Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru
ISBN: 978-979-792-636-6

EVALUASI DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN METODE DINAMIK

Harnedi Maizir[1], Hendra Jingga[2], dan Nopember Toni[3]

[1] *Jurusan Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru*
[2 dan 3] *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau*
harnedi@harista-karsa.com

ABSTRAK

Pengujian tiang dinamik merupakan salah satu metode pengujian untuk mengevaluasi daya dukung tiang. Pengujian tiang metode dinamik (*Pile Driving Analyzer*/PDA) dilaksanakan dengan memasang sensor sepanjang tiang untuk merekam parameter kecepatan dan gaya saat tiang dipukul menggunakan palu dengan besaran energi tertentu. Pada penelitian ini, data uji PDA untuk tiang pancang beton pracetak pada proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Universitas Riau digunakan untuk dianalisis daya dukungnya. Metode yang digunakan untuk menganalisis daya dukung tiang adalah perhitungan manual Metode CASE, hasil keluaran uji PDA, dan hasil keluaran *software* CAPWAP. Nilai daya dukung yang dihasilkan ketiga metode tersebut kemudian dibandingkan dan dievaluasi. Berdasarkan hasil analisis, nilai daya dukung yang diperoleh dari perhitungan manual Metode CASE adalah 98,8 ton, hasil keluaran uji PDA sebesar 98 ton, dan hasil keluaran *software* CAPWAP sebesar 98,3 ton. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga metode tersebut menghasilkan daya dukung tiang yang relatif sama dengan selisih kurang dari 1%. Oleh karena itu, ketiga metode tersebut dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung tiang dengan tingkat keandalan yang baik.

Kata kunci: *CAPWAP*, *Metode CASE*, *Pengujian Dinamik*, *Pile Driving Analyzer* (*PDA*).

1. PENDAHULUAN

Pengujian pembebanan tiang merupakan salah satu hal yang harus dilakukan pada suatu pekerjaan fondasi dalam. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan daya dukung tiang terhadap beban yang bekerja dan masih berada dalam toleransi penurunan yang diijinkan. Uji beban tiang terbagi menjadi dua metode, yaitu metode statik dan metode dinamik.

Metode pengujian pada fondasi dalam hingga saat ini yang dianggap akurat adalah uji beban metode statik. Hal ini dikarenakan pada pengujian statik tersebut memperhitungkan penurunan tiang dan pembebanan dalam jangka waktu tertentu. Uji beban metode statik dilaksanakan dengan cara menyusun beban di atas tiang secara simetris. Dongkrak hidrolis digunakan untuk mengontrol tahapan beban dan waktu yang disalurkan melalui balok baja primer dan sekunder.

Berbeda dengan uji beban metode statik, metode dinamik (*Pile Driving Analyzer*/PDA) dilaksanakan dengan cara memasang sepasang sensor akselerometer dan *strain transducer* pada permukaan tiang, kemudian memberikan pukulan di kepala tiang. Energi yang dihasilkan akibat pukulan tersebut direkam oleh komputer PDA berupa grafik kecepatan dan gaya terhadap waktu yang selanjutnya diolah untuk mendapatkan daya dukung dan penurunan tiang.

Pengujian dinamik pada tiang (PDA *test*) diperkenalkan oleh Case Western Reserve University (Metode CASE). Goble et al. (1970) mengembangkan suatu perangkat lunak Wave Equation Analysis of Pile (WEAP) dalam mengevaluasi daya dukung tiang pancang. Metode pengujian PDA ini sudah juga masuk ke dalam standar ASTM-D4945-08 tahun 2008. Rausche dan Likins (1985) menggunakan Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP) yang merupakan pengembangan dari Metode CASE dalam memprediksi daya dukung tiang dengan menggunakan metode dinamik. Momeni et al. (2013) melakukan studi komparasi dalam memprediksi daya dukung aksial tiang pancang pada tanah granular.

ISBN: 978-979-792-636-6

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini, evaluasi daya dukung tiang pancang berdasarkan data uji PDA dilakukan menggunakan Metode CASE dan hasilnya akan dibandingkan dengan keluaran *software* CAPWAP. Studi kasus yang dilakukan adalah pengujian tiang pancang pracetak beton pada proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Universitas Riau seperti pada Gambar 1. Data tiang pancang beton pracetak (*spun pile*) yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Nomor tiang : P08/147.1
b. Diameter luar tiang : 350 mm
c. Luas penampang tiang : 735,13 cm^2
d. Panjang tiang di bawah sensor : 13,0 m
e. Panjang penetrasi tiang : 12,7 m
f. Mutu beton : K-600 (f'_c = 49,8 MPa)

Gambar 1. Pengujian Tiang Pancang P08/147.1

Prosedur Pengujian Dinamik (PDA)

Metode pengujian dinamik pada tiang pancang mengacu pada ASTM-D4945-08 dengan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Alat uji PDA yang digunakan adalah PDA-PAX 4-Channel yang diproduksi oleh PDI-USA. Prosedur pengujian PDA secara ringkas adalah sebagai berikut:

a. Menyiapkan benda uji, yaitu tiang pancang beton bertulang yang sudah cukup umur untuk menahan pukulan palu. Permukaan benda uji harus bersih dan rata untuk menjaga kualitas hasil pengujian.
b. Memasang sensor (1 pasang *strain transducer* dan 1 pasang akselerometer) pada jarak minimal 2 kali diameter tiang pancang dari tepi atas tiang pancang.
c. Memasukkan data-data umum proyek penelitian, tiang, dan instrumen pengujian pada alat PAX.
d. Memukul tiang dengan cara menjatuhkan palu yang beratnya dianggap dapat memobilisasi daya dukung ultimit tiang. Dengan tinggi jatuh sekitar 1 meter, berat palu umumnya diambil 1-2% dari daya dukung ultimit tiang. Untuk kasus ini, digunakan palu (*ram*) seberat 1,3 ton.

Metode CASE

Metode CASE digunakan untuk memprediksi daya dukung tiang berdasarkan data pengujian PDA, yaitu berupa kurva gaya-kecepatan terhadap waktu. Prosedur analisis Metode CASE adalah sebagai berikut:

1. Menghitung cepat rambat gelombang dalam beton (c) dengan Persamaan 1.

$$c^2 = E/\rho \quad (1)$$

dengan: c = cepat rambat gelombang dalam material tiang (m/det),
E = modulus elastisitas material tiang (N/m^2),
ρ = massa jenis material tiang (kg/m^3).

2. Menghitung impedansi tiang (Z) dengan Persamaan 2.

$$Z = EA/c \quad (2)$$

ISBN: 978-979-792-636-6

dengan: Z = impedansi tiang (N.det/m),
A = luas penampang tiang (m^2).

3. Menghitung tahanan total tiang (R_{tl}) dengan Persamaan 3.

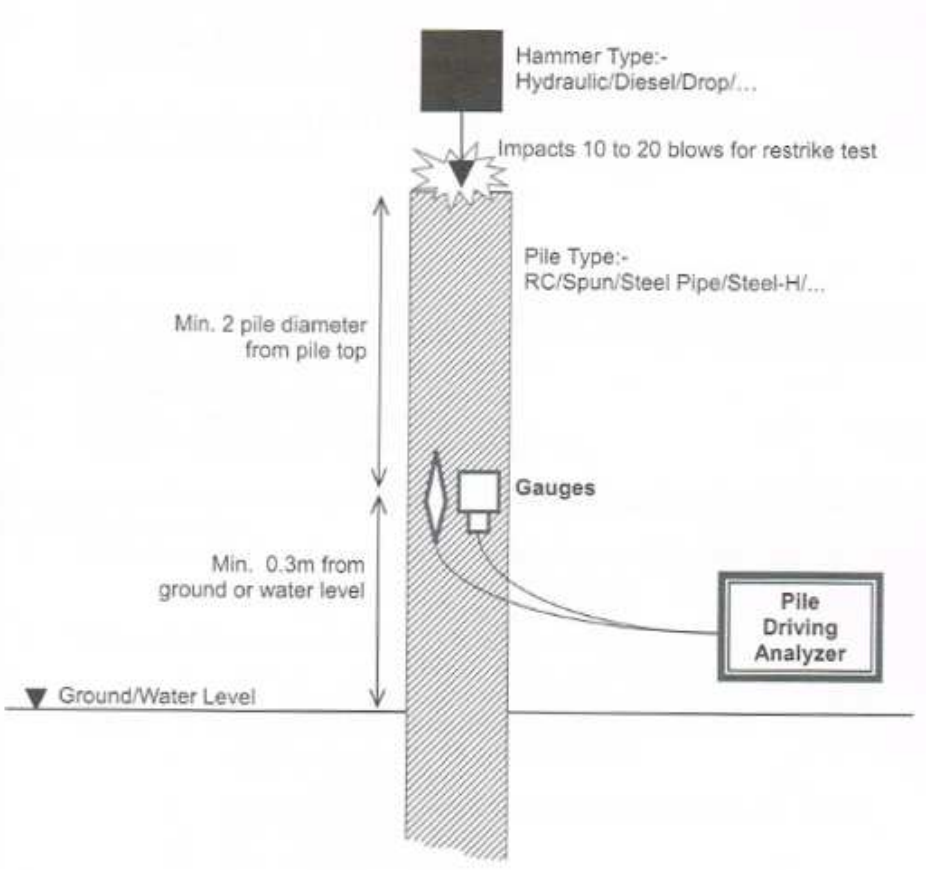
$$R_{tl} = 0{,}5(F_{t1} + F_{t2}) + 0{,}5Z(v_{t1} - v_{t2}) \quad (3)$$

dengan: R_{tl} = tahanan total tiang (N),
F_{tl} = gaya yang terukur pada saat *t1* (N),
F_{t2} = gaya yang terukur pada saat *t2* (N),
v_{t1} = kecepatan yang terukur pada saat *t1* (m/det),
v_{t2} = kecepatan yang terukur pada saat *t2* (m/det).

4. Menghitung tahanan maksimum tiang (*RMX*) dengan Persamaan 4.

$$RMX = R_{tl} - J_c(v_{t1}Z + F_{t1} - R_{tl}) \quad (4)$$

dengan: RMX = tahanan maksimum tiang (N),
J_c = faktor redaman (Tabel 1).



Gambar 2. Skema Pelaksanaan Uji Dinamik Menggunakan PDA (Wai et al., 2006)

Tabel 1. Nilai Faktor Redaman untuk Metode CASE (Wai et al., 2006)

Jenis Tanah pada Ujung Tiang	**Faktor Redaman (J_c)**
Pasir murni	0,40 – 0,50
Pasir berlanau	0,50 – 0,70
Lanau	0,60 – 0,80
Lempung berlanau	0,70 – 0,90
Lempung	0,90 – 1,20
Lempung (untuk tiang diameter besar)	1,20 – 1,50

ISBN: 978-979-792-636-6

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sub-bab ini akan dijelaskan secara detail tentang prosedur perhitungan Metode CASE untuk contoh kasus tiang pancang beton bertulang pada gedung Rumah Sakit Universitas Riau. Hasil perhitungan manual tersebut kemudian dibandingkan dengan keluaran *software* CAPWAP.

Perhitungan Manual Metode CASE

Prosedur perhitungan manual Metode CASE untuk tiang pancang yang ditinjau adalah sebagai berikut:

1. Menghitung modulus elastisitas beton berdasarkan SNI 2847-2013.
   $E = 4700(f'_c)^{0,5} = 4700(49,8)^{0,5} = 33167$ MPa

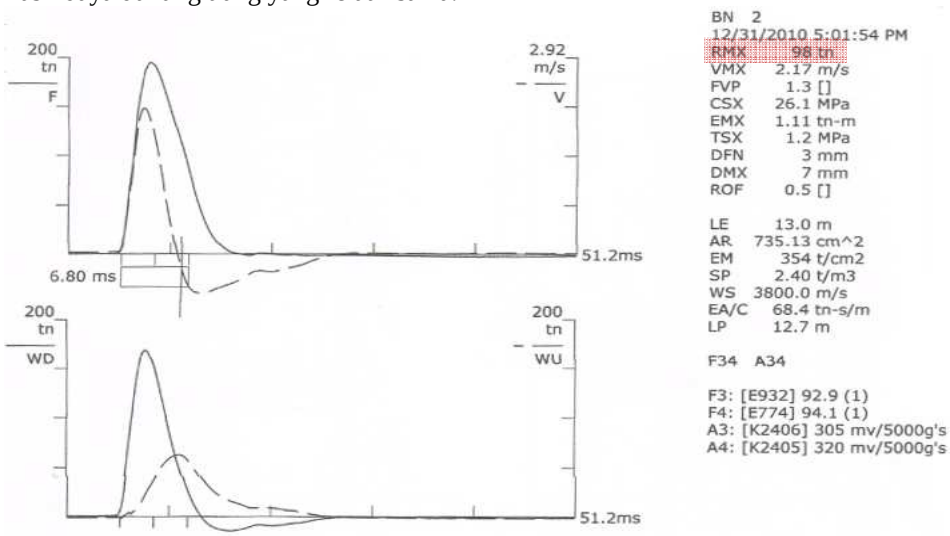
2. Menghitung cepat rambat gelombang dalam beton.
   $c = (E/\rho)^{0,5} = (33167/2400)^{0,5} \times 10^3 = 3718$ m/det

3. Menghitung impedansi tiang.
   $Z = EA/c = 33167(735,13)/3718 \times 10^{-2} = 65,58$ ton.det/m

4. Menghitung tahanan total tiang.
   $R_{tl} = 0,5(F_{t1} + F_{t2}) + 0,5Z(v_{t1} - v_{t2}) = 0,5(192+0) + 0,5(65,59)(2,17-(-0,31)) = 177,3$ ton

5. Menghitung tahanan maksimum tiang.
   $RMX = R_{tl} - J_c(v_{t1}Z + F_{t1} - R_{tl}) = 177,3 - 0,5(2,17(65,59) + 192 - 177,3) = 98,8$ ton

Gambar 3 menunjukkan keluaran uji PDA berdasarkan Metode CASE. Berdasarkan kedua analisis ini terlihat bahwa perhitungan secara manual Metode CASE (98,8 ton) dengan hasil keluaran uji PDA (98 ton) memberikan hasil daya dukung tiang yang relatif sama.



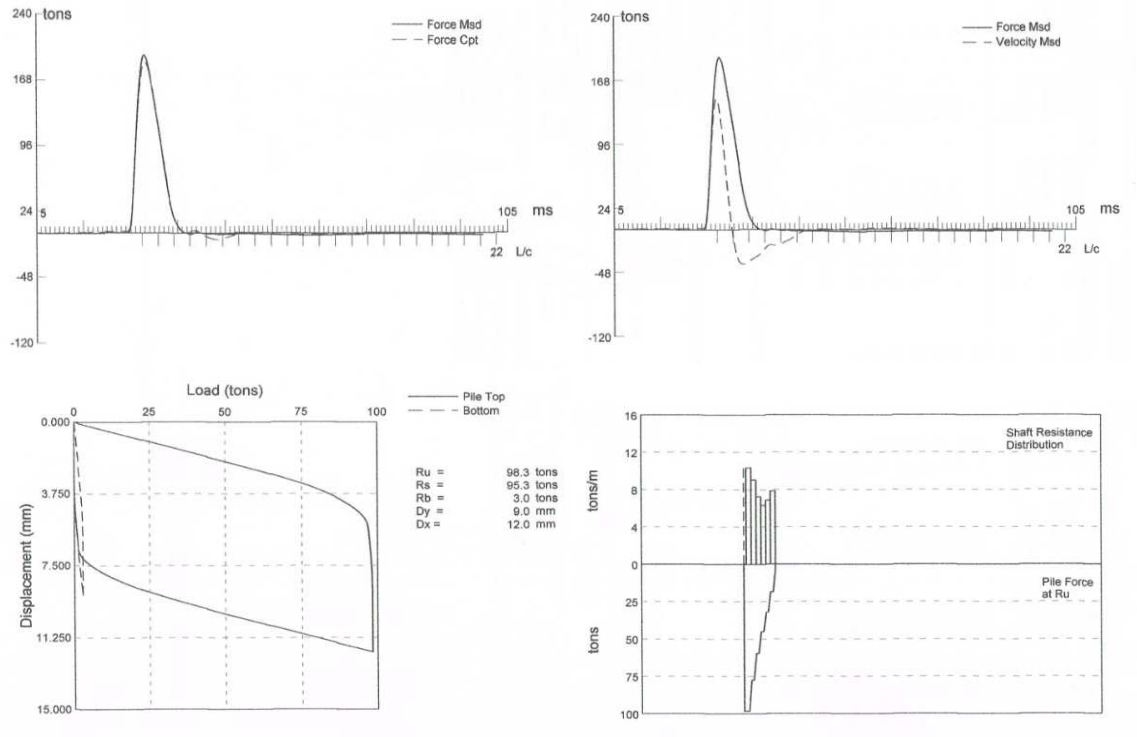
Gambar 3. Keluaran Uji PDA: Grafik Kecepatan dan Gaya terhadap Waktu

Keluaran *Software* CAPWAP

Data hasil uji dinamik dianalisis menggunakan *software* CAPWAP dengan asumsi bahwa tahanan tanah terdiri dari komponen elasto-plastik dan komponen linear-viskos. Akibatnya, model tanah memiliki tiga variabel yang tidak diketahui, yaitu tahanan statik ultimit, pergerakan elastik tanah, dan konstanta redaman. CAPWAP menganalisis ketiga faktor tersebut terhadap beberapa potongan sepanjang tiang dan ujung tiang.

Gambar 4 menunjukkan hasil keluaran CAPWAP yang terdiri dari 4 grafik. Grafik kanan atas merupakan data uji PDA. Grafik kiri atas merupakan hasil iterasi terhadap kurva *wake-up* sehingga terjadi pencocokan signal (kurva gaya dan kecepatan menjadi berimpit). Pada grafik kanan bawah, ditampilkan distribusi tahanan selimut sepanjang tiang dan transfer beban. Grafik kiri bawah menunjukkan kurva simulasi beban terhadap penurunan pada kepala tiang dan ujung bawah tiang, serta dapat juga dilihat bahwa nilai R_u sama dengan 98,3 ton.

ISBN: 978-979-792-636-6



Gambar 4. Hasil Keluaran *Software* CAPWAP

Perbandingan Hasil Perhitungan Manual Metode CASE, Keluaran Uji PDA, dan Keluaran *Software* CAPWAP

Tabel 2 menunjukkan perbandingan hasil analisis daya dukung tiang berdasarkan perhitungan manual Metode CASE, keluaran uji PDA, dan keluaran *software* CAPWAP. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa ketiga nilai daya dukung tiang tersebut sudah sangat mendekati, yaitu dengan selisih kurang dari 1%.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisis Daya Dukung Tiang

Perhitungan Manual Metode CASE	Keluaran Uji PDA	Keluaran *Software* CAPWAP
98,8 ton	98 ton	98,3 ton

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

a. Nilai daya dukung tiang yang dihitung secara manual menggunakan Metode CASE adalah 98,8 ton.
b. Nilai daya dukung tiang hasil keluaran uji PDA adalah 98 ton.
c. Nilai daya dukung tiang hasil keluaran *software* CAPWAP adalah 98,3 ton.
d. Ketiga metode analisis tersebut menghasilkan nilai daya dukung yang relatif sama dengan selisih yang sangat kecil (kurang dari 1%). Hal ini menunjukkan bahwa ketiga metode tersebut dapat digunakan dalam analisis daya dukung tiang dalam uji beban dinamik.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM-D4945-08. (2008). *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles*. Philadelphia, PA, ASTM.

Coduto, D.P. (2001). *Foundation Design: Principles and Practice Vol. 2*. New Jersey: Prentice Hall Inc.

Goble, G. G., Rausche, F. & Moses, F. (1970). Dynamics Studies on the Bearing Capacity of piles: Final Report to the Ohio Department of Highways. Cleveland, Ohio: Case Western Reserve University.

Kawanda, A. (2013). Studi Lanjut Interpretasi Data Uji Beban Tekan Tiang Bor Metode Statik & Dinamik.

ISBN: 978-979-792-636-6

Momeni, E., H. Maizir, N. Gofar, dan R. Nazir. (2013). Comparative Study on Prediction of Axial Bearing Capacity of Driven Piles in Granular Material. *Journal Teknologi UTM Malaysia*, 61, 15-20.

Rausche, F. dan Likins, G. (1985). Dynamic Determination of Pile Capacity. Geotechnical Engineering, 3.

Wai, Yekong, Cheng Aik Neoh, dan M. Nuri Salimin. (2006). *Design and Construction of Driven Pile Foundations: 8 Steps to Practice Modern Piling*. Kuala Lumpur: Traswaja Technology.