

PENGUJIAN TIANG PONDASI MENGGUNAKAN PILE DRIVING ANALYZER (STUDI KASUS PROYEK JALUR KERETA GANDA SOLO BALAPAN-KADIPIRO)

Muhammad Vaikar Ravli*, Sri Sunarjono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani No. 157, Pabelan, Kartasura, Surakarta 57169, Jawa Tengah, Indonesia

*Email: d100194276@student.ums.ac.id

Abstrak

Proyek Jalur Ganda Solo Balapan-Kadipiro-Kalioso Paket 5 ingin mengetahui kapasitas Pile 7 yang terletak di pile cap A2. Oleh karena itu, dilakukan pengujian yang berkaitan dengan situasi tersebut. Metode yang dipilih oleh institusi adalah pengujian Pile Driving Analyzer yang sudah termasuk dengan Case Pile Wave Analysis Program di dalamnya. Pile Driving Analyzer menggunakan beberapa instrumen seperti Drop Hammer untuk mensimulasikan tumbukan dan Sensor, seperti Transducer dan Accelerometer, untuk menangkap gelombang yang terjadi akibat tumbukan hammer. Dari data yang diperoleh dari PDA, didapatkan hasil Max. Resistance (1485 ton), Pile Integrity (100%), Max. Compression (10.4 MPa) dan Hammer Max. Energy (5,08 ton-m). Selanjutnya, setelah data diolah dengan program Case Pile Wave Analysis, dihasilkan nilai kapasitas tiang pancang (1484.9 ton) dan nilai pergerakan tiang pancang (7.39 mm).

Kata kunci: CAPWAP, PDA, Tiang

Abstract

The Solo Balapan-Kadipiro-Kalioso Double Track Project Package 5 wanted to know the capacity of Pile 7 located at pile cap A2. Therefore, testing related to the situation was carried out. The method chosen by the institution is the Pile Driving Analyzer test which includes the Case Pile Wave Analysis Program in it. The Pile Driving Analyzer uses several instruments such as Drop Hammer to simulate the impact and Sensors, such as Transducer and sen, to capture the waves that occur due to the hammer impact. From the data obtained from the PDA, the results obtained Max. Resistance (1485 tons), Pile Integrity (100%), Max. Compression (10.4 MPa) and Hammer Max. Energy (5.08 ton-m). Furthermore, after the data was processed with the Case Pile Wave Analysis program, the pile capacity value (1484.9 tons) and the pile movement value (7.39 mm) were generated.

Keywords: CAPWAP, PDA, Pile

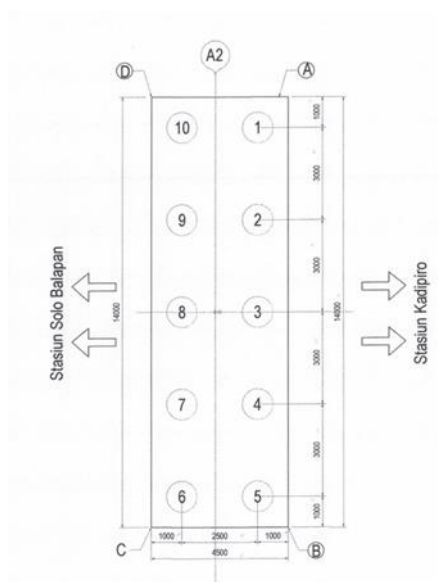
1. PENDAHULUAN

Pondasi tiang pancang adalah struktur bangunan, sebagai elemen transisi antara tanah atau batuan dan struktur atas (Wiratmoko, et al., 2019). Pondasi tiang pancang menawarkan dukungan yang sangat penting untuk bangunan yang terletak di atas lapisan tanah yang dalam dan yang diperlukan untuk menahan gaya angkat, terutama dari beban angin pada konstruksi bertingkat (Hardiyatmo, 2018). Hal ini menyebabkan perkembangan penggunaan pondasi tiang pancang. Berbagai jenis tiang pancang dapat digunakan tergantung pada situasinya.

Pile Driving Analyzer (PDA) merupakan pengujian dinamis yang dilakukan di lapangan dengan menggunakan metode analisis gelombang, yang mana metode ini merupakan bentuk pengujian yang dilakukan dengan cara memukul tiang pancang secara berulang pada tiang pancang yang diuji (Prasetya & Hadi, 2023). Ini terjadi apabila grafik yang didapatkan

tidak sesuai sehingga terjadinya pukulan yang menghasilkan grafik yang diinginkan. Dengan adanya PDA yang dilengkapi dengan *software Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP), hal ini memudahkan kita dalam melakukan penyederhanaan data dan pengoperasian yang lebih mudah dan cepat (Maizir & Suryanita, 2017). Metode ini juga populer di seluruh dunia selama lebih dari empat dekade (Haldar, et al., 2020).

Proyek Jalur Ganda Solo Balapan-Kadipiro-Kalioso Paket 5 (JGSS 5) akan melakukan tes PDA pada kesempatan kali ini. Ada 2 pengujian, namun yang akan dibahas kali ini adalah tiang pada *abutment pilecap*. Tiang ini terletak pada pile cap A2 dan kode dari tiang ini adalah BP.7 (*Bore Pile 7*). Hal ini untuk mengetahui seberapa kuat tiang yang sudah terpasang.



Gambar 1. Pile cap A2, termasuk di dalamnya Bore Pile (BP) nomor 7 (hasil)

2. METODOLOGI

2.1. LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian ini berada pada Proyek Konstruksi Jalur Kereta Ganda Elevated Solo Balapan-Kadipiro, Viaduk Gilingan, Surakarta.

2.2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif dengan menggunakan data sekunder, hasil dari pengetesan Pile Driving Analyzer (PDA) yang sudah ada.

2.3. LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

Impedansi pondasi dalam adalah ukuran ketahanan pondasi dalam terhadap gerakan ketika mengalami peristiwa tumbukan (ASTM Designation: D4945-12, 2012). Data tiang pancang yang dikumpulkan dalam uji PDA dianalisis melalui *Signal Matching Method* (SMA). CAPWAP adalah perangkat lunak untuk melakukan SMA. Karena bentuk datanya berupa data gelombang, maka impedansi pondasi dalam dapat ditentukan (Wen-Jing, et al., 2020):

$$Z = \frac{EA}{c} = \rho c A = A \sqrt{E\rho} \quad (1)$$

dengan:

A = Luas Tiang

ρ = Kerapatan Massa

c = Kecepatan Gelombang

E = Modulus Elastisitas

Berdasarkan teori "*Wave Mechanic*" pada perhitungan metode kasus, dengan mensubstitusikan persamaan 1, maka diperoleh persamaan (Tarigan, 2020):

$$R = \frac{1}{2} \times (F_{t1} + Zv_{t1} + F_{t2} - Zv_{t2}) \quad (2)$$

dengan:

R = Resistensi Total Tanah

t1 = Waktu Dampak dari Tubrukan

t2 = t1+2L/c (di mana L adalah Panjang Tiang)

Resistensi tanah total R yang dihitung menggunakan rumus di atas memiliki komponen-komponen (Tarigan, 2020):

- Komponen yang bergantung pada perpindahan, Resistensi Statis (Rs) inilah yang akan kita ukur
- Komponen yang bergantung pada kecepatan, Tahanan Dinamis (Rd), di mana Rd diturunkan dari R untuk mendapatkan Rs

Variabel Hambatan Dinamis (Rd) dihitung dengan menggunakan rumus (Tarigan, 2020):

$$R_d = J_c \times Z \times V_{toe} \quad (3)$$

dengan:

Jc = Nilai Faktor Redaman tergantung pada jenis tanah (semakin kohesif nilainya semakin besar)

Z = Impedansi Tiang Pancang

V_{toe} = Kecepatan di ujung tiang diperoleh dari gaya dan kecepatan yang diukur di dekat tiang.

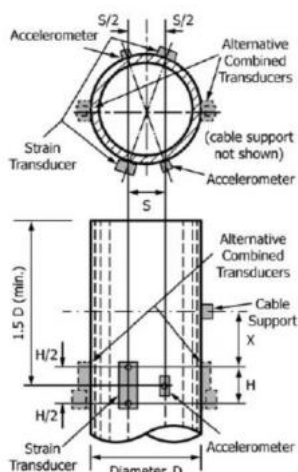
Dengan melalui pendekatan (1), (2) & (3), didapatkan persamaan untuk menghitung nilai Resistensi Statis (Rs) (Tarigan, 2020):

$$R_s = \frac{(1+J_c)}{2} \times (F_{t1} + Zv_{t1}) + \frac{(1+J_c)}{2} \times (F_{t2} - Zv_{t2}) \quad (4)$$

Sebelum pengujian PDA, pekerjaan persiapan dilakukan sebelum pengujian, termasuk (ASTM Designation: D4945-12, 2012):

- Kepala tiang harus rata, simetris, dan tegak,
- Pemasangan Transducer Regangan pada garis netral dan posisi *Accelerometer* di lokasi yang berlawanan, dengan jarak minimum 1,5 kali diameter (D) dari kepala tiang,
- Hammer* dengan berat yang dibutuhkan,
- Kalibrasi *Strain Transducer* dan *Accelerometer*, dan memeriksa konektivitas peralatan pengujian secara menyeluruh,

5. Memasukan data tiang dan *hammer* di PDA-PAX,
6. Setelah semuanya siap, memeriksa kembali data yang telah didapatkan sebelum pengujian dilakukan.



Gambar 2, Detail penempatan sensor, *transducer & accelerometer* (ASTM Designation: D4945-12, 2012)

Setelah persiapan selesai, pengujian dapat dilakukan dengan memasang *hammer* yang akan digunakan. Palu yang telah disiapkan dijatuhkan dari ketinggian tertentu, dalam pengujian ini 1 meter, kemudian ke arah kepala tiang hingga diperoleh energi yang cukup dan regangan tidak terlampaui sehingga kepala tiang tidak rusak. Pada saat inilah sensor yang terpasang pada tiang, yaitu *Transducer* dan *Accelerometer*, menerima input data dari palu yang menghantam kepala tiang (Wen-Jing, et al., 2020).



Gambar 3. Pengaturan PDA untuk pengujian tiang (dokumentasi)

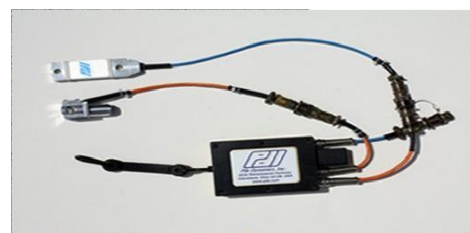
3. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

PDA adalah metode pengujian pondasi tiang pancang dengan menggunakan data komputer digital yang diperoleh dari *Transducer* regangan dan *Accelerometer* (Wen-Jing, et al., 2020). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur kapasitas tekan aksial ultimit tiang pancang, penurunan akhir, integritas tiang pancang, dan energi yang berasal dari tumbukan palu yang diaplikasikan pada pondasi dalam (Prasetya & Hadi, 2023). Data yang dihasilkan berupa grafik antara Gaya (F) dan Kecepatan (v) dan selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut dengan komputasi (Murakami, et al., 2022). Peralatan pengujian yang digunakan, antara lain:

1. PDA-PAX
2. *Strain Transducer* (4 buah)
3. *Accelerometer* (4 buah)
4. Peralatan tambahan: bor tangan, gerinda dan peralatan keselamatan



Gambar 4. Alat PDA-PAX (Pile.com, n.d.)



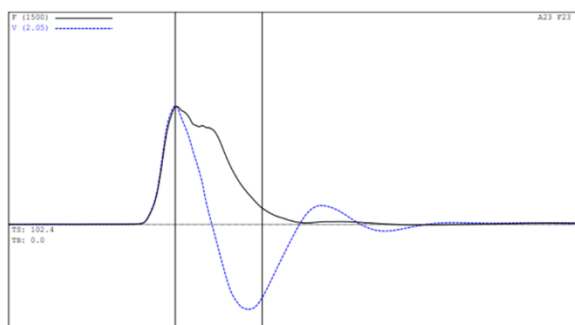
Gambar 5, *Transducer & accelerometer* sensor (Megah Adhi Karya, n.d.)

Setelah persiapan, pengujian dilanjutkan dengan memalu tiang dengan kekuatan yang cukup untuk menghindari kerusakan. Sensor merekam hasilnya, yang kemudian dimasukkan ke dalam PDA. Setelah mendapatkan data hasil uji PDA, dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan program CAPWAP untuk mensimulasikan transfer beban antara tiang dengan tanah, serta daya dukung, gesekan pile cap, dan penurunan tiang (Wen-Jing, et al., 2020). Hasil lainnya adalah Resistensi Maksimal (RMX), Integritas Tiang Pancang (BTA), Gaya

Maksimal Tiang Pancang (FMX), Tekanan Maksimal Tiang Pancang (CSX) dan energi maksimal di atas tiang pancang (EMX) (Handayani, et al., 2021).

Tabel 1
Detail pondasi tiang yang diuji

Detail Tiang Uji	
Nomor	1
Nama	A.2-BP.7
Tanggal Cor	26-10-2022
Tanggal Tes	20-01-2023
Diameter	ϕ100
Tipe	Cast-in-Place
Panjang Total	32.5 m
Panjang di bawah Instrumen	31.5 m
Panjang Tertanam	30.9 m
Berat Palu	15 Ton



Gambar 6. Hasil tes PDA, grafik F & v (hasil)

Tabel 2
Parameter perhitungan PDA

Detail Tiang	
LE	31.5 m
AR	7853.98 cm ²
EM	353 t/cm ³
SP	2.40 t/m ³
WS	3800 m/s
Z (EA/C)	730.4 tn-s/m
2L/C	15.6 Ms
Jc	0.99
LP	30.9 m

Tabel 3
Hasil kuantitas dari PDA

Detail Tiang	
RMX	1485 tn
BTA	100 %
CSX	10.4 MPa
EMX	5.08 tn-m

Gambar 6 menunjukkan grafik uji PDA. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara

Gaya (F, Garis Solid) dan Kecepatan (v, Garis Terputus). Untuk grafik gelombang, dari hasil tersebut juga didapatkan kecepatan gelombang dari grafik tersebut (WS). Nilai dari WS adalah 3800 m/s, dengan properti lainnya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, AR (Area) dan EM (Modulus Elastisitas). Hasil dari ketiga hal tersebut adalah nilai dari impedansi, yang disimbolkan dengan EA/C atau Z, dengan nilai 730.4 tn-s/m.

Dari data PDA tersebut, terlihat bahwa integritas tiang setelah menerima hantaman palu sebesar 5,08 ton-m adalah 100%. Hal tersebut menandakan bahwa tiang yang ditabrak tidak mengalami kerusakan sama sekali. Setelah pengujian PDA, masukan data ke dalam *software* CAPWAP. Hasil yang ditampilkan adalah hasil dari Resistensi Maksimal (RMX, 1485 tn) dan Kompresi Maksimal (CSX, 10,4 MPa). Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, CAPWAP mensimulasikan transfer beban antara tiang pancang dan tanah, serta daya dukung, gesekan *pile cap*, dan penurunan tiang pancang. Berikut adalah hasil dari program CAPWAP

Tabel 4
Nilai BTA terhadap kerusakan tiang

Detail Tiang Uji	
100%	Tidak Ada Kerusakan
80-99%	Kerusakan Ringan
60-79%	Kerusakan Serius
<60%	Patah

Berdasarkan hasil CAPWAP, kekuatan tiang pancang adalah 1484.9 ton dengan perpindahan maksimum 7,39 mm. Pengujian ini dilakukan dengan palu yang menghasilkan energi maksimum sebesar 4,99 ton-m.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas, dapat menyimpulkan beberapa hal, antara lain sebagai berikut:

1. Dari pengujian PDA, didapatkan hasil Max. Resistance (1485 ton), Pile Integrity (100%), CSX (10.4 Mpa) dan EMX (5.08 ton-m). Menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang tidak mengalami kerusakan yang berarti.
2. Kapasitas Tiang Pancang, menurut *software* CAPWAP adalah 1484,9 ton dengan perpindahan maksimum 7,39 mm. Dampak yang terjadi pada tiang pancang adalah 4,99 mm

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua bagian yang telah membantu dalam menyelesaikan artikel ini. Terima kasih khusus kepada pembimbing, yang membantu dalam penyusunan artikel ini, manajemen proyek, yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan magang. Semoga ilmu yang diberikan selama proyek dan penyusunan artikel ini dapat berguna untuk kedepannya

DAFTAR PUSTAKA

- Anon., n.d. *Megah Adhi Karya*. [Online] Available at: <https://www.megahadhikarya.com/pda> [Accessed 25 January 2024].
- Anon., n.d. *Pile*. [Online] Available at: <https://www.pile.com/products/pile-dynamics-analyzer/> [Accessed 25 January 2024].
- ASTM Designation: D4945-12, 2012. *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*. s.l.:s.n.
- Haldar, S., Patra, S. & Ghanekar, R. K., 2020. WEAP Analysis and HSDPT for Steel Piles for Transmission Line Project Across River Hoogly. In: *Advances in Offshore Geotechnics Proceedings of ISOG2019*. s.l.:Springer Nature Singapore Pte. Ltd., pp. 261-269.
- Handayani, F., Alami, F. & I., 2021. Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Bored Pile Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen hingga dengan Uji Test PDA (Pile Driving Analyzer) (Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro). *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(9), pp. 1564-1584.
- Hardiyatmo, H. C., 2018. *Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi 4*. s.l.:Gadjah mada University Press.
- Maizir, H. & Suryanita, R., 2017. *Evaluation of Axial Pile Bearing Capacity Based on Pile Driving Analyzer (PDA) Test using Neural Network*. Jakarta, s.n.
- Murakami, D. K., Corgnier, F., Godinho, H. & Saito, E., 2022. *Pile Damage Evaluation Through Low Strain Integrity Test and High Strain Dynamic Pile Test in Root Piles*. Campinas, s.n.
- Prasetya, D. & Hadi, M. A., 2023. Identifikasi Pengujian Pile Driving Analyzer Pier 51A pada Proyek Pembangunan Tol Yogyakarta-Bawen. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1), pp. 248-258.
- Tarigan, R., 2020. Komparasi Kinerja Alat Pile Driving Analyzer dan *Software* CAPWAP dalam Menghasilkan Daya Dukung Ultimit Pondasi Tiang. *Jurnal Darma Agung*, 28(3), pp. 378-386.
- Wen-Jing, C., Chan, C.-M. & Mukhttar, R. A., 2020. Pile Dynamic Analyzer (PDA) Test: An Overview of the Pile Integrity Evaluation Technique. *Progress in Engineering Application and Technology*, 1(1), pp. 48-54.
- Wiratmoko, B. A., Winarto, S. & SP, Y. C., 2019. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Ketahanan Pangan Nganjuk. *JURMATEKS*, 2(1).