

Studi Komparatif Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil *Pile Driving Analyzer Test* dan N-SPT

Muhammad Zulfiqar*, Mahfuz Hudori

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam

*Correspondence email: mzulfiqar2209@gmail.com.

Abstrak. Pembangunan *south yard skidway* direncanakan dengan menggunakan pondasi tiang pancang pada struktur bawahnya. Tiang pancang digunakan untuk menyalurkan beban yang diterima oleh bagian atas struktur ke dalam tanah. Pondasi struktur harus memiliki daya dukung tiang yang lebih besar dari beban rencana yang mampu diterima oleh pondasi. Penelitian ini penting untuk mengetahui apakah perbedaan metode yang diterapkan di lapangan menghasilkan daya dukung tanah yang berbeda. Penelitian ini akan membahas perbandingan daya dukung tiang dengan data lapangan dan pengujian daya dukung pondasi tiang. Metode pengukuran daya dukung yang akurat dilakukan dengan pembebanan statis dengan metode pengujian dengan skala pembebanan 2-3 kali beban yang direncanakan. Metode lain yang dapat dilakukan adalah HSDPT, yaitu uji tiang pancang dinamika regangan tinggi atau uji *pile driving analyzer* (PDA). Hasil pengujian analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil hanya 1% melalui pendekatan empiris dengan pengujian dengan pengujian CAPWAP dan PDA pada proyek *south yard skidway expansion*. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa perbedaan metode yang digunakan tidak memiliki penyimpangan yang cukup besar terhadap hasil yang diperoleh saat pelaksanaan konstruksi di lapangan.

Kata Kunci: tes PDA; CAPWAP; pancang; pondasi.

Abstract. *The construction of the skidway in the southern part was planned using a pile foundation on the lower structure. Piles are used to channel the load received by the above part of the structure into the ground. The foundation of the structure must have a mast carrying capacity greater than the plan load that the foundation is capable of accepting. This research is important to find out whether the different methods implemented in the field produce different soil carrying capacity. This research will discuss the comparison of pile carrying capacity with field data and testing the carrying capacity of pole foundations. The method of accurate carrying capacity measurement is carried out by static loading with a test method with a loading scale of 2-3 times the planned load. Another method that can be done is HSDPT, which is a high strain dynamics pile test or a pile driving analyzer (PDA) Test. The test results of the analysis showed that there was only a 1% difference in results through an empirical approach with testing with CAPWAP and PDA tests on the southern cpp deck expansion project. The conclusion of this research that the difference in the method used does not have a large enough deviation to the results obtained when construction is carried out in the field.*

Keywords: PDA test; CAPWAP; pile; foundation

PENDAHULUAN

Kegagalan struktur pondasi tidak boleh terjadi saat pelayanan fungsi struktur karena dapat berakibat fatal bagi pengguna infrastruktur tersebut (T. Y. Rus, 2021). Berkembangnya teknologi dalam lingkup pekerjaan konstruksi saat ini menghasilkan metode penggunaan tiang pancang sebagai salah satu produk dari perkembangan ilmu pengetahuan (Resi, 2019). Penggunaan tiang pancang sebagai struktur pondasi dilakukan saat sebuah bangunan struktur menerima beban aksial dan lateral yang sangat besar sehingga dibutuhkan penyalur gaya dari struktur atas ke dalam lapisan tanah tertentu. Kriteria tanah yang dibutuhkan untuk menerima besarnya gaya yang bekerja adalah tanah keras dan tak jarang lokasi tanah tersebut berada di bawah lapisan tanah permukaan (T. Y. Rus, 2021). Selain berfungsi menahan beban yang bekerja pada struktur atas, tiang pancang juga berfungsi untuk menahan beban gempa. Indonesia terletak pada kondisi geografis yang memiliki banyak lempengan dan pegunungan aktif yang menjadikan wilayah ini berada dalam kawasan rawan gempa sehingga perencanaan yang baik serta pengujian pada substruktur sangat penting dilakukan untuk mendapatkan informasi daya dukung tanah (Svinkin et al., 2019).

Penggunaan pondasi tiang pancang dilakukan saat kondisi geografis yang memiliki timbunan tanah keras yang berada di bawah lapisan tanah lain. Umumnya lapisan tanah keras berada pada kedalaman lebih dari 6 meter (Shooshpasha et al., 2013). Kestabilan struktur yang direncanakan

bergantung pada daya dukung pondasi yang telah direncanakan. Pondasi yang baik adalah pondasi yang dapat memenuhi aspek kriteria ekonomis dan angka faktor keamanan yang baik. Pondasi yang telah terpasang harus melalui tahap pengujian untuk mengetahui nilai kapasitas daya dukung pondasi yang disediakan oleh pondasi terpasang (Aldino, 2019). Teknik yang digunakan untuk mengetahui nilai daya dukung pondasi yang telah direncanakan adalah dengan pemberian pembebanan statik yaitu pembebanan yang dilakukan dengan skala penuh. Adapun kekurangan yang dimiliki oleh teknik pengujian ini yaitu sangat boros terhadap biaya dan waktu. Teknik lain yang dapat dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dukung pondasi yang tersedia adalah Teknik pembebanan dinamis. Akurasi pada pengujian pembebanan dinamis di peroleh dari daya dukung pondasi yang direncanakan berdasarkan pendekatan empiris yang akan di bahas pada penelitian ini.

Penelitian ini membahas tentang pemeriksaan pondasi tiang pancang dengan metoda dinamis serta membandingkan kapasitas daya dukung melalui metoda pendekatan secara empiris serta hasil pengujian dinamis. Perbandingan daya dukung aksial pada tiang bor tunggal menggunakan teknik *Standard Penetration Test* dan teknik *Pile Driving Analyzer* menghasilkan daya dukung pondasi yang dihitung berdasarkan N-SPT dengan metoda memberikan hasil perhitungan empiris (Momeni et al., 2013). Kapasitas daya dukung yang diberikan oleh hasil pengujian dengan teknik PDA memberikan hasil kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang serupa dengan pada uji laboratorium dan uji SPT (Henrina et al., 2019). Penelitian ini menggunakan data studi kasus yang merujuk pada hasil pengujian dinamis pada proyek *South Yard Skidway Expansion*, Batam.

Saat ini teknik pengujian yang dilakukan untuk memperoleh kapasitas daya dukung pondasi yang banyak digunakan adalah teknik uji dinamis atau lebih dikenal dengan *high strain dynamics* pile test atau PDA test (Souza et al., 2021). Teknik pengujian secara dinamis dilakukan karena lebih efisien dan ekonomis jika dibandingkan dengan teknik pengujian yang dilakukan secara statis dengan hasil yang lebih akurat. Waktu pengujian dapat dilakukan dalam waktu kurang dari 24 jam pada beberapa tiang saja pada suatu area yang terbatas. (Somantri & Tarigan, 2021) Pengujian *pile driving analyzer* dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi daya dukung aksial, kekuatan tiang, dan mengetahui penurunan maksimum dan penurunan tetap dari pondasi tiang pancang.

Pada penelitian terdahulu, PDA tes dikerjakan dengan teknik *case method* dimana terdapat pengukuran data pada kecepatan dan gaya selama pelaksanaan pengujian serta perhitungan variable dinamik dapat dilakukan dengan *realtime* (Analysys Report, 2021). Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui apakah dengan perbedaan metode yang dilaksanakan di lapangan terdapat hasil daya dukung pondasi yang berbeda pula. Tujuan dari prosedur ini untuk mendapatkan gambaran daya dukung tiang pancang secara *realtime*. Analisis lanjutan yang dilakukan adalah analisis CAPWAP yaitu metoda SMA (*Signal Matching Analysis*) dengan mengolah hasil data PDA untuk menghasilkan ketahanan friksi tiang tunggal, ketahanan ujung, *settlement*, serta simulasi terhadap uji pembebanan statik.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil studi kasus perluasan *Skidway* pada *Fabrication Yard* area selatan PT.McDermott Indonesia. Tahap awal yang dilakukan pada tinjauan Pustaka adalah pengumpulan data. Data- ata yang dikumpulkan berupa dokumen penyelidikan tanah, dokumen perencanaan, *Detail Of Engineering Design*, dan laporan PDA test (Analysys Report, 2021). Setelah seluruh data terkumpulkan maka tahap selanjutnya adalah pengolahan data tanah seperti test boring serta N-SPT sehingga diperoleh data daya dukung pondasi Langkah terakhir yang dilakukan pada metoda penelitian adalah membandingkan hasil test pada kondisi lapangan dengan pendekatan empiris sehingga menghasilkan kesimpulan.

Daya dukung pondasi harus direncanakan dengan tepat sehingga dapat melayani fungsi struktur. Daya dukung pondasi adalah kapabilitas struktur pondasi dalam memikul beban maksimum yang di izinkan oleh ketentuan berdasarkan karakteristik geografi tanah dimana struktur itu dibangun (Svinkin et al., 2019). Sifat fisik tanah didapatkan dengan penelitian dan pengujian kondisi geoteknik dengan pengujian *Cone penetration testing*, *standart penetration test* dan *laboratory test*. Persamaan umum yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan kapasitas daya dukung aksial pondasi adalah

$$Q_U = Q_P + Q_S$$

$$Q_P = f_P \times A_p$$

$$Q_p = f_s \times A_s$$

Dimana

Q_U = Kapasitas Daya Dukung Ultimate (Ton)

Q_P = Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang (Ton)

Q_S = Tahanan Gesekan Selimut (Ton)

f_p = Tahanan Pada Ujung Tiang (Ton/ m²)

f_s = tahanan friksi pada selimut tiang (Ton/m²)

A_p = luas penampang ujung tiang (m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

Kapasitas daya dukung yang dimiliki oleh pondasi dapat diketahui dengan teknik pendekatan empiris dengan mengolah hasil nilai-nilai SPT diuji dengan beberapa metode (Wei et al., 2020). Pada penelitian ini terdapat 2 metode yang digunakan untuk mengidentifikasi nilai kapasitas daya dukung secara empiris yaitu metode L.decourt (1987) dan metode Briaud and Tucker (1985).

Prosedur tes dengan metode PDA dilakukan pada *sample* yang sudah tertanam pada tanah. Pengujian dilakukan dengan memberikan pukulan kepada tiang beberapa kali dan berhenti Ketika alat sudah memperoleh data rekaman yang baik dan energi pukulan yang terdeteksi tinggi. Ketepatan dalam pemasangan instrument dan kinerja komputer serta sistem elektronik yang baik menghasilkan kualitas data yang lebih baik juga. Jika alat tidak terpasang dengan sempurna atau terjadi kegagalan fungsi pada sistem elektronik akan menghasilkan kualitas data yang kurang akurat. Kegagalan seperti ini dapat diketahui dari hasil beberapa tumbukan awal pada saat test dilakukan (Khomsati, Nur Latifah, 2019). Dalam melakukan uji PDA di sarankan berat pemukul berkisar diantara 1-2% dari kapasitas pondasi yang direncanakan. Pengujian PDA pada tiang pancang dilakukan pada minimal 1 batang untuk setiap pilecap atau bisa 1-2% dari jumlah tiang pancang yang terkerjakan (Analysys Report, 2021).

Sebelum melakukan pengujian hal yang harus dilakukan adalah mempersiapkan benda uji. Tiang harus memiliki Panjang minimal 1.5m atau 3 kali lebih besar dari diameter. Karena pada penelitian ini pengujian dilakukan di laut, maka pengujian tiang harus memperhitungkan waktu pasang surut air laut, sehingga pada saat test dilakukan sensor yang digunakan tidak akan terendam oleh air (Novita Br Ginting et al., 2019).

Palu pancang digunakan untuk memberikan gaya pada saat pengujian dilakukan. Apabila tidak terdapat palu pancang dilapangan, alat lain yang dapat digunakan adalah palu buatan manual. Palu ini harus memiliki berat minimum sebesar 1.5%-2% dari besarnya daya dukung maksimum tiang. Selain palu, pengujian PDA test membutuhkan arus listrik yang besarnya 220v dengan daya sebesar 2200watt untuk membantu pemasangan sensor pada tiang. Tenda diperlukan saat test jika kondisi lapangan menjadi sangat terik (ASTM D4945, 2012). PDA test tidak dianjurkan untuk dilakukan saat kondisi hujan.

Menurut ASTM 2012 pada pasal D4945-17 tahap pelaksanaan PDA dijelaskan sebagai berikut:

1. Instalasi Sensor

Instalasi perangkat accelerometer dan sensor strain transducer akan dipasang pada bawah kepala tiang dengan jarak minimal 1,5D-2D dari kepala tiang. Tujuannya adalah untuk mendeteksi regangan dan percepatan akibat pukulan yang diberikan

2. Ekstraksi Data

Ekstraksi data diperoleh dari getaran yang dihasilkan oleh pukulan sehingga menghasilkan gelombang rambat yang akan di transformasi menjadi sinyal listrik dan di proses oleh *pile driving analyzer*. Hasil tangkapan gelombang tersebut kemudian akan diolah dengan aplikasi CAPWAP

3. Analisis CAPWAP

CAPWAP adalah *Case pile wave analysis program* yang merupakan sebuah sistem aplikasi analisis numerik yang membutuhkan input berupa gaya dan kecepatan dari PDA Test untuk menghasilkan daya dukung total tiang, distribusi gaya balik sepanjang tiang.

Hasil pengujian pada PDA test akan mengeluarkan hasil daya dukung tanah dengan 2 kondisi, yaitu:

1. Refusal

Kondisi refusal adalah sebuah kondisi dimana daya dukung yang dihasilkan pada tiang belum sepenuhnya terdistribusi atau mencapai kapasitas maksimum atau ultimate. Kondisi ini

dapat terjadi karena kurangnya energi yang diberikan kepada tiang saat pengujian sehingga energi yang ditransfer tidak dapat terdistribusi secara menyeluruh.

2. Ultimate

Konsidi ultimate adalah kondisi dimana daya dukung tiang yang telah di uji sudah terdistribusi seluruhnya sehingga kapasitas maksimum dapat diketahui. Kondisi ini diketahui dengan teridentifikasinya pergesaran taing pancang akibat pembebanan yang diberikan.

Saat dilakukan pengujian pastikan pemasangan strain transducer dan accelerometer pada tiang uji telah dilakukan dengan baik dan tidak bermasalah. Data- data tiang dimasukan pada komputer PDA dan kemudian pemukulan tiang bari dapat dilakukan. Pada setiap pukulan yang lakukan, komputer akan mencatat respon yang diberikan. Saat sensor telah mendekati tanah maka sensor harus dilepaskan dan dipindahkan pada posisi yang lebih tinggi. pengujian dapat diakhiri apabila data daya dukung telah di peroleh dan panjang rencana tiang pancang telah selesai dikerjakan (Yousif & Ali, 2021).

Pemasangan strain transducer dan accelerometer pada tiang dilakukan seperti saat Pengujian. Hanya saja pada pemukulan ulang banyaknya pukulan bergantung kepada kondisi tiang uji. Untuk tiang bor rata-rata dapat dilakukam dengan 3-4 pukulan, dan pada tiang pancang dapat diambil 20-30 pukulan. Test ini dilakukan untuk membuktika daya dukung yang diberikan cukup untuk tiang bergerak sejauh 3mm (Ibim, 2021). test dapat disudahi jika daya dukung yang diharapkan telah dicapai. Apabila kondisi tiang sudah tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian maka dianjurkan untuk memperbaiki kondisi tiang sebelum pemukulan kembali dilakukan atau pengujian dilanjutkan kepada bagian selanjutnya (Silalahi, 2019).

HASIL

Berdasarkan hasil data penyelidikan tanah yang diperoleh di lapangan dengan metode SPT diketahui bahwa lapisan struktur tanah didominasi oleh lapisan pasir dimulai dari kedalaman 0-33m. Data penyelidikan ditunjukkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Penyelidikan Tanah

Depth (m)	Soil Classification	N-SPT
0-4.2	Pasir Kasar Berwarna Coklat - Keabuan	16-30
4.2-5.5	Pasir Halus Berlanau Berwarna Coklat Sedikit Gambut	8
5.5-7.6	Pasir Halus Lepas Warna Abu Kekuningan Dengan Lanau	11
7.5-8.6	Pasir Halus, Berlanau Berwarna Abu Kehijauan	2
8.6-16.1	Lempung Laut Berpasir Memiliki Lapisan Yang Sangat Halus Berwarna Kehijauan	2
16.1-20.3	Lempung Keras Berpasir Kasar Berwarna Orange- Kuning Kecoklatan	21-78
20.3-22.5	Lempung Berpasir Kasar Berwarna Merah Kecoklatan	54
22.5-23.8	Pasir Halus-Kasar Berlempung Berwarna Abu Kehijauan	125
23.8-28.5	Pasir Halus Berlanau, Sangat Padat Berwarna Abu Hijau Kecoklatan Dengan Kerikil	142-267
28.5-30	Pasir Kasar Berukuran Medium, Sangat Padat Dan Berbatu, Keras Kerikil Dengan Densitas Tinggi, Berwarna Kehijauan Dengan Lempung ,	1000
30-33.03	Pasir Dan Batuan, Keras	1500

Sumber: Analisis Data (2022)

Dari tabel diperoleh hasil penyelidikan tanah dilakukan hingga level 33.03 m diketahui tanah tersebut berada dalam klasifikasi kerikil dengan densitas tinggi, berwarna kehijauan dengan lempung , pasir dan batuan, keras atau tergolong dalam kelas pasir berlanau dengan nilai N-SPT <30 pada lapisan permukaanya. Besarnya nilai dari daya dukung tiang pancang tersaji sebagai berikut :

Tabel 2. Daya Dukung Tiang Berdasarkan Perhitungan Detail

Metoda Perhitungan	Daya Dukung				
	Daya Dukung Ultimate	Tahanan (Ton)			Rasio
	Qu	Qp	Qs	Qp%	Qs%
Briaud & Tucker	262.03	104.50	157.53	40%	60%
L.Decourt	416.27	190.67	225.60	46%	54%
Rata-Rata	339.15	147.59	191.57	43%	57%

Sumber: Analisis Data (2022)

Besarnya nilai dari daya dukung tiang pancang yang tersedia diperoleh dari tahanan lekatan yang akan memberikan rasio dukungan yang lebih besar jika dibandingkan dengan tahanan ujung daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan pendekatan empiris berdasarkan N-SPT (Khomsiati, Nur Latifah, 2019).

Dalam laporan yang diterima dari project lapangan maka diperoleh daya hasil pengujian dengan PDA dan analisis CAPWAP sebagai berikut:

Tabel 3. Daya Dukung Tiang Berdasarkan Perhitungan Detail

No	Kode	Waktu Uji	PDA	Daya Dukung CAPWAP (Ton)					Penurunan Maks
				Qu	Qp	Qs	% Qp	% Qs	
1	B2-13	28 Januari 2022	214	193	81	112	42%	58%	28.73
2	A1-60	29 Januari 2022	500	457	239	218	52%	48%	19.51
3	B2-24	29 Januari 2022	198	158	42	115	27%	73%	13.89
4	B5-23	31 Januari 2022	356	346	257	89	74%	26%	23.19
5	A5-13	5 Februari 2022	385	383	339	44	89%	11%	20.6
6	A5-23	5 Februari 2022	384	399	186	213	47%	53%	22.12
7	B5-5	5 Februari 2022	320	330	303	27	92%	8%	17.34
8	A2-9	6 Februari 2022	354	342	203	139	59%	41%	18.16
9	B2-10	6 Februari 2022	342	336	269	67	80%	20%	19.78
10	B2-27	6 Februari 2022	361	361	338	24	94%	7%	20.65
11	B1-40	14 Januari 2022	440	448	446	3	100%	1%	27.53
12	B1-102	14 Januari 2022	308	312	163	149	52%	48%	26.58
13	A4-16	15 Januari 2022	406	431	286	145	66%	34%	19.91
14	A5-26	15 Januari 2022	252	211	29	181	14%	86%	16.47
15	B4-6	15 Januari 2022	331	306	193	113	63%	37%	25.82
16	B1-76	16 Januari 2022	544	549	517	32	94%	6%	28.65
17	B5-13	17 Januari 2022	210	216	61	154	28%	71%	24.82
18	B1-7	20 Januari 2022	372	364	340	24	93%	7%	32.57
19	B1-53	22 Januari 2022	366	382	293	90	77%	24%	25
20	A1-75	22 Januari 2022	385	366	290	76	79%	21%	24.71
21	A5-9	22 Januari 2022	273	246	59	187	24%	76%	15.92
22	A2-23	22 Januari 2022	260	250	67	183	27%	73%	16.99
23	A1-17	3 Februari 2022	375	368	162	205	44%	56%	18.49
24	A2-13	3 Februari 2022	355	336	117	219	35%	65%	17.15
25	A1-38-4	4 Februari 2022	297	288	111	177	39%	61%	16.72
rata-rata			343.52	335.12	215.64	119.44	60%	40%	21.652

Sumber: PT. Megah Adi Karya 2022

Setelah didapatkan hasilnya, maka dilakukan perbandingan antara daya dukung tiang pancang berdasarkan nilai PDA Test dengan hasil daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT dan data CAPWAP. Analisis perbandingan tersebut untuk mengetahui komparasi dari ketiga hasil perhitungan daya dukung tiang pancang, sehingga kita dapatkan persentase rasio perbandingan antara daya dukung tiang pancang yang dapat kita lihat pada tabel 4 dan 5 di bawah.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Analisis

Analisis	Kapasitas Daya Dukung (Qu)	Persentase Selisih
Pendekatan Empiris	339.15	
PDA Test	343.52	-1%
Analisis CAPWAP	335.12	1%

Sumber: Analisis Data (2022)

Tabel 6. Perbandingan Daya Dukung Hasil Analisis

Analisis	Daya Dukung			Rasio	
	QU	QP	QS	% Qp	% Qs
Pendekatan Empiris	339.15	147.59	191.57	44%	56%
Analisis CAPWAP	335.12	215.64	119.44	64%	36%
Selisih				-21%	21%

Sumber: Analisis Data (2022)

Pembahasan

Kapasitas daya dukung total rata-rata dengan menggunakan 2 metode pendekatan empiris berdasarkan nilai NSPT adalah dengan pola distribusi nilai Qp adalah 44% dan distribusi nilai Qs adalah 56%. dari uji PDA diperoleh kapasitas daya dukung senilai 339.15Ton atau lebih besar dari pendekatan empiris.

Kapasitas daya dukung rata-rata setelah dilakukan analisis CAPWAP diperoleh daya dukung sebesar 335.12Ton. Daya dukung tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai rata-rata analisis PDA. Hal ini disebabkan karena aplikasi CAPWAP akan mengolah data hasil PDA menggunakan *signal matching* analisis sehingga diperoleh hasil yang lebih detail dan akurat. Melalui analisis CAPWAP diperoleh distribusi tahanan selimut 36% dan tahanan pada ujung tiang sebesar 64%. Perbedaan yang cukup tinggi tersebut dapat terjadi akibat ketidaktepatan saat melakukan pengujian (Putri, 2017). Sedangkan nilai ratio hasil perhitungan empiris yaitu untuk nilai tahanan selimut sebesar 56% dan tahanan ujung sebesar 44% terdapat perbedaan senilai 21%.

Dari hasil analisis CAPWAP juga diketahui jika penurunan maksimum yang terjadi pada masing-masing sample tiang yang di uji. Penurunan tiang rata rata diperoleh sebesar 21.65 mm dengan penurunan terbesar terjadi pada sample tiang B1-7 sebesar 32.57 mm dan terkecil terjadi pada tiang B2-24 sebesar 13.89 mm. Hal ini bisa menjadi petunjuk bahwa kapasitas daya dukung yang di peroleh sudah berada pada kondisi ultimate (Santoso & Hartono, 2020). Syarat dapat dikatakan bahwa tiang telah mencapai kondisi ultimate yaitu Bergeraknya tiang pancang akibat beban ultimate yang di berikan dimana hal ini menunjukkan bahwa tahanan friksi serta ujung pondasi syarat lain yang bisa memvalidasi sudah tercapainya kondisi ultimate adalah bilamana beban terus diberikan pada kondisi yang telah melampaui ketahanan material tiang pancang maka akan terjadi kegagalan struktur pada tiang tersebut (Fugro Marine Site Characterisation, 2021) (Silalahi, 2019).

SIMPULAN

Rata-rata kapasitas daya dukung dengan 2 metoda pendekatan empiris nilai N-SPT diperoleh sebesar 339.15 Ton dengan ratio tahanan Qp 43% dan Qs 57% Dengan perbedaan metode yang dilaksanakan di lapangan tidak terdapat perbedaan hasil daya dukung tanah cukup besar yaitu rata rata PDA test menghasilkan persentase 1% lebih kecil daripada daya dukung rata-rata yang diperoleh melalui metoda empiris dan nilai rata-rata CAPWAP memiliki persentase 1% lebih besar daripada hasil pengujian empiris.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldino, R. (2019). 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*, 7.
- Analysys Report. (2021). *Pile Driving Analysis Report South Yard Skidway Expansion Batam*.
- ASTM D4945. (2012). Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations. *Annual Book of ASTM Standards*, i, 1–10. <https://doi.org/10.1520/D4945-12.2>
- Fugro Marine Site Characterisation. (2021). Annual Report. *Practice and Procedure of the*

- International Criminal Tribunal for the Former Yugoslavia*, 165–165. https://doi.org/10.1163/9789004502796_037
- Henrina, S., Bahsan, E., & Ilyas, T. (2019). Comparison of direct SPT method for calculating axial capacity of piles in Jakarta Area. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 673(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012027>
- Ibim, W. (2021). *Prediction of Bearing Capacity of Driven Piles Based on Dynamic Formulas*. 9(10), 1039–1046.
- Khomsati, Nur Latifah, D. (2019). Perbandingan Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Bor Tunggal Menggunakan Data Standard Penetration Test (SPT) dan Pile Driving Analyzer (PDA) Test pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan Malang. *Jurnal Bangunan*, 24(1), 25–32.
- Momeni, E., Maizir, H., Gofar, N., & Nazir, R. (2013). Comparative study on prediction of axial bearing capacity of driven piles in granular materials. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 61(3), 15–20. <https://doi.org/10.11113/jt.v61.1777>
- Novita Br Ginting, S. V., Irwan, I., & Nurmaidah, N. (2019). Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Overpass Sei Semayang Sta. 0+350 Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, 3(1), 40. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v3i1.2460>
- Putri, R. M. (2017). Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Pile Driving Analyze (Pda) Test Dan Standard Penetration Test (Spt). *Skripsi*, 1–49.
- Resi, A. (2019). Capacity Analysis of Single Pile Bearing Capacity Based on Static Method and N-Spt Test on Pile Driving Analyzer Test (Case Study of Pt. Asahi Forge Indonesia Phase Ii Project). *Neutron*, 18(2), 10–17. <https://doi.org/10.29138/neutron.v18i2.74>
- Santoso, H. T., & Hartono, J. (2020). Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji Spt Dan Pengujian Dinamis. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v4i1.44635>
- Shooshpasha, I., Hasanzadeh, A., & Taghavi, A. (2013). Prediction of the axial bearing capacity of piles by SPT-based and numerical design methods. *International Journal of GEOMATE*, 4(2), 560–564. <https://doi.org/10.21660/2013.8.2118>
- Silalahi, C. M. D. (2019). *Perbandingan Analisis Daya Dukung Vertikal Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian SPT dengan Software Plaxis pada BH 63 (Studi Kasus Jalan Layang* <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/16502>
- Somantri, A. K., & Tarigan, P. J. S. (2021). Comparison of bearing capacity pile foundation base on pile dynamic analyzer test and conventional analysis (Case on foundation bridge in Cikampek). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012031>
- Souza, T. de J., Querelli, A., Cruz, F. V. A. de S., & Trejo-Noreña, P. C. (2021). Use of the dynamic load test to obtain the pile capacity – The Brazilian experience. *DYNA (Colombia)*, 88(217), 169–177. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.93416>
- Svinkin, M. R., Warrington, D. C., & Buttlng, S. (2019). Discussion: Sensible determination of pile capacity by dynamic methods. *Geotechnical Research*, 7(1), 71–73. <https://doi.org/10.1680/jgere.19.00046>
- T. Y. Rus, S. and F. E. N. A. I. (2021). *ANALISA PERBANDINGAN DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MENGGUNAKAN DATA LABORATORIUM, NSPT, DAN CPT TERHADAP NILAI UJI PILE DRIVING ANALYZER (STUDI KASUSU PADA PROYEK PEMBANGUNAN PT. KALTIM AMONIUM NITRAT KOTA BOTANG),"* pp. 17-23, 2021. 08, 17–23. https://jurnal.polines.ac.id/index.php/bangun_rekaprima/article/view/3969%0Ahttps://jurnal.polines.ac.id/index.php/bangun_rekaprima/article/download/3969/108262
- Wei, Y., Wang, D., Li, J., Jie, Y., Ke, Z., Li, J., & Wong, T. (2020). Evaluation of ultimate bearing capacity of pre-stressed high-strength concrete pipe pile embedded in saturated sandy soil based on in-situ test. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(18). <https://doi.org/10.3390/APP10186269>
- Yousif, A. A. A., & Ali, E. H. M. (2021). Determination of Piles Bearing Capacity using Empirical Methods and (AllPile 6) Software -Cases studies Portsudan and Khartoum Cities. *International Journal of Material and Mathematical Sciences*, 3(6), 113–121. <https://doi.org/10.34104/ijmms.021.01130121>