pancang merupakan pilihan yang bagus untuk tanah lunak di Kalimantan Barat. Tetapi, pengecekan daya dukung menggunakan perbandingan beberapa data sekunder masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis kembali daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang 25 cm x 25 cm yang berlokasi di Pondok Pesantren Nahdlatul Athfal Jalan Trans Kalimantan, Kabupaten Kubu Raya menggunakan data Standard Penetration Test (SPT), Kalendering, dan Pile Driving Anlyzer (PDA). Panjang tiang yang digunakan adalah 36 meter (35 meter terpancang) dan 30 meter (29 meter terpancang). Analisis daya dukung izin tiang pancang (Q_{all}) berdasarkan data SPT dari lima metode didapatkan nilai terkecil adalah metode Meyerhof (1976) dengan nilai 262,98 kN (tiang 36 meter) dan 117,42 kN (tiang 30 meter). Sedangkan, berdasarkan data kalendering dari delapan formula, nilai terkecil diperoleh dari formula Hilley (1930) yaitu 107,07 kN (tiang 36 meter) dan 131,51 kN (tiang 30 meter). Penurunan total sebesar 13,191 mm (tiang 36 meter) dan 23,15 mm (tiang 30 meter) memenuhi syarat penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2018. Penelitian ini memberikan arahan pemilihan metode yang baik untuk daya dukung berdasarkan kondisi tanah di Pontianak.

Kata kunci : Daya Dukung, Fondasi Tiang Pancang, Penurunan

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki beragam jenis kondisi tanah. Hal tersebut menyebabkan munculnya tantangan signifikan dalam merancang fondasi yang tepat. Khususnya, wilayah Kalimantan Barat yang memiliki jenis kondisi tanah yang lunak sehingga daya dukung rendah yang menyebabkan penggunaan fondasi tiang pancang untuk struktur bangunan yang dapat didukung secara optimal (Hardiyatmo, 2011).

Beberapa dekade terakhir, analisis daya dukung tiang pancang berkembang melalui berbagai pendekatan metodologi salah satunya *Standard Penetration Test* (SPT) yang banyak dikembangkan oleh para peneliti dan umumnya sering digunakan dalam praktik *engineering* (Bowles, 1993). Penelitian komprehensif yang dilakukan oleh Winarko pada tahun 2022 menunjukkan bahwa metode Meyerhof (1976) memberikan hasil yang bagus.

Kalendering dan *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang merupakan pendekatan dinamik, memberikan solusi untuk mengevaluasi daya dukung tiang selain menggunakan pendekatan statis melalui *Standard Penetration Test* (SPT).

Di Indonesia, telah dilakukan beberapa penelitian yang serupa terkait daya dukung fondasi dengan fokus yang beragam. Khalisa dan rekan-rekannya (2022) menganalisis daya dukung fondasi tiang pancang menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan kalendering, akan tetapi penelitian tersebut tidak menganalisis penurunan dengan menggunakan *software* geoteknik. Di sisi lain, Fadilla dan Pradiptiya tahun 2022 melakukan penelitian yang membandingkan hasil *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada *spun pile*. Namun, kedua penelitian tersebut hanya terbatas pada satu jenis tiang dan tidak mengkaji metode analisis yang lebih luas.

Munculnya beberapa kesenjangan penelitian dapat diidentifikasi di dalam literatur yang ada. Pertama, analisis menggunakan multi-metode masih menjadi tantangan utama, dimana sebagian besar penelitian hanya membandingkan dua hingga tiga metode saja, padahal pendekatan dengan banyak metode dapat meningkatkan ketepatan secara signifikan. Sebuah penelitian yang relevan di jurnal Teknik Sipil Universitas Lampung menunjukkan bahwa analisis daya dukung tiang pancang menggunakan metode

statis seperti SPT serta metode dinamis seperti kalendering dan PDA penting untuk mengetahui karakteristik tanah dan memberikan kebenaran yang komprehensif. Penelitian tersebut menekankan pentingnya pendekatan banyak aspek untuk memastikan keamanan struktur fondasi (Karyatama et al., 2025).

Kedua, keterbatasan masih kurangnya studi *back analysis* menggunakan data observasi jangka panjang, terutama untuk kondisi tanah di Kalimantan yang memerlukan perhatian khusus dalam penyelidikan geoteknik.

Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, maka penelitian ini dirancang untuk menganalisis kembali daya dukung fondasi tiang pancang menggunakan lima metode SPT dan delapan formula kalendering untuk mendapatkan daya dukung yang sesuai di kondisi tanah tempat penelitian. Selain itu, penelitian ini bertujuan membandingkan hasil analisis pendekatan statis data SPT, pendekatan dinamik data kalendering, serta data lapangan PDA untuk perbandingan yang akurat. Selanjutnya, untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kinerja fondasi, penelitian ini juga akan menganalisis penurunan fondasi menggunakan metode analitis konvensional dan pemodelan numerik dengan *software* Plaxis V.8.6.

Penelitian ini juga akan membuktikan teori yang menyatakan bahwa data kalendering tidak diperbolehkan untuk menganalisa daya dukung, seperti yang telah diatur dalam SNI 8460:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017) pasal 9.7.2.3 mengenai rumus statis berdasarkan rumus dinamis. Hasil akhir penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi metode daya dukung fondasi tiang pancang yang paling sesuai untuk kondisi tanah lunak di Kalimantan Barat khususnya pontianak.

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dari berbagai aspek baik aspek praktis maupun akademis. Dari segi praktis, penelitian ini akan memberikan arahan dalam pemilihan metode analisis daya dukung fondasi tiang yang sesuai dan dapat digunakan di konstruksi Kalimantan Barat sehingga akan meningkatkan desain fondasi yang akurat. Dari segi akademis, penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian berkelanjutan di bidang geoteknik.

Dengan memahami uraian diatas,

penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metodologi analisis daya dukung fondasi tiang di Indonesia, khususnya di Pontianak yang memiliki karakteristik geoteknik yang unik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Daya dukung tiang merupakan kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2010). Salah satu hal yang penting untuk mengetahui kapasitas daya dukung tiang yaitu klasifikasi tiang yang mampu mendukung bebas bekerja. Dua komponen utama untuk mekanisme transfer beban pada fondasi tiang yaitu tahanan ujung tiang (*end bearing*) dan gesekan selimut (*skin friction*) sepanjang tiang (Randolph & Wroth, 1978).

Untuk menentukan daya dukung fondasi tiang dengan menggunakan data SPT dapat menggunakan rumus umum daya dukung ultimit sebagai berikut :

$$Q_u(\text{kN}) = Q_b + Q_s \quad (1)$$

Untuk menghitung daya dukung ujung tiang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_b(\text{kN}) = q_b A_b \quad (2)$$

Sedangkan, untuk menghitung daya dukung selimut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_s(\text{kN}) = q_s A_s \quad (3)$$

Dengan:

Q_u = daya dukung ultimit (kN)

q_b = tahanan ujung (kN/m²)

q_s = gesekan selimut (kN/m²)

A_b = luas ujung tiang (m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

Selanjutnya, untuk menghitung daya dukung izin (Q_{all}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{all}(\text{kN}) = \frac{Q_u}{FK} \quad (4)$$

Dengan :

Q_{all} = daya dukung izin (kN)

FK = minimum 2,5 untuk fondasi dalam terutama fondasi tiang pancang (SNI 8460:2017 Pasal 9.2.3.1)

2.1 Daya Dukung Tiang Berdasarkan Hasil *Standard Penetration Test* (SPT)

Sejak awal abad ke-20, *Standard*

Penetration Test (SPT) sudah menjadi metode standar untuk karakteristik tanah. Akan tetapi, para peneliti melakukan pengembangan terhadap daya dukung tiang dengan berbagai korelasi empiris.

Tabel 1. Metode daya dukung tiang pancang berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT)

Metode	Satuan	q_b	q_s	Keterangan
Schmertmann (1967)	kg /cm ²	$1,6 \times N_b$	$0,04 \times N_s$	N_b : rata-rata 4D dibawah dan 10D diatas ujung tiang
Meyerhof (1976)	kN /m ²	$400 \times N_b$	$2 \times N$	N_b : rata-rata 4D dibawah dan 10D diatas ujung tiang
Shioi & Fukui (1982)	kN /m ²	$0,3 \times p_a \times N_b$	$10 \times N_s$	N_b : rata-rata 4D dibawah dan 10D diatas ujung tiang p_a : tekanan atmosfer (100 kN/m ² atau 2000 psf)
Briaud & Tucker (1985)	kN /m ²	$19,7 \times p_a \times N_b^{0,36}$	$0,224 \times p_a \times N_s^{0,29}$	p_a : tekanan atmosfer (100 kN/m ² atau 2000 psf) μ_b : harga koefisien perlawanan ujung
Okahara (1992)	kN /m ²	$\mu_b \times N_b$	$\mu_s \times N_s$	N_b : rata-rata N_{SPT} $N_{SPT} = 0,5 \times (N_1 + N_2) < 40$ μ_s : harga koefisien selimut tiang

(Sumber : diolah dari (Rahardjo, 2017), (Adriani, 2013), (Fadilla & Pradiptiya, 2022))

2.2 Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data Kalendering

Metode kalendering didapatkan saat pemancangan untuk memprediksi daya dukung berdasarkan penetrasi per pukulan terakhir. Akan tetapi, metode ini memiliki keterbatasan yaitu tidak akuratnya data yang diperoleh untuk menganalisis daya dukung.

Tabel 2. Formula daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering

Formula	Satuan	Q_u	Keterangan
Formula Hilley	ton	$\frac{e_h E_h}{s + 0,5(k_1 + k_2 + k_3)} \times \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$	$Q_a = \frac{Q_u}{4}$
Formula Janbu (1953), Mansur dan Hunter	ton	$\frac{e_h W_r h}{K_u s}$	$K_u = C_d [1 + (1 + \frac{\lambda}{C_d})^2]$ $C_d = 0,75 + 0,15 (W_p/W_r)$

Formula	Satuan	Q_u	Keterangan
(1970)			$\lambda = \frac{e_h E_h L}{AEs^2}$ $Q_a = \frac{Q_u}{FK(3-6)}$
Gates Formula (1957)	ton	$10,45 \times \sqrt{e_h \times W_r \times h} \times (1 - \log S)$	$Q_a = \frac{Q_u}{3}$
Formula Engineering New Modified (ENR) (1965)	ton	$\frac{ehW_r h}{s + 0,25} \times \frac{W_r + (n^2 \times W_p)}{W_r + W_p}$	$Q_a = \frac{Q_u}{6}$
Formula Danish	ton	$\frac{e_h \times E_h}{s + C_1}$	$Q_a = \frac{Q_u}{FK(3)}$ $C_1 = \sqrt{\frac{e_h \times E_h \times L}{2 \times A \times E}}$
Eytelwein Formula	ton	$\frac{e_h \times W_r \times h}{s + c \left(\frac{W_p}{W_r}\right)}$	$Q_a = \frac{Q_u}{6}$
Formula Pacific Coast Uniform Building Code (PCUBC)	ton	$\frac{e_h E_h C_1}{s + C_2}$	$C_1 = \frac{W_r + (kW_p)}{W_r + W_p}$ $C_2 = \frac{Q_u \times L}{AE}$ $Q_a = \frac{Q_u}{4}$
Wijaya Karya (WIKa) (2018)	ton	$\frac{2 \times W_r \times h}{s + K} \times \frac{W_r + e^2 W_p}{W_r + W_p}$	$Q_a = \frac{Q_u}{3-4}$

(Sumber : diolah dari (Rahardjo, 2017), (Khalisa et al., 2022), (Lukman, 2017))

Dimana :

- e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)
- W_r = Berat ram (ton)
- W_p = berat tiang termasuk penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap block*) (juga termasuk anvil untuk pemukul uap aksi dubel)(ton)
- s = Penetrasi per pukulan
- n = koefisien restitusi
- h = Tinggi jatuh hammer (cm)
- L = Panjang tiang pancang (cm)
- A = Luas penampang tiang (m^2)

2.3 Penurunan Fondasi (*Settlement*)

Hardiyatmo, 2011 menyebutkan bahwa penurunan (*settlement*) fondasi terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh dapat dibagi menjadi 3 komponen, yaitu : penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (5)$$

Dengan :

- S = Penurunan total
- S_i = Penurunan segera
- S_c = Penurunan konsolidasi primer
- S_s = Penurunan konsolidasi sekunder

2.4 Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi primer dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} H = \frac{e_1+e_0}{1+e_0} H \quad (6)$$

Dengan :

- Δe = Perubahan angka pori akibat pembebanan
- e_0 = angka pori awal
- e_1 = angka pori saat berakhirnya konsolidasi
- H = tebal lapisan tanah yang ditinjau

2.5 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Metode Semi Empiris

Untuk perencanaan, penurunan fondasi tiang tunggal dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_e = S_s + S_{pp} + S_{ps} \quad (7)$$

Dengan :

- S_e = Penurunan elastis total fondasi tiang tunggal (m)
- S_s = Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal (m)
- S_{pp} = Penurunan dari ujung tiang (m)
- S_{ps} = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (m)

2.6 Penurunan Fondasi Tiang Kelompok

Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar daripada fondasi tiang tunggal karena pengaruh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Penurunan kelompok tiang pada tanah pasir dapat dihitung menggunakan dua metode yaitu metode Vesic (1977) dan metode Meyerhof (1976).

- Metode Vesic (1977)

Vesic (1977) memberikan formula sederhana sebagai berikut :

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (8)$$

Dimana:

- S = penurunan elastis fondasi tiang tunggal
- S_g = penurunan kelompok tiang
- B_g = lebar kelompok tiang
- D = diameter atau sisi tiang tunggal

2.7 Penurunan Yang Diizinkan

Menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2017) menyatakan bahwa “Besarnya penurunan total dan beda penurunan yang diizinkan ditentukan berdasarkan toleransi struktur atas dan bangunan sekitar yang harus ditinjau berdasarkan masing-masing kasus tersendiri dengan mengacu pada integritas, stabilitas dan fungsi dari struktur di atasnya. Penurunan izin $< 15 \text{ cm} + b/600$ (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur atas masih aman. Beda penurunan (*differential settlement*) yang diperkirakan akan terjadi harus ditentukan secara saksama dan konservatif, serta pengaruhnya terhadap bangunan gedung tinggi di atasnya harus dicek untuk menjamin bahwa beda penurunan tersebut masih memenuhi kriteria kekuatan dan kemampulayanan sebesar $1/300$ ” (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

2.8 Pemodelan Program Plaxis V.8.6

Pada program PLAXIS ini terdiri dari dua macam pemodelan tanah yaitu versi tanah lunak dan versi Mohr – Coulomb. Dibawah ini penjelasan mengenai pemodelan tanah versi Mohr – Coulomb yaitu dengan parameter sebagai berikut :

- Modulus elastisitas (E) (*stiffness modulus*)
- Poisson's ratio* (μ) : diambil 0,2 – 0,4
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Kohesi (c_u)
- Sudut dilatasi (ψ)
- Berat isi tanah γ (kN/m^3)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lokasi bangunan Pondok Pesantren Nahdlatul Athfal, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Pemilihan lokasi ini dipilih berdasarkan kriteria sebagai berikut :

- Representativitas Geologis : Tempat penelitian ini mewakili kondisi tanah lunak yang di wilayah Kalimantan Barat, khususnya Pontianak.
- Kelengkapan Data : Data tanah yang lengkap seperti SPT, kalendering, dan PDA dari lokasi proyek.
- Variasi kondisi : Adanya variasi panjang tiang dan karakteristik tanah yang memadai.

3.2 Uji Standard Penetration Test (SPT)

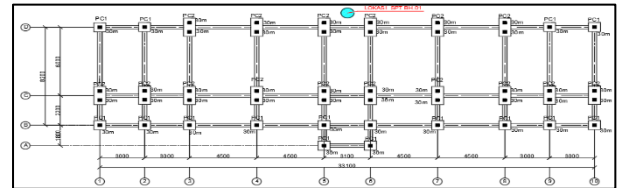
Hasil pengujian SPT yang diperoleh dari pengujian di lapangan dapat ditunjukkan pada

Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penyelidikan Tanah SPT BH. 01

BH. 01		
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT
0-5	Lempung lanauan, sangat lunak (<i>very soft</i>), abu-abu	0-1
6-10	Lempung lanauan, sangat lunak hingga lunak (<i>very soft to soft</i>), abu-abu kecoklatan	1-2
11-15	Lempung, sangat lunak hingga lunak (<i>very soft to soft</i>), abu-abu	1-2
16-18	Lempung lanauan, lunak hingga setengah kaku (<i>soft to medium stiff</i>), abu-abu keputih-putihan	2-6

(Sumber : Hasil penyelidikan CV. Geocipta Hasta Karya)



Gambar 1. Denah Lokasi Titik SPT BH. 01

(Sumber : Gambar Kerja dari PT. Bahtra Jasa Konsul Teknik)

3.3 Uji Standard Penetration Test (SPT)

Hasil pengujian laboratorium yang diperoleh dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Summary Hasil Uji Laboratorium Titik BH. 01

N _a	No. Sampel	Depth (m)	G _c	Y _d gr/cm ³	e	n	e ₀	c _c	c kg/cm ²	φ (°)
Sampel Undisturbed			Atterberg		Konsolidasi			Geser Langsung		
1	BH 01.1	5,00 - 5,50	2,5	0,77	2,1	0,6	1,9	1,2	0,1	5,7
			1		9		6	9	0	8
2	BH 01.2	9,00 - 9,50	2,5	0,97	1,6	0,6	1,4	1,0	0,1	5,6
			9		8		3	5	1	5
3	BH 01.3	15,00 - 15,50	2,6	0,87	2,0	0,6	1,6	0,9	0,1	5,2
			7		6		7	8	4	6

3.4 Uji Tes PDA (Pile Driving Analyzer)

Hasil pengujian tes PDA yang diperoleh dari lapangan dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data dan Hasil Pengujian PDA

Data Tiang & Hammer		
No. Tiang	TP1	TP2
Tanggal Pemancangan	28/12/2023	20/12/2023
Tanggal Uji	29/12/2023	29/12/2023
Ukuran (mm)	Kotak 250	kotak 250
Total Length (m)	30	36
Tiang Tertanam dalam Tanah (m)	29	35
Pile Area (m ²)	0,16	0,16
Wave Speed (m/s)	5800	5800
Jenis Hammer	Drop Hammer	Drop Hammer
FMX - Max. Compression Force (ton)	17057,58	19082,11
EMX - Max. Transferred Energy (ton.m)	64,67	174,79
VMX (m/s)	0,62	1,34
BTA - Pile Integrity Value (%)	1	1

Data Tiang & Hammer		
Total CAPWAP Capacity (Q_u) kN	7227,9	10499,2
Along Shaft (Q_s) kN	5966,4	9289,9
Toe (Q_b) kN	1261,5	1209,4
Keutuhan Fondasi Tiang	OK/Baik	OK/Baik

(Sumber : Hasil penyelidikan PT. Cemara Geo Engineering)

3.5 Uji Kalendering

Hasil pengujian kalendering yang diperoleh dari lapangan dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil *final set* (s) kalendering

Kedalaman 30 m			Kedalaman 36 m		
No.	Titik Fondasi	Final Set (s) cm	No.	Titik Fondasi	Final Set (s) cm
1	B.1	1	1	A.5	0,75
2	B.2	3,1	2	A.6	0,3
3	B.3	0,25	3	B.4	3,75
4	B.5	3,6	4	B.6	3,75
5	B.8	1,75	5	B.7	4,4
6	B.9	0,8	6	C.6.1	3,6
7	B.10	2,9	7	C.6.2	3,5
8	C.1.1	3,4			
9	C.1.2	1,3			
10	C.2.1	2,5			
11	C.2.2	4,1			
12	C.3.1	2			
13	C.3.2	3,4			
14	C.4.1	2,9			
Kedalaman 30 m					
No	Titik Fondasi	Final Set (s) cm			
15	C.4.2	2,5			
16	C.5.1	3,5			
17	C.5.2	2,1			
18	C.7.1	3,2			
19	C.7.2	1			
20	C.8.1	1,4			
21	C.8.2	1,75			
22	C.9.1	0,6			
23	C.9.2	2,4			
24	C.10.1	1,2			
25	C.10.2	3,3			
26	D.1	2			
27	D.2	3,5			
28	D.3.1	2,2			
29	D.3.2	3,3			
30	D.4.1	2			
31	D.4.2	4,8			
32	D.5.1	2,2			
33	D.5.2	2,9			
34	D.6.1	2,5			
35	D.6.2	1,8			
36	D.7.1	2,6			
37	D.7.2	2,2			
38	D.8.1	2,25			
39	D.8.2	4			
40	D.9	2,1			
41	D.10	1,75			

Pada hasil tabel *final set* (s) di atas, maka dapat dianalisa pada titik C.7.1 dengan panjang tiang 30 meter *final set* (s) 3,2 cm dan titik C.6.1 pada panjang tiang 36 meter dengan *final set* (s) 3,6 cm. Pada titik fondasi C.7 dan C.6 juga terjadi pembebanan terbesar, sehingga untuk membandingkan hasil SPT, kalendering, dan PDA juga pada titik yang sama.

3.6 Tahap Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari teori yang sesuai terhadap permasalahan yang dikaji, dimana sumber didapat dari berbagai buku, jurnal, dan publikasi elektronik yang berhubungan dengan artikel ini.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah data sekunder yang didapat dari pihak konsultan dan kontraktor di proyek Pembangunan Gedung Rumah Susun Pondok Pesantren Nahdlatul Athfal. Data sekunder yang didapat SPT (*Standard Penetration Test*), PDA (*Pile Drving Analyzer*), data laboratorium, data kalendering serta gambar rencana.

3. Analisis Data

Menganalisa data yang telah diperoleh dengan berbagai jenis sumber/literatur yang berhubungan dengan penulisan artikel ini.

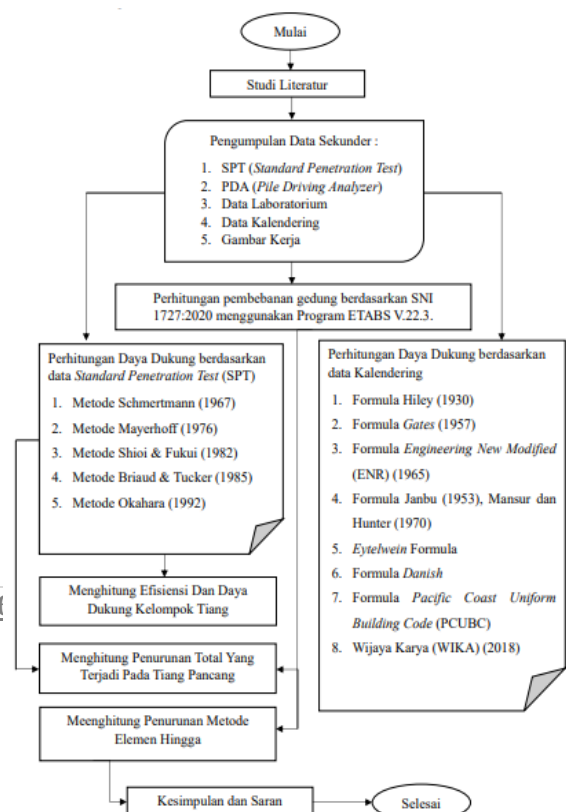
4. Langkah-Langkah Perhitungan

Berikut merupakan Langkah-langkah perhitungan yang dilakukan yaitu :

- Perhitungan Pembebanan Struktur Atas
- Perhitungan Daya Dukung Tiang pancang Metode Analitis
- Perhitungan Efisiensi dan Daya Dukung Kelompok Tiang
- Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang
- Perhitungan Penurunan Tiang Pancang Metode Elemen Hingga

3.7 Diagram Alir Penelitian

Adapun untuk mempermudah proses



penelitian, maka peneliti membuat desain proses penelitian dalam bentuk diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil Uji *Standard Penetration Test* (SPT)

Adapun rekapitulasi hasil daya dukung tiang pancang *mini pile* panjang tiang 36 meter ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil daya dukung tiang pancang *mini pile* panjang tiang 36 meter berdasarkan data SPT

No	Daya Dukung	Satuan	Metode				
			Schmertmann (1967)	Meyerhof (1976)	Shioi & Fukui (1982)	Briaud & Tucker (1985)	Okahara (1992)
1	2	3	4	5			
Q _b	kN		145,010	369,680	27,73	95,55	101,79
Q _s	kN		564,300	287,760	1438,80	1132,89	1352,67
Q _{ult}	kN		709,310	657,440	1466,53	1228,44	1454,46
Q _{all} (FK = 2,5)	kN		283,720	262,980	586,61	491,38	581,78

Berdasarkan Tabel 7. dapat diketahui berdasarkan data SPT pada tiang 36 m yang digunakan adalah nilai Q_{all} terkecil berdasarkan metode Meyerhof (1976) yaitu $Q_{all} = 262,980$ kN $\approx 26,82$ ton.

Sedangkan, rekapitulasi hasil daya dukung pada panjang tiang 30 meter ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi hasil daya dukung tiang pancang *mini pile* panjang tiang 30 meter berdasarkan data SPT

No	Daya Dukung	Satuan	Metode				
			Schmertmann (1967)	Meyerhof (1976)	Shioi & Fukui (1982)	Briaud & Tucker (1985)	Okahara (1992)
1	2	3	4	5			
Q _b	kN		57,53	146,66	11	37,91	43,39
Q _s	kN		288,09	146,88	734,40	808,38	691,20
Q _{ult}	kN		345,62	293,54	745,40	846,29	734,59
Q _{all} (FK = 2,5)	kN		138,25	117,42	298,16	338,52	293,84

Berdasarkan Tabel 8. dapat diketahui berdasarkan data SPT pada tiang 30 m yang digunakan adalah nilai Q_{all} terkecil berdasarkan metode Meyerhof (1976) yaitu $Q_{all} = 117,42$ kN $\approx 11,97$ ton.

Maka, dapat dilihat hasil daya dukung berdasarkan data SPT yang terbesar pada panjang tiang 36 meter. Dimana, apabila tiang pancang semakin panjang, maka volume dan luas permukaan gesek dengan tanah semakin bertambah yang menyebabkan daya dukung

selimut (*skin friction*) juga bertambah besar.

Hasil daya dukung dari data SPT berdasarkan metode Meyerhof (1976), menunjukkan hasil yang konsisten dengan penelitian sebelumnya di tanah lunak Kalimantan Barat, seperti pada penelitian Fadilla dan Pradiptiya (2022) dan Khalisa dan rekan-rekannya (2022). Dimana, metode Meyerhof (1976) memberikan daya dukung yang terkecil dan aman untuk kondisi tanah lunak.

4.2 Data Hasil Uji Kalendering

Adapun rekapitulasi hasil daya dukung tiang pancang *mini pile* berdasarkan uji kalendering pada panjang tiang 36 meter dapat ditunjukkan pada Tabel 9 dan panjang tiang 30 meter dapat ditunjukkan pada Tabel 10. Nilai efisiensi palu (e_h) menggunakan jenis palu *drop hammer* yang memiliki efisiensi (e_h) 0,75. Untuk nilai koefisien restitusi tiang (n) dengan material palu besi cor di atas tiang pancang beton tanpa topi memiliki nilai koefisien restitusi tiang 0,4.

Tabel 9. Rekapitulasi hasil daya dukung tiang pancang *mini pile* panjang tiang 36 meter berdasarkan data kalendering

Titik Fondasi C.6.1								
	Formul a Hiley (1930)	Formul a Janbu (1953), Mansur dan Hunter (1970)	Gates Formul a (1957)	Formula Engineerin g New Modified (ENR) (1965)	Formul a Danish	Eytelwei n Formula	Formula Pacifi Coast Unifrom Building Code (PCUBC)	Wijaya Karya (WIK A) (2018)
No	1	2	3	4	5	6	7	8
Q _u (kN)	428,26	578,99	1600,36	814,45	804,64	1292,82	397,01	1030,68
Q _a (kN)	107,07	193,00	533,45	135,74	268,21	215,45	131,67	343,56

Berdasarkan Tabel 9. dapat diketahui berdasarkan data kalendering pada tiang 36 meter yang digunakan adalah nilai Q_{all} terkecil berdasarkan formula Hilley (1930) yaitu $Q_{all} = 107,07$ kN.

Tabel 10. Rekapitulasi hasil daya dukung tiang pancang *mini pile* panjang tiang 30 meter berdasarkan data kalendering

Titik Fondasi C.7.1								
	Formul a Hiley (1930)	Formul a Janbu (1953), Mansur dan Hunter (1970)	Gates Formul a (1957)	Formula Engineerin g New Modified (ENR) (1965)	Formul a Danish	Eytelwei n Formula	Formula Pacific Coast Unifrom Building Code (PCUBC)	Wijaya Karya (WIK) (2018)
No	1	2	3	4	5	6	7	8
Q _u (kN)	526,03	659,70	1657,04	941,25	889,17	1510,53	460,62	1089,13
Q _a	131,51	219,90	552,35	156,88	296,39	251,74	153,54	363,04

(kN)

Berdasarkan Tabel 10. dapat diketahui berdasarkan data kalendering pada tiang 30 meter yang digunakan adalah nilai Q_{all} terkecil berdasarkan formula Hilley (1930) yaitu $Q_{all} = 131,51$ kN.

Maka, dapat dilihat hasil daya dukung berdasarkan data kalendering berbanding terbalik dengan data SPT. Dimana, semakin panjang tiang pancang, maka semakin kecil nilai daya dukung fondasi. Perbedaan ini, bisa dipahami dari karakteristik jenis tanah dan mekanisme pengujian.

Berikut merupakan hasil rekapitulasi tabel dari daya dukung berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT), data kalendering dan hasil *Pile Driving Analyzer Test* (PDA) :

Tabel 11. Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung berdasarkan SPT, kalendering dan PDA pada panjang tiang 36 meter

REKAPITULASI DAYA DUKUNG IZIN PADA PANJANG TIANG 36 METER			
Daya Dukung	SPT	PDA	Kalendering
Q_b (kN)	369,680	1209,4	-
Q_s (kN)	287,760	9289,9	-
Q_u (kN)	657,44	10499,2	428,26
Q_{all} (kN)	262,98	4199,68	107,07

Tabel 12. Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung berdasarkan SPT, kalendering dan PDA pada panjang tiang 30 meter

REKAPITULASI DAYA DUKUNG IZIN PADA PANJANG TIANG 36 METER			
Daya Dukung	SPT	PDA	Kalendering
Q_b (kN)	146,66	1261,5	-
Q_s (kN)	146,88	5966,4	-
Q_u (kN)	293,54	7227,9	526,03
Q_{all} (kN)	117,42	2891,2	131,51

Dapat dilihat dari hasil analisa ketiga data, hasil kalendering jauh lebih kecil daripada PDA dikarenakan pada saat dilaksanakan kalendering, kondisi tiang masih dalam pemancangan sehingga gaya friksi tanah belum sepenuhnya bekerja yang berbanding terbalik dengan saat dilakukannya PDA yang memiliki jarak perbedaan waktu beberapa hari dari pemancangan yang menyebabkan friksi tanah sudah berkerja secara optimal.

4.3 Penurunan Fondasi Tiang

Analisa penurunan tiang meliputi penurunan elastis tiang tunggal, penurunan konsolidasi dan penurunan program Plaxis V.8.6. Analisa Penurunan tiang menggunakan data tanah SPT BH.01 dan data laboratorium. Adapun

rekapitulasi penurunan tiang dapat ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi hasil analisa penurunan tiang

Titik fondasi	Penurunan Elastis Kelompok Tiang	Penurunan Konsolidasi	Penurunan Total	Penurunan Plaxis
	S_g (mm)	S_c (mm)	$S_{total} = S_g + S_c$ (mm)	S_{plaxis} (mm)
C.6.1 (36 m)	10	3,19	13,19	43,11
C.7.1 (30 m)	17,58	5,57	23,15	49,84

4.4 Kontrol Penurunan Fondasi

Berdasarkan hasil perhitungan penurunan segera dan penurunan konsolidasi dengan perhitungan statis dan menggunakan program Plaxis v.8.6, semua titik fondasi yang ditinjau memenuhi syarat menurut SNI (8460:2017) adalah $< 15 \text{ cm} + (b_g/600) \text{ cm}$. Sehingga, rekapitulasi penurunan izin dapat ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi hasil analisa penurunan tiang

Titik Fondasi	Penurunan Total Manual	Penurunan Plaxis	Penurunan Izin	Keterangan
	$S_{total} = S_g + S_c$ mm	S_{plaxis} mm	S_{izin} mm	
C.6.1 (36 m)	13,19	43,11	151,75	$(S_{total} < S_{izin})$ OK
C.7.1 (30 m)	23,15	49,84	151,75	$(S_{plaxis} < S_{izin})$ OK

5. KESIMPULAN

Pada penelitian *back analysis* mengenai daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang 25 cm x 25 cm di Pondok Pesantren Nahdlatul Athfal, Kabupaten Kubu Raya ini telah berhasil memberikan pemahaman mendalam tentang karakteristik daya dukung fondasi tiang pancang pada tanah lunak di Kalimantan Barat, khususnya Pontianak. Penelitian ini memperoleh beberapa temuan penting yang dapat menjadi acuan dalam perancangan fondasi tiang pancang di beberapa wilayah yang sesuai, berdasarkan tiga data yang digunakan yaitu *Standard Penetration Test* (SPT), kalendering, dan *Pile Driving Analyzer* (PDA).

Dari hasil penelitian, dapat direkomendasikan panjang tiang pancang yang digunakan sekitar lebih 36 meter untuk panjang tiang optimal pada kondisi tanah lunak dipontianak. Dimana, hasil daya dukung pada panjang tiang ini memberikan daya dukung izin tertinggi berdasarkan metode Meyerhof 1976 dengan penurunan yang masih dalam batas aman.

Untuk mendesain daya dukung tiang menggunakan data Kalendering tidak disarankan, dikarenakan hasil daya dukung tersebut tidak sepenuhnya akurat. Hal ini dapat dipahami dari karakteristik tanah Pontianak yang sebagian besar bergantung pada friksi tanah, sehingga saat kalendering dilakukan kondisi friksi belum sepenuhnya bekerja karena tiang masih dalam proses pemancangan, berbeda dengan pengujian PDA yang dilakukan setelah tiang sudah menimbulkan gaya gesek tanah. Oleh karena itu, menggunakan data kalendering untuk mendesain daya dukung tiang pancang sebaiknya dikombinasikan dengan data yang lain, seperti PDA dan SPT.

Temuan penelitian ini menekankan bahwa metode Meyerhof (1976) memberikan pendekatan yang konservatif dan dapat digunakan dalam menganalisis daya dukung tiang pancang berdasarkan data SPT untuk kondisi tanah lunak di Kalimantan Barat, khususnya Pontianak. Karakteristik tanah setempat dipengaruhi oleh friksi diperlukan perhatian khusus dalam pemilihan metode analisis, dimana faktor waktu dan kondisi drainase tanah sebagai parameter penting untuk mengetahui keakuratan daya dukung fondasi.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam hal pengembangan acuan empiris untuk desain fondasi tiang pancang di wilayah Kalimantan Barat, khususnya dalam memberikan arahan pemilihan metode analisis yang tepat dengan kondisi geoteknis lokal. Validasi yang dilakukan melalui perbandingan berbagai sumber data yaitu SPT, kalendering, dan PDA dapat memberikan kepercayaan yang tinggi terhadap hasil analisis, sehingga temuan ini dapat dijadikan referensi yang terpercaya untuk kegiatan konstruksi yang sejenis di masa mendatang.

Dalam hal pengembangan penelitian keberlanjutan, pemantauan penurunan (*settlement*) fondasi dalam jangka panjang untuk validasi prediksi penurunan struktur di kondisi aktual yang sesungguhnya. Untuk penelitian lanjutan, dapat menggunakan berbagai jenis pengujian lapangan untuk memvalidasi daya dukung dan penurunan fondasi, khususnya di tanah lunak.

Penyempurnaan prosedur pengujian kalendering dilapangan perlu dikembangkan secara optimal, agar hasilnya lebih representatif

dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, R. Novia. (2013). *Analisa Daya Dukung Tiang Spunpile Dengan Metode Uji Pembebanan Statik (Loading Test)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik*. 178–205. www.bsn.go.id
- Bowles, J. E. (1993). *Analisis Dan Desain Pondasi (Jilid 2)*.
- Fadilla, R. N., & Pradiptiya, A. (2022). *Analisis Daya Dukung Pondasi Spun Pile Dievaluasi Dengan Kalendering Dan PDA*. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 3(2), 20–24. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v3i2.394>
- Hardiyatmo, C. Hary. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi (Bagian II)*.
- Hardiyatmo, C. Hary. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi (Bagian I)*.
- Karyatama, C. C., Despa, D., Widyawati, R., Habibi, B. M., & N.S, M. (2025). *Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Sondir dan Kalendering pada Jembatan Talang Air Panemangan*. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 6(1). <https://doi.org/10.23960/jpi.v6n1.167>
- Khalisa, C. L., Yunita, H., & Sungkar, M. (2022). *Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Data Kalendering dan Data SPT*. *Journal of The Civil Engineering Student*, 4(1), 15–21.
- Lukman, H. (2017). *Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering*.
- Rahardjo, P. P. (2017). *Manual PondasiTiang*. 26–70.
- Randolph, M. F., & Wroth, P. C. (1978). *Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles*.