



Analisis Daya Dukung Pondasi Spun Pile Dievaluasi Dengan Kalendering Dan PDA

Rahma Nur Fadilla¹, Andikanoza Pradiptiya²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹rahmanurfadilla5@gmail.com, ²andikanoza.pradiptiya@sipil.pnj.ac.id*

Abstract

In a bridge construction project, there are two types of structures, namely the superstructure and the substructure. The foundation is part of the substructure that functions as the main support and the most important part that greatly affects the stability of the building above it. In foundation design, it is required to calculate the bearing capacity. The bearing capacity of the foundation can be predicted based on soil investigation data which compared by actual field dynamic test data. Dynamic test is carried out to determine the actual bearing capacity after pile installation. This research aims to predict of spun pile bearing capacity and settlement based on N-SPT data, then evaluated by dynamic test (PDA and calendering) at "X" Toll Road Construction Project. Moreover, an evaluation of the axial bearing capacity of single and group piles will be carried out against the workloads. The results shows that prediction of the bearing capacity closest to the PDA data using Luciano Decourt Method (1987) around 309.45 tons with a difference of 4.20% each other. Calendering analysis by Gates Method found that 301.46 tons with a difference of 50.8% against the prediction. The prediction of immediate settlement is obtained of 26.79 mm smaller than PDA result and a difference of 13.30%. The results of the evaluation of the axial bearing capacity of single and group piles against workloads show that both the predicted and actual (PDA and calendering) bearing capacity is greater than the workload.

Keywords: bearing capacity, calendering, pda test, settlement, spun pile.

Abstrak

Dalam suatu proyek konstruksi jembatan, terdapat dua jenis struktur, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah yang berfungsi sebagai pendukung utama dan bagian terpenting yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan bangunan di atasnya. Dalam perencanaan pondasi diperlukan perhitungan daya dukungnya. Daya dukung pondasi dapat diprediksi berdasarkan data penyelidikan tanah yang kemudian dibandingkan dengan data pengujian dinamis di lapangan. Pengujian dinamis dilakukan untuk mengetahui daya dukung aktual tiang yang terpasang. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi daya dukung dan penurunan spun pile berdasarkan data N-SPT, kemudian dievaluasi dengan pengujian dinamis (PDA dan kalendering) pada proyek Pembangunan Jalan Tol "X". Selain itu akan dilakukan evaluasi ketahanan daya dukung aksial tiang tunggal maupun grup terhadap beban yang bekerja pada pondasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi daya dukung yang paling mendekati PDA terdapat pada Metode Luciano Decourt (1987) yaitu 309,45 ton dengan selisih sebesar 4,20%. Daya dukung hasil kalendering dengan Metode Gates yaitu 301,46 ton dengan selisih sebesar 50,8% dari prediksi. Hasil prediksi penurunan segera diperoleh sebesar 26,79 mm lebih kecil dari PDA dengan selisih sebesar 13,30%. Hasil evaluasi ketahanan daya dukung aksial tiang tunggal maupun grup terhadap beban kerja didapat bahwa baik daya dukung prediksi maupun aktual (PDA dan kalendering) daya dukungnya lebih besar dibandingkan dengan beban kerja.

Kata kunci: daya dukung, kalendering, pda test, penurunan, spun pile.

Diterima Redaksi : 2022-08-25 | Selesai Revisi : 2022-11-24 | Diterbitkan Online : 2022-12-01

1. Pendahuluan

Pondasi merupakan suatu konstruksi dasar yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang berada di atasnya ke lapisan tanah dibawahnya. Pondasi perlu direncanakan berdasarkan jenis, kekuatan, dan daya dukung tanah karena sangat berpengaruh terhadap kestabilan bangunan di atasnya, sehingga dalam perencanaannya perlu kehati-hatian [1].

Dalam merencanakan suatu pondasi diperlukan perhitungan daya dukungnya. Kapasitas daya dukung dapat dihitung secara statis dengan konsep mekanika tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lapangan seperti data uji SPT (*Standard Penetration Test*) [2]. Setelah pondasi terpasang perlu dilakukan suatu pengujian guna mengkonfirmasi besarnya daya dukung yang terpasang secara aktual di lapangan [3]. Kapasitas daya dukung bisa didapatkan dengan pengujian dinamis



seperti uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan uji Kalendering di lapangan [1].

Pada proyek Pembangunan Jalan Tol “X” digunakan pondasi spun pile (salah satu jenis pondasi tiang pancang bulat). Pemilihan jenis pondasi ini dikarenakan kondisi tanah di lokasi pembangunan jalan tol lunak dan lapisan tanah keras terletak cukup dalam (>10 meter).

Pada penelitian ini, akan dilakukan perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi spun pile pada titik Pilar 4 Jembatan “X” yang berada di Jalan Tol “X” yang dihasilkan dari data penyelidikan tanah berupa hasil uji SPT, kemudian dievaluasi dengan pengujian dinamis yaitu hasil uji kalendering dan test PDA (*Pile Driving Analyzer*). Selain itu akan dilakukan evaluasi ketahanan daya dukung aksial tiang tunggal maupun grup terhadap beban yang bekerja pada pondasi.

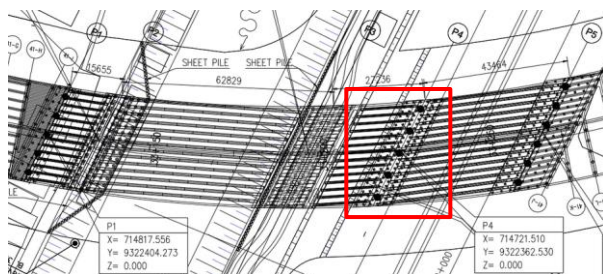
Prediksi daya dukung pondasi berdasarkan data N-SPT dan kalendering dilakukan dengan perhitungan manual beberapa metode. Daya dukung dengan data N-SPT dihitung menggunakan metode Meyerhof (1976), Briaud & Tucker (1985), Luciano Decourt (1987), dan Schmertmann (1967). Sedangkan daya dukung dengan data kalendering dihitung menggunakan metode Hilley, Modified Engineering News Record (ENR), Danish, Gates, dan Navy-Mc.Key. Beban yang bekerja pada pondasi diprediksi dengan analisa pembebanan struktur atas menggunakan perangkat lunak SAP2000.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana perbandingan daya dukung dan penurunan spun pile dari kedua metode (N-SPT dan pengujian dinamis). Selain untuk mengkonfirmasi besarnya daya dukung spun pile yang telah terpasang dan ketahanannya terhadap beban kerja aksial, dapat juga digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan suatu pondasi.

2. Metode Penelitian

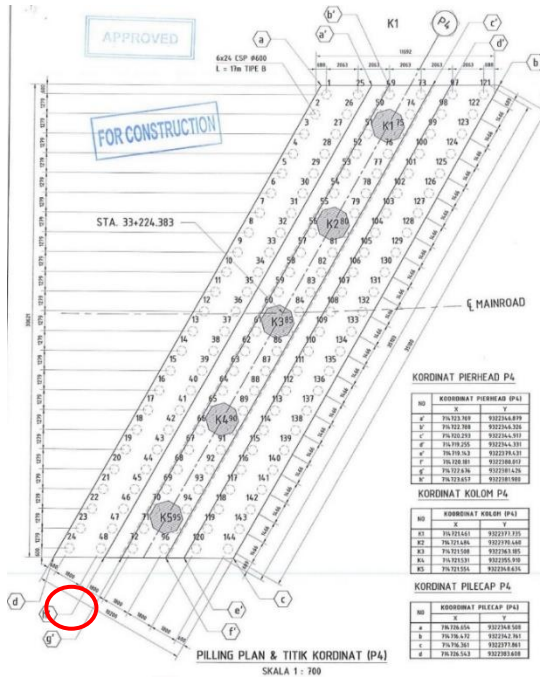
Penelitian ini dilakukan pada Pilar 4 Jembatan “X” pada proyek Jalan Tol “X” Seksi 4. Spun pile yang ditinjau adalah nomor 24, dengan spesifikasi:

- Ø Spun Pile : Ø600 mm
- L Spun Pile : 17 m
- Mutu Beton : 50 Mpa



Gambar 1. Lokasi Pilar 4 Jembatan "X"

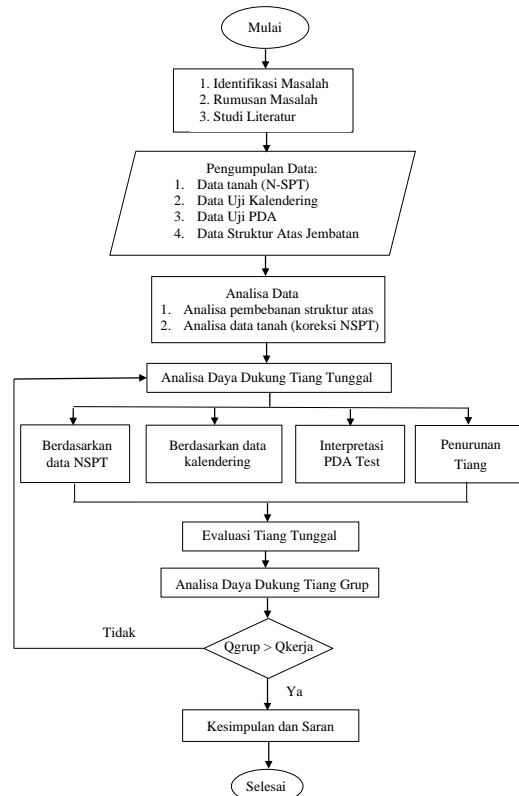
Jembatan “X” memiliki 5 pilar dengan bentang girder bervariasi. Pilar 4 terletak pada STA 33+224, di sisi dekat dengan kali.



Gambar 2. Plan Spun Pile Pilar 4

Dasar pile cap terletak pada elevasi -2,119 sehingga ujung tiang yang ditinjau terdapat pada kedalaman 18-20 m.

Langkah-langkah metode penelitian secara detail dijelaskan menggunakan diagram alir pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Metode penelitian dimulai dari tahapan studi literatur, identifikasi dan perumusan masalah, serta pengumpulan data yang meliputi data penyelidikan tanah berupa N-SPT, hasil Kalendering dan PDA, serta data perencanaan dan gambar struktur atas jembatan.

Tahap kedua dilakukan proses analisis pembebanan struktur atas dengan aplikasi SAP2000 dan analisis data tanah berupa koreksi nilai N hasil pengujian lapangan dan korelasi nilai N lapangan melalui tabel dan grafik untuk mendapatkan data parameter tanah laboratorium.

Tahap ketiga dilakukan perhitungan manual daya dukung berdasarkan data N-SPT dan kalendering dengan beberapa metode, Interpretasi PDA Test, serta penurunan tiang tunggal dengan alat bantu Microsoft Excel.

Untuk menghitung daya dukung persamaan yang digunakan adalah:

$$Q_u = F_p \cdot A_p + F_s \cdot A_s \quad (1)$$

Dengan F_p adalah tahanan pada ujung tiang (ton/m^2), A_p adalah luas penampang dasar tiang (m^2), F_s adalah tahanan selimut tiang (ton/m^2), dan A_s adalah luas selimut tiang (m^2)

Metode Meyerhof (1976)

Daya dukung ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji N-SPT. Meyerhof (1976) menyarankan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang tanah granuler [4]:

$$F_p = 40 \cdot N_p \cdot L/D \leq 400 \cdot N_p \quad (2)$$

Untuk tahanan selimut tiang tanah granuler digunakan persamaan:

$$F_s = 2 \cdot N \quad (3)$$

Untuk tahanan ujung tiang tanah granuler cara statik [5]:

$$F_p = q' \cdot N_q^* \leq 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi \quad (4)$$

Untuk tahanan selimut tiang tanah granuler cara statik digunakan persamaan:

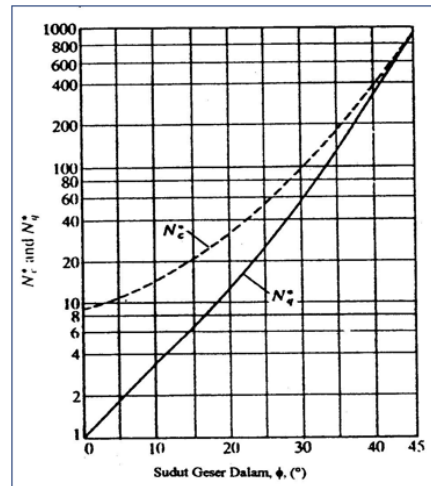
$$F_s = K \cdot q' \cdot \tan \phi \quad (5)$$

Untuk tahanan selimut tiang tanah kohesif digunakan persamaan:

$$F_s = \alpha \cdot C_u \quad (6)$$

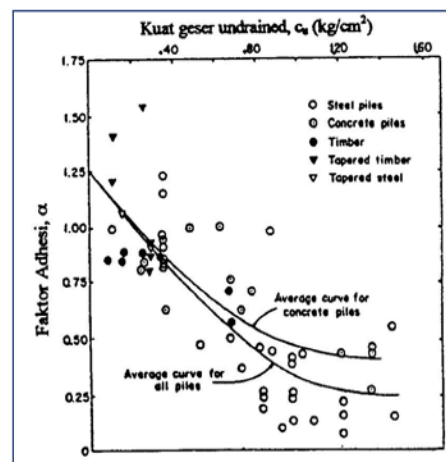
Dengan N_p adalah N terkoreksi rata-rata pada elevasi dasar tiang (10D keatas dan 4D dibawah dari ujung tiang), q' adalah tegangan vertikal efektif (kn/m^2), N_q^* adalah faktor daya dukung ujung, ϕ adalah sudut geser tanah, K adalah konstanta = $1 - \sin \phi$, α adalah koefisien adhesi, dan c_u adalah kohesi undrained (kn/m^2).

Berikut ini gambar faktor daya dukung N_q^* terhadap ϕ :



Gambar 4. Faktor daya dukung N_q^* terhadap ϕ menurut Meyerhof (1976)[5]

Berikut ini gambar variasi nilai α terhadap C_u :



Gambar 5. Variasi nilai α terhadap C_u menurut Tomlinson (1986)[5]

Metode Briaud & Tucker (1985)

Briaud & Tucker (1985) menerapkan metode yang umumnya berlaku untuk jenis tanah apapun. Persamaan untuk menghitung tahanan ujung [6]:

$$F_p = 19,7 \times \sigma \times N60^{0,36} \quad (7)$$

Untuk tahanan selimut digunakan persamaan:

$$F_p = 0,224 \times \sigma \times N60^{0,29} \quad (8)$$

Dengan σ adalah tegangan referensi 100 kn/m^2 atau 10 t/m^2 dan $N60$ adalah N_{spt} yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan.

Metode Luciano Decourt (1987)

Luciano Decourt (1987) menyarankan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang [7]:

$$F_p = \alpha \times (N_p \times K) \quad (9)$$

Untuk tahanan selimut digunakan persamaan:

$$F_s = \beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \quad (10)$$

Dengan α adalah koefisien dasar tiang (untuk tiang pancang koefisien 1), K adalah koefisien karakteristik tanah, β adalah koefisien selimut tiang (untuk tiang pancang koefisien 1), N_p adalah N terkoreksi rata-rata pada elevasi dasar tiang (4D keatas dan 4D dibawah dari

ujung tiang), dan N_s adalah nilai rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam

Tabel 1 Koefisien tanah (K) menurut Decourt,1996[6]

Jenis Tanah	Nilai K (ton/m ²)
Lempung	12
Lanau Berlempung	20
Lanau Berpasir	25
Pasir dan Kerikil	40

Metode Schmertmann (1967)

Tabel 2 menunjukkan nilai korelasi tahanan ujung tiang dan gesekan selimut yang diusulkan Schmertmann [8]:

Tabel 2 Korelasi Tahanan Ujung dan Gesekan Selimut menurut Schmertmann,1967

Jenis Tanah	Deskripsi	Gesekan selimut (kg/cm ²)	Tahanan ujung (kg/cm ²)
Pasir bersih (*)	GW, GP, GM, SW, SP, SM	0.019N	3.2N
Lempung lanau bercampur pasir, pasir kelanauan, lanau	GC, SC, ML, CL	0.04N (**)	1.6N
Lempung plastis	CH, OH	0.05N (**)	0.7N
Batu gemping rapuh, pasir berkarang		0.01N	3.6N

(*) Untuk $N > 60$, diambil $N = 60$

(**) Dianjurkan untuk memberikan reduksi untuk lempung teguh dan lempung pasir

Daya Dukung Pondasi (Kalendering)

Metode Hilley

$$Q_u = \frac{2 \times E \times W_r \times H}{S+K} \times \frac{W_r+(N^2 \times W_p)}{W_r+W_p} \quad (11)$$

Metode Modified Engineering News Record (ENR)

$$Q_u = \frac{E \times W_r \times H}{S+C} \times \frac{W_r+(N^2 \times W_p)}{W_r+W_p} \quad (12)$$

Metode Danish

$$Q_u = \frac{E \times E_a}{S + \left[\frac{E \times E_a \times L}{2 \times A \times E_p} \right]^{0.5}} \quad (13)$$

Metode Gates

$$Q_u = \alpha \times \sqrt{E \cdot E_a} \quad (b - \log s) \quad (14)$$

Metode Navy-Mc.Key

$$Q_u = \frac{E \times E_a}{s(1 + 0,3 C1)} \quad (15)$$

$$C1 = \frac{W_p}{W_r} \quad (16)$$

Dengan E adalah Efisiensi alat pancang (diesel hammer 0,85 – 1), E_a adalah Energi alat pancang (kg cm), W_p adalah Berat Tiang Pancang, W_r adalah Berat hammer, H adalah Tinggi Jatuh Ram, A adalah Luas Penampang tiang (cm²), a dan b adalah Koefisien (Standar International (metric) $a = 104,25$; $b = 2,4$), E_p adalah Modulus elastisitas bahan (kg/cm²), S adalah Nilai Penetrasi akhir per pukulan, K adalah Nilai Pantulan pada saat pukulan terakhir, n adalah Koefisien restitusi antara ram dan pile cap (tiang beton 0,3-0,5), dan C

adalah Konstanta temporary elastic compression (diesel hammer 25,4 mm).

Pada saat pondasi diberikan beban, tiang akan mengalami pendekatan dan tanah disekitar tiang akan menurun. Penyebab penurunan tanah disekitar tiang adalah karena perubahan susunan tanah ataupun berkurangnya rongga pori/air di dalam tanah [9]. Rumus Vesic (1977) akan digunakan dalam perhitungan penurunan segera.

Tahap keempat dalam penelitian ini adalah mengevaluasi daya dukung tiang tunggal dan penurunan hasil perhitungan dengan PDA.

Metode uji dengan High Strain Dynamic Pile atau lebih dikenal sebagai PDA mencakup metode penerapan gaya tumbukan aksial oleh tumbukan beban berat (palu alat pancang) yang mengakibatkan regangan relatif tinggi di bagian atas pondasi dalam arah vertikal ataupun miring beserta prosedur pengukuran reaksi gaya dan kecepatan dari tiang pondasi akibat perlawanan atau reaksi tanah [10]. Dalam metode analisis PDA test dibagi menjadi 2, yaitu Case Method dan CAPWAP [11].

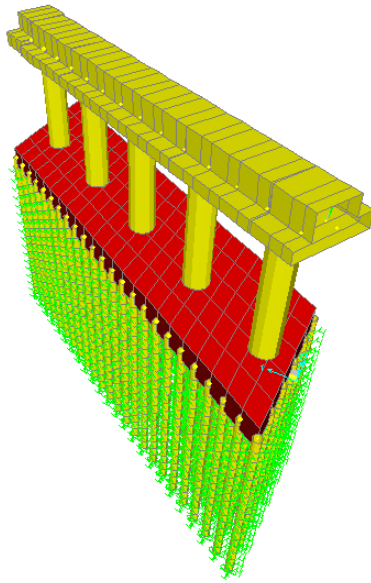
Tahap kelima dalam penelitian ini adalah menganalisis daya dukung tiang grup karena dalam penggunaan sesungguhnya di lapangan, pondasi tiang biasanya dirancang dan dibangun dalam bentuk grup/kelompok [12]. Tiang pancang dapat dikatakan memiliki daya dukung grup apabila jarak antar tiang berkisar 2,5D-9D [13]. Pada tahap ini akan dihitung efisiensi tiang grup terlebih dahulu. Efisiensi adalah pengurangan daya dukung kelompok tiang akibat pengaruh grup. Perhitungan efisiensi diambil rata-rata dari beberapa metode seperti Converse – Labbarre dari Uniform Building Code AASHTO, Formula sederhana, Los Angeles Group Action equation, dan Seiler-Keeney equation.

Langkah akhir berupa evaluasi apakah daya dukung tiang grup mampu menahan beban kerja, penarikan kesimpulan, serta saran dari penelitian yang dilakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Pembebanan Struktur Atas dan Data Tanah

Permodelan struktur atas jembatan pada perangkat lunak SAP2000 menggunakan material dan ukuran yang sesuai dengan spesifikasi rencana.



Gambar 6. Permodelan Struktur Atas Pilar 4

Beban kerja aksial yang digunakan dalam analisa adalah beban terbesar dari 3 kombinasi beban, yaitu 8798,675 ton. Akibat beban yang bekerja tidak sentris, maka setiap tiang memiliki pembebanan yang berbeda. Beban kerja aksial tiang tunggal (Nomor 24) yang akan digunakan dalam analisa sebesar 13,44 ton.

Tabel 3. Data Parameter Tanah Laboratorium

Kedalaman (m)	Lapisan Tanah	N	Efisiensi	N60	γ_{sat} N (KN/m ³)	Cu (t/m ²)	ϕ'	Dr
1-2	Clay	6	0.83	5.00	18.50	3.60		
2-4	Clay	1	0.83	0.83	16.00	0.60		
4-6	Clay	2	0.83	1.67	16.00	1.20		
6-8	Clay	1	0.83	0.83	16.00	0.60		
8-10	Clay	1	0.83	0.83	16.00	0.60		
10-12	Clay	7	0.83	5.83	19.25	4.20		
12-14	Clay	13	0.83	10.83	21.14	7.80		
14-16	Sand	61	0.83	50.83	22.67	40	0.80	
16-18	Sand	61	0.83	50.83	22.67	40	0.80	
18-20	Sand	61	0.83	50.83	22.67	40	0.80	
20-22	Sand	63	0.83	52.50	23.00	40	0.80	
22-24	Sand	60	0.83	50.00	22.50	40	0.80	
24-26	Sand	61	0.83	50.83	22.67	40	0.80	
26-28	Sand	61	0.83	50.83	22.67	40	0.80	
28-30	Sand	60	0.83	50.00	22.50	40	0.80	

Berdasarkan hasil N-SPT di lapangan didapat bahwa struktur lapisan tanah didominasi oleh jenis lempung pada kedalaman 0-14 m dan pasir pada kedalaman 14-30 m.

Analisis Daya Dukung Berdasarkan Hasil Uji N-SPT

Daya dukung pondasi menurut Das (2016) adalah penjumlahan daya dukung ujung tiang (Qp) dan tahanan gesek selimut tiang (Qs) [3]. Daya dukung tiang tunggal berdasarkan nilai N-SPT dengan beberapa metode dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Dengan Data N-SPT

Metode Perhitungan	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)	Qa (ton)
Statis (Korelasi data lap)	450.77	99.10	549.87	199.81
Meyerhof (1976)	451.21	150.94	602.15	225.88
Briaud & Tucker (1985)	229.12	143.91	373.04	148.33
Luciano Decourt (1987)	574.91	235.62	810.53	309.45
Schmertmann (1967)	517.42	88.91	606.33	216.93

Faktor keamanan yang digunakan adalah 3 untuk tahanan ujung dan 2 untuk tahanan selimut.

Daya dukung menggunakan data N-SPT terbesar terdapat pada Metode Luciano Decourt (1987) sebesar 309,45 ton dan daya dukung terkecil pada Metode Briaud & Tucker (1985) sebesar 148,33 ton.

Analisis Daya Dukung Berdasarkan Hasil Uji Kalendering

Kalendering digunakan pada pemancangan tiang untuk memperkirakan besarnya daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan dari proses pemukulan alat pancang [14]. Daya dukung tiang tunggal berdasarkan data kalendering dengan beberapa metode dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Daya Dukung Dengan Data Kalendering

Metode Perhitungan	Qu (ton)
Hilley	466.56
ENR	637.48
Danish	663.32
Gates	301.46
Navy - Mc.Key	624.13

Daya dukung menggunakan data kalendering terkecil terdapat pada Metode Gates sebesar 301,46 ton dan daya dukung terbesar pada Metode Danish sebesar 663,32 ton.

Daya Dukung Berdasarkan Hasil Uji PDA Test

Dalam uji PDA digunakan pemukul jenis diesel hammer dengan berat hammer 6,5 ton. PT “X” dalam laporan hasil pengujiannya memberikan daya dukung dan penurunan pondasi tiang tunggal seperti tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Daya Dukung dan Penurunan Hasil PDA Test

PDA	CAPWAP			
	Qu (ton)	Qs (ton)	Qp (ton)	Penurunan elastis (mm)
314	323	69	254	30.9

Dari hasil PDA, diperoleh daya dukung sebesar 314 ton dengan Case Method, 323 ton dengan CAPWAP, dan penurunan segera sebesar 30,9 mm.

Analisis Penurunan Segera Tiang Tunggal

Penurunan segera merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa perubahan kadar air [15]. Berikut hasil perhitungan penurunan segera tiang tunggal dengan nilai daya dukung menggunakan berbagai metode dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Penurunan Segera

Metode Perhitungan	Penurunan (perhitungan) (mm)
Statis (Korelasi data lap)	22.93
Meyerhof	23.50
Briaud & Tucker (1985)	20.04
Luciano Decourt (1987)	26.79
Schmertmann (1967)	24.26

Penurunan segera terkecil terdapat pada Metode Briaud & Tucker (1985) sebesar 20,04 mm dan penurunan terbesar pada Metode Luciano Decourt (1967) sebesar 26,79 mm.

Evaluasi Daya Dukung Tiang Tunggal Terhadap Beban Kerja

Akibat konsolidasi lapisan lempung, maka bagian tiang pada kedalaman 0-14 m akan mendukung gaya gesek negatif, gaya ini merupakan gaya tambahan yang harus didukung tiang. Qneg hasil perhitungan didapat sebesar 43,43 ton, sehingga beban total yang harus didukung tiang tunggal adalah beban kerja 1 tiang ditambah Qneg yaitu 56,86 ton.

Tabel 8. Evaluasi Daya Dukung Tiang Tunggal Terhadap Beban Kerja

Metode Perhitungan	Daya dukung izin (ton)	Q Kerja 1 tiang (ton)	Evaluasi
Statis (Korelasi data lap)	199,81	56.86	Aman, $Q_u > Q$ Kerja
Meyerhof	225.88		Aman, $Q_u > Q$ Kerja
Briaud & Tucker (1985)	148.33		Aman, $Q_u > Q$ Kerja
Luciano Decourt (1987)	309.45		Aman, $Q_u > Q$ Kerja
Schmertmann (1967)	216.93		Aman, $Q_u > Q$ Kerja

Berdasarkan perhitungan daya dukung prediksi dengan beberapa metode, didapat hasil bahwa daya dukung lebih besar dari beban yang bekerja ($Q_u > Q$ kerja), maka tiang dalam kondisi aman dan mampu menahan beban kerja aksial.

Evaluasi Perbandingan Daya Dukung Hasil N-SPT dengan Pengujian Dinamis

Tabel 9. Evaluasi Perbandingan Daya Dukung Data N-SPT dan PDA Test

Metode Perhitungan	Qa (ton)	PDA CAPWAP	Evaluasi	Selisih
Meyerhof	225.88		Aman, PDA > Rencana	30.07%
Briaud & Tucker (1985)	148.33	323.00	Aman, PDA > Rencana	54.08%
Luciano Decourt (1987)	309.45		Aman, PDA > Rencana	4.20%
(1967)	216.93		Aman, PDA > Rencana	32.84%

Daya dukung prediksi yang paling kritis dengan data N-SPT terdapat pada Metode Briaud & Tucker (1987) sebesar 148,33 ton dengan selisih 54,08% dari PDA. Daya dukung prediksi terbesar dan paling mendekati PDA adalah Metode Luciano Decourt (1987) sebesar 309,45 ton dengan selisih 4,2% dari PDA. Dari Tabel 9 diatas dapat terlihat daya dukung hasil prediksi dengan hasil kritis maupun terbesar semuanya lebih kecil dari PDA Test.

Tabel 10. Evaluasi Perbandingan Daya Dukung Data N-SPT dan Kalendering

Metode Perhitungan	Qu (ton)	Qa (ton)	Evaluasi	Selisih dg Rencana	Selisih dg PDA
Hilley	466.56	148.33	Aman, Kalendering > Rencana	68.21%	44.4%
ENR	637.48		Aman, Kalendering > Rencana	76.73%	97.4%
Danish	663.32		Aman, Kalendering > Rencana	77.64%	105.4%
Gates	301.46		Aman, Kalendering > Rencana	50.80%	6.7%
Navy - Mc,Key	624.13		Aman, Kalendering > Rencana	76.23%	93.2%

Daya dukung prediksi Metode Briaud & Tucker (1985) akan dijadikan acuan dalam evaluasi daya dukung prediksi dengan kalendering karena hasilnya paling kritis. Berdasarkan Tabel 10 diketahui daya dukung menggunakan data Kalendering dengan nilai terbesar terdapat pada Metode Danish yaitu 663,32 ton dengan selisih sebesar 77,64% dari hasil N-SPT. Sedangkan daya dukung terkecil dan paling mendekati PDA Test serta hasil N-SPT terdapat pada Metode Gates yaitu 301,46 ton dimana selisihnya sebesar 6,7% dengan PDA dan 50,80% dengan hasil N-SPT. Dari Tabel 10 diatas dapat terlihat daya dukung hasil kalendering baik yang kritis maupun yang terbesar semuanya lebih besar dari daya dukung prediksi (N-SPT).

Evaluasi Perbandingan Penurunan Tiang Tunggal

Tabel 11. Evaluasi Perbandingan Penurunan Data N-SPT dan PDA Test

Metode Perhitungan	Penurunan (perhitungan) (mm)	Penurunan (PDA Test) (mm)	Selisih
Statis (Korelasi data lap)	22.93	30.90	25.79%
Meyerhof	23.50		23.95%
Briaud & Tucker (1985)	20.04		35.15%
Luciano Decourt (1987)	26.79		13.30%
Schmertmann (1967)	24.26		21.49%

Menurut Reese & Wright (1997) penurunan izin adalah 10%D yaitu 60 mm, sedangkan dalam RSNI 8460:2017 penurunan izin < 15 cm + b/600 [16] yaitu 151 mm. Pada Tabel 11 dapat terlihat bahwa penurunan masih dalam batas aman karena masih lebih kecil dari batas ijin penurunan.

Analisis Daya Dukung Tiang Grup

Setelah perhitungan daya dukung tiang tunggal, daya dukung tiang kelompok akan dihitung karena pada pemanfaatan sesungguhnya tiang akan berkerja secara grup dengan pilecap dalam menahan beban luar yang terjadi.

Tabel 12. Rekapitulasi Efisiensi Tiang Grup

Metode Perhitungan	Eg
Formula Sederhana	0.311
Converse - Labarre dari Uniform Building Code AASHTO	0.557
Los Angeles Group Action Equation	0.619
Seiler-Keeney Equation,1994	0.680
Eg rata-rata	0.542

Efisiensi tiang grup di ambil dari nilai rata-rata 4 metode yaitu 0,542.

Dari perhitungan daya dukung tiang tunggal sebelumnya, dapat dilihat hasil daya dukung yang paling kritis dengan data N-SPT terdapat pada Metode Briaud & Tucker (1987) dan dengan data kalendering terdapat pada Metode Gates. Dengan demikian, Metode Briaud & Tucker (1987) dan Gates akan dijadikan acuan dalam perhitungan daya dukung tiang grup.

Tabel 13. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Grup

Metode Perhitungan	Daya Dukung Tiang Tunggal(ton)	Daya Dukung Tiang Grup(ton)
N-SPT (Briaud & Tucker)	148.33	8824.49
Kalendering (Gates)	301.46	20775.49
PDA (CAPWAP)	323.00	22456.62

Daya dukung tiang grup hasil N-SPT didapat sebesar 8824,49 ton, dengan data kalendering sebesar 20775,4 ton, dan dengan data PDA sebesar 22456,62 ton.

Evaluasi Daya Dukung Tiang Grup Terhadap Beban Kerja

Tabel 14. Evaluasi Daya Dukung Tiang Grup Terhadap Beban Kerja

Metode Perhitungan	Daya Dukung Tiang Grup(ton)	Q Kerja (ton)	Evaluasi
N-SPT (Briaud & Tucker)	8824.49		Aman, Qu Grup > Q Kerja
Kalendering (Gates)	20775.49	8798.68	Aman, Qu Grup > Q Kerja
PDA (CAPWAP)	22456.62		Aman, Qu Grup > Q Kerja

Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang grup dengan beberapa metode, didapat hasil bahwa daya dukung tiang grup lebih besar dari beban yang bekerja

(Qu Grup > Q kerja), maka tiang dalam kondisi aman dan mampu menahan beban kerja aksial.

4. Kesimpulan

Hasil daya dukung tiang tunggal menggunakan data N-SPT baik yang kritis maupun yang terbesar lebih kecil dari hasil pengujian dinamis (kalendering dan PDA), maka dapat dikatakan aman karena hasil aktual lebih besar daripada prediksi. Penurunan segera hasil perhitungan maupun PDA hasilnya lebih kecil dari penurunan ijin. Hasil evaluasi ketahanan daya dukung tiang tunggal maupun grup terhadap beban kerja didapat bahwa baik daya dukung prediksi maupun aktual (PDA dan kalendering) daya dukungnya lebih besar dibandingkan beban kerja.

Daftar Rujukan

- [1] M. A. Sagita, F. Fahrianti, dan Y. Apriyanti, "Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Hasil Uji SPT Dan Uji Beban Dinamis Pada Proyek Penggantian Jembatan Baturusa," *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat*, pp. 1–4, Okt 2020.
- [2] H. C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, 3 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [3] H. T. Santoso dan J. Hartono, "Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT Dan Pengujian Dinamis," *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, vol. 4, pp. 30–38, Sep 2020.
- [4] C. R. Siregar, "Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Secara Analitis Pada Proyek GBI Bethel Medan," Medan, 2012.
- [5] E. Seftian, R. J. E. R. Sumampouw, dan S. Balamba, "Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Statik Dan Calendering Studi Kasus : Proyek Pembangunan Manado Town Square 3," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 9, pp. 631–643, 2015.
- [6] M. S. Putri, Y. Apriyanti, dan F. Fahriani, "Aanalisis Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Tiang Pancang Tunggal Dengan Metode Statik Dan Uji Beban," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, pp. 210–215, Okt 2018.
- [7] A. Harahap, "Analisa Daya Dukung Tiang Secara Statis Dan Dinamis Pada Pembangunan Jembatan Alalak Banjarmasin," 2020.
- [8] S. Prima, I. B. Santoso, dan J. A. Setyarini, "Studi N-SPT Mengenai Daya Dukung Tiang Pancang Pada Konstruksi Pile Slab Proyek Jalan Tol Jakarta-Kunciran-Cengkareng," 2019.
- [9] D. Kurniawan, "Hubungan Nilai Konsolidasi dan Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung yang Disubstitusi Material Pasir," 2015.

- [10] R. Aldino, “Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data SPT, Dan Data PDA Test Pada Tiang Pancang No. 7 Dan No. 25 Pile Cap No. 1 Overpass STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai,” *Universitas Islam Riau*. Pekanbaru, 2019.
- [11] Binamarga, “Ketentuan Praktis Uji Pondasi Tiang Jembatan.” Binamarga, Jakarta, 2016.
- [12] A. Hakam, *Rekayasa Pondasi*. Padang: CV. Bintang Grafika, 2008.
- [13] A. Afriyanto, “Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya,” Surabaya, 2017.
- [14] H. Lukman, “Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering,” Bogor.
- [15] L. Cassiophea, “Relationship Of Pore Number With Consolidation Settlement Of Clay,” *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan BALANGA*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2014.
- [16] A. Azizi, M. A. Salim, dan S. Anjarwati, “Analisis Penurunan Pondasi Tiang Bor Dengan Metode Empiris Dan Uji Beban Pada Proyek Gedung ‘K’ Universitas Muhammadiyah Purwokerto,” *Jurnal Nasional UMP*, vol. 3, no. 1, pp. 25–32, 2022