

KOMPARASI KAPASITAS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA N-SPT, KALENDERING, DAN PDA TEST (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2: STA 10+690 s.d. 27+000)

Nindita Pratama ¹⁾, Prajna Estetikaning Nagari ¹⁾, Sudarmono ^{1*)}, Karnawan Joko Setyono ¹⁾, Anung Suwarno ¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275
*E-mail: sudarmono@polines.ac.id

ABSTRAK

Ruas Jalan Tol Semarang – Demak diharapkan dapat mengatasi kemacetan di jalur pantura Semarang-Demak-Surabaya yang sudah melebihi kapasitas. Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2 dibangun di atas tanah lunak dan mempunyai karakteristik daya dukung rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, dipilih konstruksi jalan dengan sistem struktur plat pada tiang (Slab on Pile). Konstruksi plat tiang mempunyai daya dukung yang baik untuk kondisi tanah tersebut, dimana beban konstruksi bagian atas ditahan oleh gaya geser (gaya gesek) sepanjang selimut tiang. Sistem Slab on Pile menggunakan perhitungan kapasitas daya dukung friksi. Penentuan kapasitas daya dukung tiang dapat dilakukan metode empiris: berdasarkan data N-SPT (Standart Penetration Test) menggunakan metode Meyerhoff (1976) dan kontrol akhir dengan data kalendering menggunakan metode Hilley (1930) serta PDA Test (Pile Driving Analyzer) dengan analisis CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program). Berdasarkan penelitian diperoleh daya dukung kalendering terhadap jumlah segmen dari konfigurasi tiang pancang menunjukkan peningkatan secara linear. Perbandingan daya dukung tiang pancang berdasarkan metode empiris yaitu data N-SPT dengan metode Meyerhoff cenderung memiliki nilai daya dukung yang lebih kecil dari hasil pengujian dinamik melalui PDA. Sedangkan berdasarkan kalendering menggunakan metode Hilley menunjukkan nilai daya dukung yang relatif sama dengan PDA, hal ini karena keduanya merupakan tes dinamik.

Kata kunci: Tanah Lunak, N-SPT, Kalendering, PDA Test, Daya Dukung Friksi.

PENDAHULUAN

Ruas Jalan Tol Semarang - Demak diharapkan dapat meminimalisir kemacetan yang terjadi di jalur pantura Semarang - Demak - Surabaya. Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2 dibangun diatas tanah lunak dan mempunyai karakteristik daya dukung tanah kecil. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dipilih struktur *Slab on Pile*. Pada struktur ini terdiri dari slab (pelat), *pile head*, dan tiang - tiang pancang yang ditanam sampai kedalaman yang sudah ditentukan. Pondasi tiang pancang digunakan sebagai pondasi utama, karena tanah dasar tersebut tidak

mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul beban di atasnya, dan letak tanah keras yang memiliki daya dukung cukup untuk memikul berat dari beban bangunan di atasnya terletak pada posisi sangat dalam. Sehingga pada Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2 ini yang memiliki kondisi tanah lunak menggunakan perhitungan daya dukung friksi, dimana beban konstruksi bagian atas ditahan oleh gaya geser sepanjang selimut tiang.

Berbagai referensi yang terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti kali ini diambil dari Putri, R. M.

(2017) yang menganalisis mengenai perbandingan hasil pengujian daya dukung pondasi tiang pancang dari interpretasi pengujian *PDA Test* dengan perhitungan berdasarkan hasil SPT. Selain itu Aldino,R. (2019) juga meninjau mengenai perbedaan kuat dukung tiang tunggal antara data kalendering, data SPT, dan data *PDA Test*. Penelitian dari Sagita, Fahriani, & Apriyanti. (2020) yang menganalisis mengenai perbandingan daya dukung tiang pancang dari data hasil uji SPT dan hasil uji beban di lapangan yaitu hasil uji kalendering dan *PDA Test*.

Dari ketiga penelitian tersebut, maka peneliti bertujuan untuk mengetahui daya dukung rencana berdasarkan hasil penyelidikan tanah (N-SPT) karena pemancangan dilakukan pada tanah dasar yang lunak. Ketika di lapangan dilakukan pemancangan dengan konfigurasi jumlah segmen tiang pancang bervariasi, sehingga dapat dicari data antara jumlah pukulan dan final set tiap segmennya. Kemudian dilakukan perhitungan daya dukung pada tiap segmen tiang pancang berdasarkan data kalendering tersebut. Selanjutnya terdapat data *PDA Test* yang harus diketahui daya dukungnya, untuk itu dilakukan komparasi kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT menggunakan “metode Meyerhoff”, data kalendering menggunakan “metode Hilley”, dan melalui pengujian langsung *PDA Test* pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2.

METODE PENELITIAN

Alur Penelitian

Urutan penelitian dari awal hingga akhir yang meliputi data primer, data sekunder, analisis data, hasil proses data, evaluasi hasil dan proses data, serta

kesimpulan dari penelitian ini berikut langkah - langkahnya.

1. Pengambilan data primer yang berisi data pengamatan langsung di lapangan berupa data *pile driving record*, serta data kalendering dari segmen 1 sampai segmen 3.
2. Pengambilan data sekunder yang berisi data penyelidikan tanah N-SPT, data kalendering segmen 4, data *PDA Test*, serta gambar kerja.
3. Setelah memperoleh data primer dan data sekunder selanjutnya dilakukan analisis data dengan menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT, menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering tiap segmen, dan menganalisis daya dukung tiang pancang berdasarkan data *PDA Test*.
4. Dari hasil olah data dapat diketahui pengaruh daya dukung terhadap jumlah segmen serta korelasi hasil daya dukung tiang antara *PDA Test* dengan hasil N-SPT dan kalendering.
5. Setelah itu dilakukan evaluasi hasil proses data penelitian.
6. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Analisis Data

Dari data N-SPT (*Standard Penetration Test*) yang diperoleh dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2 digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang yang memiliki kondisi tanah kohesif ini menurut metode Meyerhoff (1976), dengan rumus sebagai berikut.

- Daya dukung ujung pondasi tiang
$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \quad (1)$$

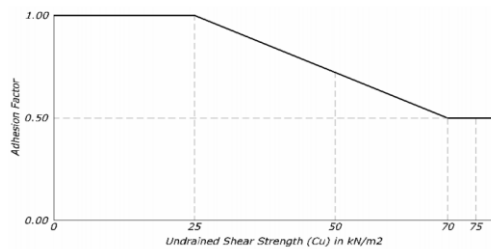
- Tahanan geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \times c_u \times P \times L_i \quad (2)$$

Dimana:

$$c_u = \text{kohesi undrained (kN/m}^2\text{)} \\ = N_{spt} \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (3)$$

- Ap = luas penampang tiang (m²)
- α = koefisien adhesi antara tanah dan tiang (Gambar 1)
- P = keliling tiang (m)
- L_i = tebal lapisan tanah setiap interval sesuai kedalaman tiang (m)



Gambar 1. Grafik hubungan antara kuat geser (cu) dengan faktor adhesi (α) (API, 1986)

Selanjutnya data kalendering tiap segmen tiang pancang dari segmen 1 hingga segmen 4 yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2, maka dilakukan perhitungan daya dukung tiang pancang menurut metode Hilley (1930) dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_u = \frac{eh \times Eh}{S + \frac{1}{2}K} \times \frac{Wr + (n^2 \times Wp)}{Wr + Wp} \times \frac{1}{Sf} \quad (4)$$

Keterangan :

- eh = efisiensi *hammer*
- Eh = energi *hammer* = Wr x H
- S = *final set* (cm/blows)
- K = *rebound* dari pukulan terakhir (cm)
- Wr = berat ram (ton)
- N = koefisien restitusi
- Wp = berat tiang pancang (ton)
- Sf = *safety factor* (SF = 3)
- H = tinggi jatuh *hammer* (cm)

Sedangkan dari data *Pile Driving Analyzer (PDA Test)* yang diperoleh pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2, maka didapatkan hasil daya dukung ultimit tiang pancang berdasarkan analisis CAPWAP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan daya dukung tiang pancang dapat dilakukan dengan metode empiris dengan cara statis dan cara dinamis. Yang pertama daya dukung dengan cara statis berdasarkan data N-SPT menggunakan “metode Meyerhoff”, kemudian dengan cara dinamis berdasarkan data kalendering menggunakan “metode Hilley”. Karena dengan data kalendering akan dilakukan perhitungan daya dukung tiang pancang dari segmen 1 hingga segmen 4 (segmen terakhir) untuk mengetahui pengaruh kapasitas daya dukung tiang pancang terhadap jumlah segmen (batang), apakah linear atau non linear. Selanjutnya hasil dari seluruh perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengujian langsung melalui *PDA Test*.

Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data N-SPT

Menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2 yang memiliki kondisi tanah kohesif ini dengan menggunakan “metode Meyerhoff”.

Hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT dengan kondisi tanah berbeda - beda pada titik pengamatan lain yang dapat dilihat pada lampiran, diperoleh hasil dan disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1.
Hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT
Metode Meyerhoff

STA	Daya Dukung Ujung (Qp) (ton)	Daya Dukung Selimut (Qs) (ton)	Daya Dukung Ultimate (Qu) (ton)
14+575	62.277	980.746	1043.023
14+875	70.926	731.510	802.437
15+025	57.087	905.258	962.345
15+175	64.007	680.615	744.622
15+325	67.467	746.977	814.444
15+475	62.277	699.795	762.072

Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering

Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering tiap segmen dari segmen 1 hingga

segmen 4 (segmen terakhir) dengan menggunakan “metode Hilley”, hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering untuk semua titik - titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

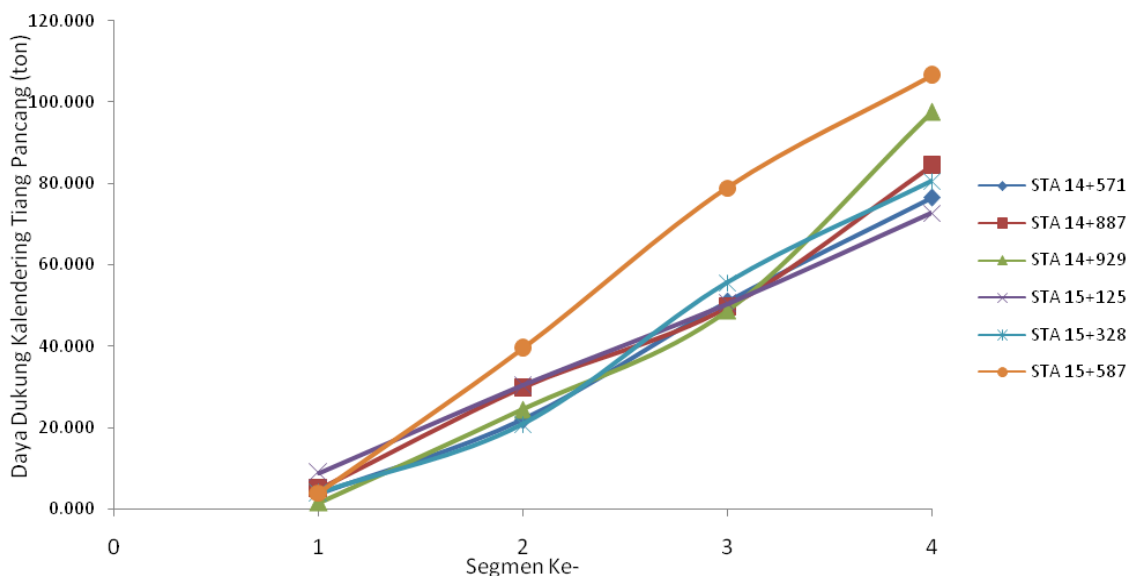
Tabel 2.
Daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering

STA	Nomor Tiang	Metode Hilley			
		Segmen 1 (ton)	Segmen 2 (ton)	Segmen 3 (ton)	Segmen 4 (ton)
14+571	126B	3.823	21.847	50.975	76.463
14+887	28G	4.952	29.711	49.519	84.407
14+929	34I	1.539	24.373	48.745	97.490
15+125	80H	8.902	30.266	50.443	72.754
15+328	91D	3.879	20.848	55.594	80.571
15+587	128G	3.942	39.422	78.845	106.547

Dan hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering dari masing - masing titik pengamatan tersebut dibuat grafik hubungan pada Gambar 2. Hasil dari perhitungan

tersebut juga menunjukkan bahwa pengaruh kapasitas daya dukung tiang pancang terhadap jumlah segmen cenderung mendekati linear.

Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering Tiap Segmen



Gambar 2. Grafik hubungan daya dukung kalendering tiang pancang terhadap jumlah segmen seluruh titik pengamatan
(Sumber: Data perhitungan pribadi)

Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil PDA Test

Untuk hasil daya dukung tiang pancang melalui pengujian *PDA Test* juga analisis CAPWAP pada masing - masing titik pengamatan yang lain, dapat dilihat pada lampiran dan disajikan dalam Tabel 3 berikut.

14+975	12F	315
15+086	56A	222
15+320	89A	249
15+485	133J	254

Tabel 3.

Daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil *PDA Test*

STA	Nomor Tiang	Daya Dukung Ultimate (Qu) (ton)
14+550	122A	292
14+857	24J	238

Komparasi Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data N-SPT, Kalendering, dan PDA Test

Dari analisis daya dukung tiang pancang masing - masing titik pengamatan yang telah dilakukan berdasarkan data N-SPT, kalendering, dan *PDA Test* maka hasilnya dapat dilihat melalui Tabel 4 berikut.

Tabel 4.

Hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT, Kalendering, dan *PDA Test*

STA	N-SPT (ton)	Kalendering Segmen Terakhir (ton)	PDA Test (ton)
14+571	216.908	272.612	292
14+887	169.944	230.709	238

14+929	200.081	278.542	315
15+125	157.459	208.877	222
15+328	171.884	229.966	249
15+587	160.718	246.506	254

Setelah didapatkan hasilnya, maka dilakukan perbandingan antara daya dukung tiang pancang berdasarkan PDA Test dengan hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT dan data kalendering. Analisis perbandingan tersebut untuk mengetahui komparasi dari ketiga hasil perhitungan daya dukung tiang pancang, sehingga didapatkan persentase rasio perbandingan daya dukung tiang pancang yang dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5.

Persentase komparasi daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT dan *PDA Test*

STA	N-SPT	PDA Test	Persentase
	(ton)	(ton)	%
14+571	216.908	292	25.716
14+887	169.944	238	28.595
14+929	200.081	315	36.482
15+125	157.459	222	29.073
15+328	171.884	249	30.970
15+587	160.718	254	36.725

Berdasarkan analisis perbandingan daya dukung tiang pancang pada Tabel 5 menunjukkan bahwa perhitungan berdasarkan data N-SPT menggunakan “metode Meyerhoff” cenderung memiliki nilai daya dukung yang lebih kecil dari hasil pengujian dinamik melalui *PDA Test*.

Tabel 6.

Persentase komparasi daya dukung tiang pancang berdasarkan data Kalendering dan *PDA Test*

STA	Kalendering	PDA Test	Persentase
	Segmen Terakhir		
	(ton)	(ton)	%
14+571	272.612	292	6.640
14+887	230.709	238	3.063
14+929	278.542	315	11.574
15+125	208.877	222	5.911
15+328	229.966	249	7.644
15+587	246.506	254	2.950

Sedangkan pada Tabel 6 menunjukkan persentase rasio perbandingan daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering dan *PDA Test*, dimana hasilnya dapat dilihat bahwa dari data kalendering memiliki nilai daya dukung yang cenderung serupa dengan *PDA Test*.

PENUTUP

Simpulan

Pengaruh kapasitas daya dukung tiang pancang terhadap jumlah segmen menunjukkan hasil yang cenderung mendekati linear, dimana semakin banyak jumlah segmen (batang) tiang

pancang yang digunakan / disambung, maka semakin besar juga daya dukung yang mampu dipikul oleh tiang pancang. Dari analisis perbandingan daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT dan *PDA Test* menunjukkan bahwa perhitungan berdasarkan data N-SPT dengan menggunakan “metode Meyerhoff” cenderung memiliki nilai daya dukung yang lebih kecil dari hasil pengujian dinamik melalui *PDA Test*. Sedangkan, dari hasil analisis perbandingan daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering menggunakan “metode Hilley” dan *PDA Test* menunjukkan bahwa hasil dari data kalendering memiliki nilai daya dukung yang cenderung serupa dengan hasil *PDA Test*. Sehingga dapat dikatakan bahwa ketiga metode tersebut (metode Meyerhoff, metode Hilley, dan *PDA Test*) dapat digunakan sebagai kontrol daya dukung tiang pancang, karena menunjukkan hasil perhitungan daya dukung yang relatif sama.

Saran

Pelaksanaan agar dapat memperhatikan pedoman gambar yang ada terutama pada Konstruksi pondasi, kolom dan balok agar tidak menjadi masalah dikemudian hari, bila ada perubahan ukuran atau konstruksi agar dikonsultasikan lebih lanjut.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada PT. Virama Karya yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldino, R. 2019. *Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Dta 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*. Pekanbaru: Universitas Islam Riau Pekanbaru.
- Meyerhof G.G. 1976. *Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations*, ASCE: *Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division*. Vol. 102, No. GT 3.
- Putri, R. M. 2017. *Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Pile Driving Analyze (PDA) Test dan Standard Penetration Test (SPT)*. Jember: Universitas Jember.
- Sagita, M. A., Fahriani, F., & Apriyanti, Y. 2020. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Hasil Uji SPT dan Uji Beban Dinamis pada Proyek Pengganti Jembatan Baturusa*. Prosiding Seminar Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat, 1-4.