

PERBANDINGAN ANALISIS CAPWAVE DENGAN METODE HUKUM KASUS DARI HASIL PENGUJIAN DAYA DUKUNG PONDASI BORE PILE DENGAN PDA TEST (Studi Kasus Proyek Jembatan Ciloseh Kota Tasikmalaya)

Sandi Pujiana¹, Yanti Defiana², Wahyu Sumarno³

¹Mahasiswa (Teknik Sipil, Universitas Galuh Ciamis)

^{2,3}Dosen (Teknik Sipil, Universitas Galuh Ciamis)

¹Korespondensi :

ABSTRACT

Every building must have a foundation as well as the Ciloseh bridge in Tasikmalaya City which is currently still being built. The construction of the Ciloseh bridge with a deep foundation type is carried out in order to be able to withstand large loads on the bridge, to ensure the integrity of the bridge when it is used, the foundation testing is carried out with a Pile Driving Analyzer with reference to the HSDP or ASTM D-4945 standard to confirm the carrying capacity of the plan of 800 tons per mast. The foundation poles tested included P2, P3 as many as two poles and P4 one pole. This study is intended to compare the results of the CAPWAVE analysis with the case law method of testing the foundation pole with the PDA TEST. The method used in this study is to compare the results of the CAPWAVE analysis and the case law method from the results of the PDA TEST on the Ciloseh bridge project in Tasikmalaya City.

Then the results of the PDA TEST related to the carrying capacity of the pole analyzed with CAPWAVE Software were compared with the calculation results of the case law method, which gave values of 907.59 tons (P2-12), 873.35 tons (P2-26), 875.15 tons (P3 - 14) 955.87 tons (P3 - 17) 692.94 tons (P4 - 5) with the case law method while the test results with CAPWAVE analysis gave a value of 899.3 tons (P2 - 12), 855.3 tons (P2 - 26), 1000 tons (P3 - 14), 1221 tons (P3 - 17), 738 tons (P4 - 5).

Keywords : ASTM D-4945, Bridge, CAPWAVE, Case Law, PDA TEST.

I. PENDAHULUAN

Setiap bangunan pasti memiliki pondasi sebagai bagian penting dari bangunan, namun perencanaan dan pengujian pondasi yang kurang maksimal akan mengakibatkan keruntuhan. Pondasi didefinisikan sebagai struktur bangunan bagian bawah yang berfungsi menyangga beban bangunan mulai dari beban statik dan dinamik. Jenis pondasi untuk bangunan disesuaikan dengan tingkat kebutuhan bangunan dan aspek geologis tanah. Menurut para ahli pondasi merupakan bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban struktur atas ke lapisan tanah atau batuan yang mempunyai daya dukung aman. Berdasarkan kedalamannya, pondasi dibagi 2 yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras atau batuan berada pada posisi yang dalam. Jenis pondasi dalam secara garis besar ada 2 yaitu pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor (Bowles, 1988).

Untuk menentukan kekuatan pondasi perlu dilakukannya penyelidikan daya dukung tanah sebagai dasar pondasi berdiri. Penyelidikan tanah secara umum terbagi tiga yaitu Pemboran (*drilling*), pengambilan contoh tanah, serta pengujian dengan metode penetrasi (*penetration TEST*) dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah secara langsung di lapangan pengujian dengan metode *penetrasi* statis lebih sesuai digunakan di Indonesia yang kondisi tanahnya terdiri dari lapisan tanah pasir/lanau atau lempung lunak. Hasil metode *penetrasi* statis mempunyai hasil lebih tepat daripada hasil pengujian *penetrasi* dinamis (SPT).

Pembangunan jembatan Ciloseh sepanjang 252 meter berfungsi untuk menghubungkan Kab. Ciamis dan Kota Tasikmalaya juga dapat dijadikan sebagai jalur alternatif bagi masyarakat. Pembangunan dimulai akhir Desember 2021 dan direncanakan akan selesai diakhir Desember 2022.

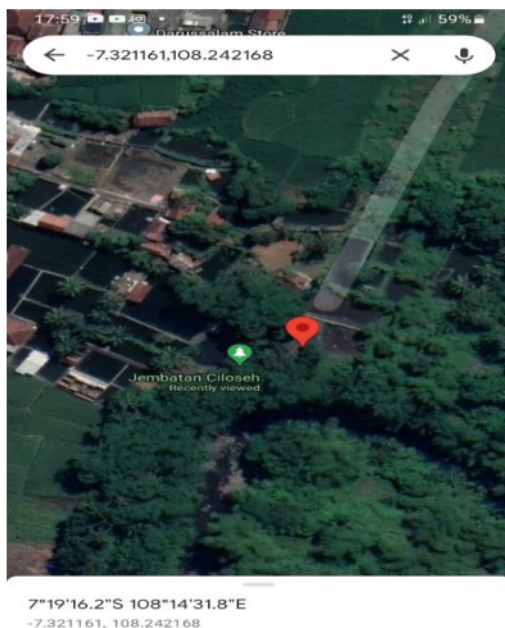
Penelitian terkait pengujian pada pondasi menjadi sangat penting karena tidak sedikit jembatan yang roboh akibat diterjang gempa karena tidak optimalnya pada saat pengujian daya tahan pondasi. Banyak metode dalam pengujian pondasi salah satunya adalah *PDA Test*.

Pengujian PDA (*PDA Test*) menggunakan alat gelombang pada saat pemukulan pada pondasi yang dilakukan berdasarkan standar *American Standart TESTing Matrial* (ASTM D-4945) yaitu *Standart TEST Method for High Strain Dynamic TESTing of Deep Foundations*, *PDA TEST* tentunya di butuhkan untuk melakukan pengamatan pada tiang pondasi yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung aksial, keutuhan terhadap tiang pondasi dan efisiensi terhadap energi yang ditransfer. Selanjutnya hasil pengujian PDA dianalisis menggunakan program aplikasi analisis CAPWAP dan metode hukum kasus. Penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan nilai dari analisis CAPWAP dan metode hukum kasus.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama dua bulan, dari April hingga Juli 2022 dengan mengambil lokasi penelitian di proyek jalan Lingkar Utara Tasikmalaya, Jembatan Ciloseh Kota Tasikmalaya Jawa Barat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei yaitu dengan melakukan pengamatan langsung ke lapangan dan mencari data atau informasi dari instansi terkait Pondasi *Bore Pile*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Data Primer

Data Primer adalah data yang diambil oleh peneliti secara langsung dari lapangan dengan metode pengamatan visual kondisi fisik sesaat sebelum pengujian dilaksanakan mulai dari data *eksisting* sampai pada perangkat *PDA test*. Adapun data primer di lapangan antara lain :

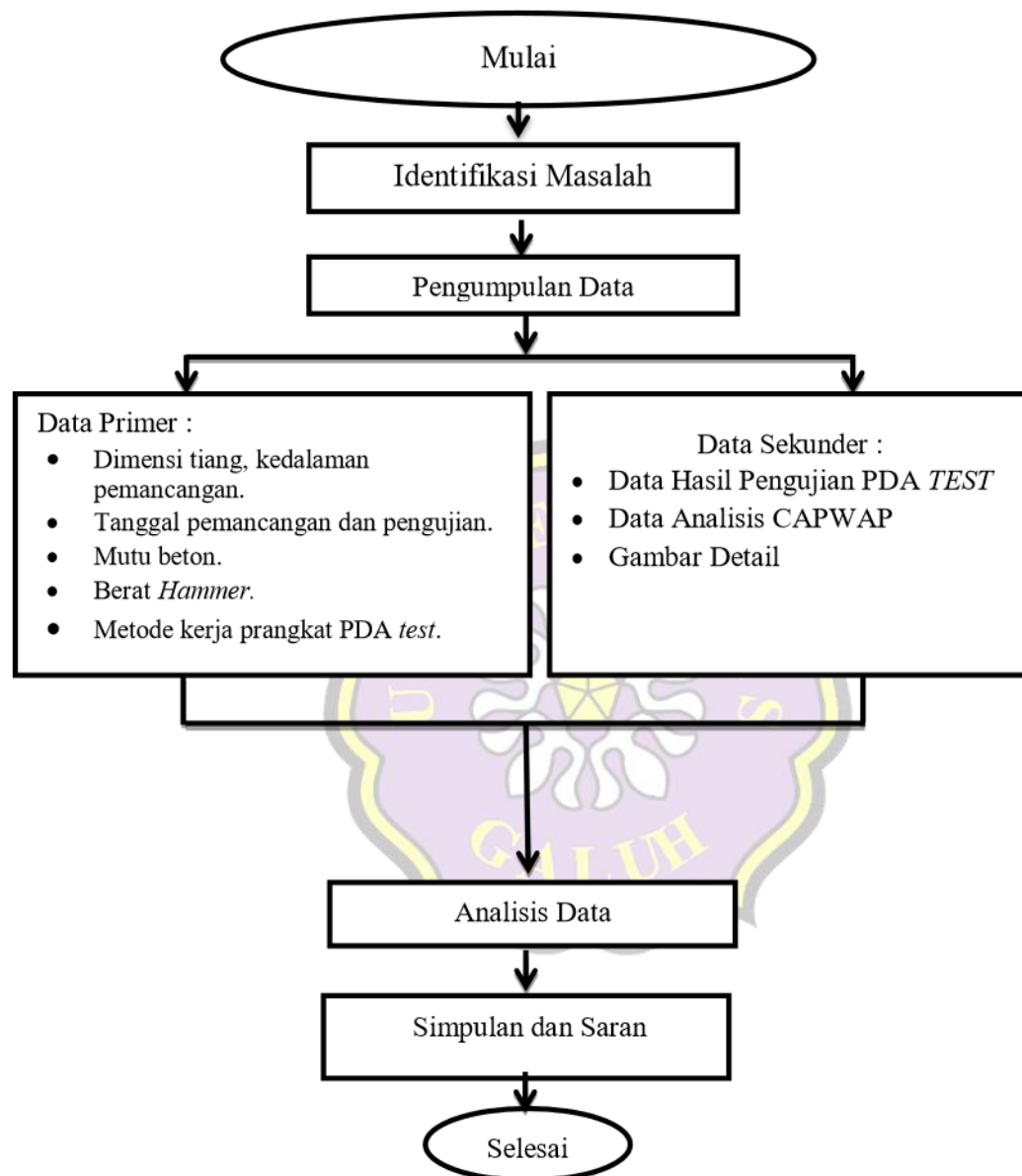
- Dimensi tiang, dan kedalaman pemancangan.
- Tanggal pemancangan dan pengujian.
- Mutu beton.
- Berat Hammer.
- Metode kerja prangkat *PDA test*.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diambil oleh peneliti secara tidak langsung dari objeknya yaitu berupa data tertulis. Data sekunder diperoleh dari instansi terkait. Data sekunder meliputi data analisis CAPWAP, hasil pengujian *PDA test* dan gambar detail.

2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*). Adapun langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini :

Gambar 2. Bagan Alir Penelitian (*Flow Chart*)

2.4 Analisis Data

Analisis data yang ada dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Pengumpulan Data

Mempersiapkan data yang dibutuhkan untuk melaksanakan penelitian yang terdiri dari data primer dan data sekunder.

2. Analisis Hasil Metode Pengujian Tiang

Tahapan Analisis Metode Pengujian tiang sesuai HSDP atau ASTM D-4945 yaitu bertujuan untuk membandingkan nilai analisis C APWAP dengan hukum kasus.

Adapun yang dibandingkan terkait analisis CAPWAP dan hukum kasus yaitu :

- Data daya dukung ultimit tiang (Q_u) dari hasil PDA *TEST* sebagai bahan untuk

mengkonfirmasi kematangan perencanaan. Daya dukung tiang aman Ketika $Q_u < R_u$, tetapi jika $Q_u \geq R_u$ maka daya dukung tiang tidak aman atau kemungkinan mengalami kelebihan beban.

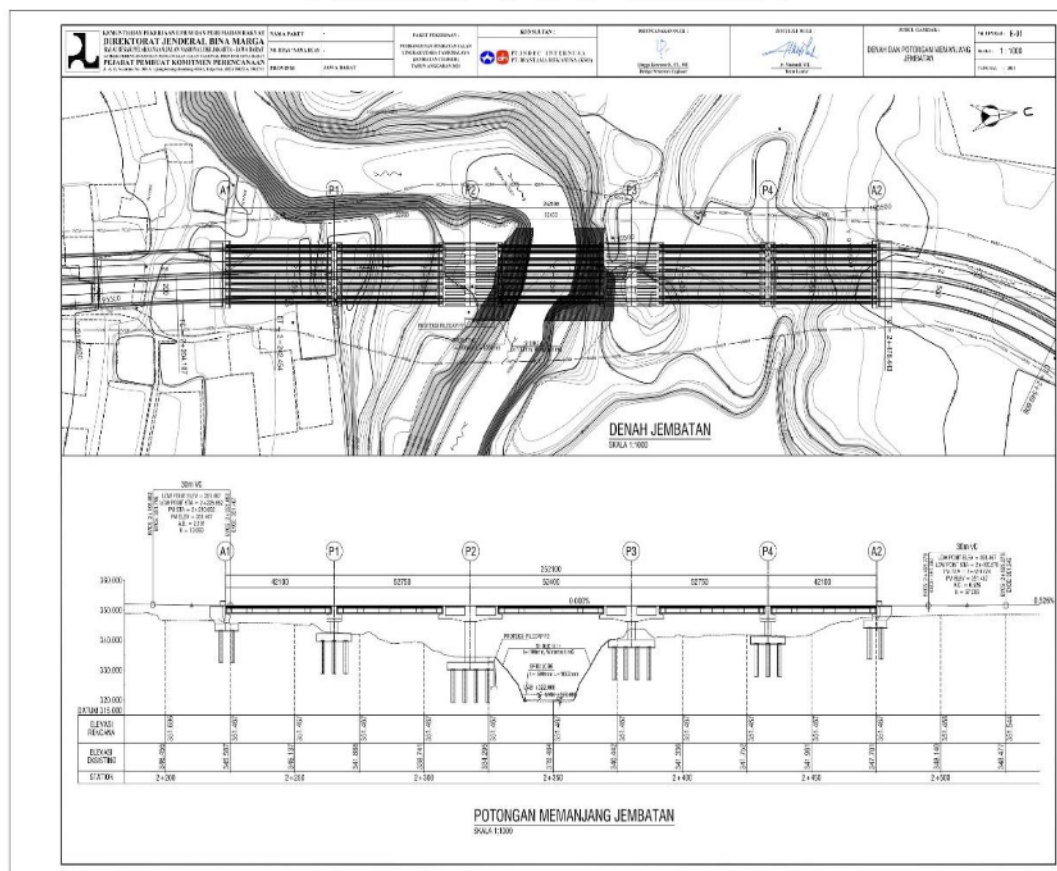
- Menganalisis data integritas tiang (BTA) dari hasil PDA *TEST*. Jika hasil BTA $> 80\%$ maka tiang tidak banyak mengalami kerusakan, tetapi jika BTA $< 80\%$ maka terdapat kerusakan serius pada tiang.
- Menganalisis data penurunan maksimum tiang (D_x) dan penurunan permanen tiang (DFN). Jika hasil $D_x < S_f$ atau DFN $< S_p$ maka penurunan tiang masih dalam batas toleransi. Tetapi jika $D_x > S_f$ atau DFN $> S_p$ maka penurunan tiang yang terjadi berlebihan sehingga kurang aman.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Eksisting Proyek

Penelitian ini dilakukan di proyek jalan Lingkar Utara Kota Tasikmalaya Jembatan

Ciloseh. Adapun gambar denah pondasi jembatan yang diteliti sebagai berikut :



Gambar 3. Potongan Memanjang Jembatan

Pengujian dilakukan dengan cara mengambil sampel tiang pondasi sebanyak 2 buah di P2, P3 serta 1 buah di P4.. Adapun data pondasi secara umum sebagai berikut :
Mutu Beton f'_c : 30 Mpa jenis SCC

Diameter Tiang : 1500 mm
Selimut Beton : 75 mm
Modulus Elastisitas : 240000 Mpa
Daya Dukung Ultimit Rencana : 800 Ton per tiang.

3.1.1 Hasil Pengujian PDA Test di P3

Pengujian dimulai dari pilar 3 dengan pengambilan sampel tiang pondasi No. 14 dan 17.



Gambar 4. Pengujian Tiang (P3 – 14)

- a. Tiang No. 14 (P3 – 14)
Adapun data disajikan sebagai berikut :
- | | |
|--|--|
| Total Panjang Tiang : 32 m | • B1b 36 D32, B2b D19-300 P.
Potongan 19 m |
| Tanggal Pengecoran : Rabu, 02 Maret 2022 | Tanggal Pengujian : Jumat, 08 April 2022 |
| Diameter Pembesian : | Jumlah Tumbukan : |
| • B1 66 D32 , B2 D-19-75 P.
Potongan 6 m | 2 Kali tumbukan dengan tahapan Ketinggian 1,5 m untuk tumbukan pertama dan 2 m untuk tumbukan kedua. |
| • B1a 46 D32, B2a D19-200 P.
Potongan 7 m | Berat Palu : 9 Ton |
| | Pemasangan Sensor : 1,5 m dari permukaan pondasi saling bersebrangan. |

Tabel 1. Hasil Pengujian PDA Tiang No. 14 (P3 – 14)

No	Uraian	Kode	Hasil Pengujian
1	Daya dukung tiang (ton)	RMX	502
2	Gaya tekan maksimum (ton)	FMX	510

3	Gaya tarik maksimum (ton)	CTN	682
4	Efisiensi energi yang ditransfer (ton.m)	EMX	0,435
5	Penurunan maksimum (mm)	DMX	1,15
6	Penurunan permanen (mm)	DFN	-1,23
7	Tinggi jatuh palu (m)	STK	2
8	Nilai keutuhan tiang (%)	BTA	14
9	Panjang tiang di bawah instrument (m)	LE	31,5
10	Panjang tiang tertanam (m)	LP	31,30
11	Luas penampang tiang (cm ²)	AR	21527,3

b. Tiang No.17 (P3 – 17)

Adapun data sebagai berikut :



Gambar 5. Pengujian Tiang (P3 – 17)

Total Panjang Tiang : 32 m

Diameter Pembesian :

- B1 66 D32 , B2 D-19-75 P. Potongan 6 m
- B1a 46 D32, B2a D19-200 P. Potongan 7 m
- B1b 36 D32, B2b D19-300 P. Potongan 19 m

Tanggal Pengecoran : Sabtu, 26 Februari 2022

Tanggal Pengujian : Jumat, 08 April 2022

Jumlah Tumbukan : 3 Kali tumbukan dengan

tahap Ketinggian 2 m untuk tumbukan pertama, 2,3 m untuk tumbukan kedua dan 2,5 m untuk tumbukan ketiga.

Berat Palu : 9 Ton

Pemasangan Sensor : 1,5 m dari permukaan pondasi saling bersebrangan.

Tabel 2. Hasil Pengujian PDA tiang No. 14 (P3 – 17)

No	Uraian	Kode	Hasil Pengujian
1	Daya dukung tiang (ton)	RMX	846
2	Gaya tekan maksimum (ton)	FMX	2103
3	Gaya tarik maksimum (ton)	CTN	210
4	Efisiensi energi yang ditransfer (ton.m)	EMX	3,508

5	Penurunan maksimum (mm)	DMX	2,29
6	Penurunan permanen (mm)	DFN	0,48
7	Tinggi jatuh palu (m)	STK	2,5
8	Nilai keutuhan tiang (%)	BTA	34
9	Panjang tiang di bawah instrument (m)	LE	26,5
10	Panjang tiang tertanam (m)	LP	26,3
11	Luas penampang tiang (cm ²)	AR	21527,3

3.1.2 Hasil Pengujian PDA Test di P4

a. Tiang No. 5 (P4 – 5)

Adapun data sebagai berikut :



Gambar 6. Pengujian Tiang (P4 – 5)

Total Panjang Tiang : 24 m

Diameter Pembesian :

- B1 42 D32 , B2 D-19-100 P.
Potongan 6 m
- B1a 26 D32, B2a D19-200 P.
Potongan 6 m
- B1b 22 D32, B2b D16-300 P.
Potongan 13 m

Tanggal Pengecoran : Senin, 07 Februari 2022

Tanggal Pengujian : Sabtu, 09 April 2022

Jumlah Tumbukan : 1 Kali tumbukan dengan ketinggian 1,5 m dari permukaan pondasi dan sudah mencapai titik maksimum integritas tiang.

Berat Palu : 9 Ton

Pemasangan Sensor : 1,5 m dari permukaan pondasi saling bersebrangan.

Tabel 3. Hasil Pengujian PDA Tiang No. 4 (P4 – 5)

No	Uraian	Kode	Hasil Pengujian
1	Daya dukung tiang (ton)	RMX	674
2	Gaya tekan maksimum (ton)	FMX	698
3	Gaya tarik maksimum (ton)	CTN	643
4	Efisiensi energi yang ditransfer (ton.m)	EMX	0,717
5	Penurunan maksimum (mm)	DMX	1,47
6	Penurunan permanen (mm)	DFN	-0,36
7	Tinggi jatuh palu (m)	STK	1,5
8	Nilai keutuhan tiang (%)	BTA	0
9	Panjang tiang di bawah instrument (m)	LE	17,5

10	Panjang tiang tertanam (m)	LP	17,3
11	Luas penampang tiang (cm ²)	AR	21527,3

3.1.3 Hasil Pengujian PDA Test di P4

Pengujian di pilar dua mengambil sampel tiang pondasi sebanyak 2 buah yaitu P12 dan P26 (P2 – 12 dan P2 – P26).

- Tiang No. 26 (P2 – 26)

Adapun data disajikan sebagai berikut :



Gambar 7. Pengujian Tiang (P2 – 26)

Total Panjang Tiang : 44 m

Diameter Pembesian :

- B1 70 D32 , B2 D-19-75 P. Potongan 7 m
- B1a 44 D32, B2a D19-150 P. Potongan 7 m
- B1b 44 D32, B2b D19-250 P. Potongan 30 m

Tanggal Pengecoran : Jumat, 25 Februari 2022

Tanggal Pengujian : Sabtu, 09 April 2022

Jumlah Tumbukan : 2 Kali tumbukan dengan tahapan ketinggian 1,7 m untuk tumbukan pertama, 2,2 m dan untuk tumbukan kedua, tiang sudah mencapai batas ultimitnya.

Berat Palu : 9 ton

Pemasangan Sensor : 1,7 m dari permukaan pondasi saling bersebrangan.

Tabel 4. Hasil Pengujian PDA Tiang No. 26 (P2 – 26)

No	Uraian	Kode	Hasil Pengujian
1	Daya dukung tiang (ton)	RMX	714
2	Gaya tekan maksimum (ton)	FMX	1661
3	Gaya tarik maksimum (ton)	CTN	322
4	Efisiensi energi yang ditransfer (ton.m)	EMX	2,367
5	Penurunan maksimum (mm)	DMX	1,9
6	Penurunan permanen (mm)	DFN	-0,98
7	Tinggi jatuh palu (m)	STK	2,2
8	Nilai keutuhan tiang (%)	BTA	0
9	Panjang tiang di bawah instrument (m)	LE	24,6

10	Panjang tiang tertanam (m)	LP	24,3
11	Luas penampang tiang (cm ²)	AR	21527,3

- Tiang No. 12 (P2 – 12)

Adapun data disajikan sebagai berikut :



Gambar 8. Pengujian Tiang (P2 – 12)

Total Panjang Tiang : 44 m
Diameter Pembesian :

- B1 70 D32 , B2 D-19-75 P. Potongan 7 m
- B1a 44 D32, B2a D19-150 P. Potongan 7 m
- B1b 44 D32, B2b D19-250 P. Potongan 30 m

Tanggal Pengecoran : Kamis, 03 Maret 2022

Tanggal Pengujian : Sabtu, 10 April 2022

Jumlah Tumbukan : 2 Kali tumbukan dengan tahapan ketinggian 1,7 m untuk tumbukan pertama, 2,3 m dan untuk tumbukan kedua, tiang sudah mencapai batas ultimitnya.

Berat Palu : 9 Ton

Pemasangan Sensor : 1,6 m dari permukaan pondasi saling bersebrangan.

Tabel 5. Hasil Pengujian PDA Tiang No. 12 (P2 – 12)

No	Uraian	Kode	Hasil Pengujian
1	Daya dukung tiang (ton)	RMX	742
2	Gaya tekan maksimum (ton)	FMX	1198
3	Gaya tarik maksimum (ton)	CTN	656
4	Efisiensi energi yang ditransfer (ton.m)	EMX	1,533
5	Penurunan maksimum (mm)	DMX	1,72
6	Penurunan permanen (mm)	DFN	0
7	Tinggi jatuh palu (m)	STK	2,3
8	Nilai keutuhan tiang (%)	BTA	0
9	Panjang tiang di bawah instrument (m)	LE	43,5
10	Panjang tiang tertanam (m)	LP	43,3
11	Luas penampang tiang (cm ²)	AR	21527,3

3.2 Hasil Analisis CAPWAVE

Hasil pengujian PDA Test pada tiang pondasi *Bore Pile* proyek jembatan Ciloseh Kota Tasikmalaya yang dianalisis dengan *software* CAPWAVE diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Analisis CAPWAVE

No Tiang	Daya Dukung Tiang				Ket
	PDA (Ton)	Total (Ton)	Lengketan (Ton)	Tahanan Ujung (Ton)	
P2 – 12	833	899,3	691,3	208	Refusal
P2 – 26	853	855,3	795	60,3	Refusal
P3 – 14	817	1000	961,4	38,6	Refusal
P3 – 17	1089	1221	1113	108	Refusal
P4 – 5	681	738	630	108	Refusal

Refusal : daya dukung belum termobilisasi.

3.3 Analisis Metode Hukum Kasus

Adapun analisis metode hukum kasus sebagai berikut :

1. Pilar 3

a. Tiang no. 14 (P3-14)

Perhitungan hukum kasus didasarkan dari nilai kecepatan gelombang pada beton dan nilai gaya yang diberikan oleh palu. Berikut ini adalah hasil perhitungan ME, C, Impedansi dan total tiang.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700. (f_c)^{0.5} \\
 E &= 4700. (30)^{0.5} = 25.743 \text{ Mpa} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho} \right)^{0.5} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho} \right)^{0.5} \cdot 25.743 = \left(\frac{25.743 \text{ Mpa}}{2400} \right)^{0.5} \cdot 10^3 = \\
 &= 3,27 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 3270 \\
 z &= \frac{EA}{c} \\
 z &= \frac{EA}{c} = \frac{25.743 \text{ Mpa} \cdot 21527,3}{3270 \cdot 10^2} = 1.694,7 \text{ ton.m/s} \\
 R_{tl} &= 0,5(F_{t1} + F_{t2}) + 0,5. Z (V_{t1} - V_{t2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{tl} &= 0,5(919,9 + 0) + 0,5. 1.694,7 (0,49 - 0) \\
 R_{tl} &= 875,15 \text{ ton} \\
 RMX &= R_{t1} - J_c(V_{t1}.Z + F_{t1} - R_{t1}) \\
 RMX &= 875,5 - 0,1(0,5 \cdot 1.694,7 + 919,9 \\
 &\quad - 875,15) \\
 RMX &= 786,29 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

b. Tiang No. 17 (P3 – 17)

Perhitungan hukum kasus didasarkan dari nilai kecepatan gelombang pada beton dan nilai gaya yang diberikan oleh palu. Berikut ini adalah hasil perhitungan ME, C, Impedansi dan total tiang.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700. (f_c)^{0.5} \\
 E &= 4700. (30)^{0.5} = 25.743 \text{ Mpa} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho} \right)^{0.5} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho} \right)^{0.5} \cdot 25.743 = \left(\frac{25.743 \text{ Mpa}}{2400} \right)^{0.5} \cdot 10^3 = \\
 &= 3,27 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 3270 \\
 z &= \frac{EA}{c} \\
 z &= \frac{EA}{c} = \frac{25.743 \text{ Mpa} \cdot 21527,3}{3270 \cdot 10^2} = 1.694,7 \text{ ton.m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{tl} &= 0,5(F_{t1} + F_{t2}) + 0,5.Z (V_{t1} - V_{t2}) \\
 R_{tl} &= 0,5(1.064,4 + 0) + 0,5.1.694,7 (0,5 - 0) \\
 R_{tl} &= 955,87 \text{ ton} \\
 RMX &= R_{t1} - J_c(V_{t1}.Z + F_{t1} - R_{t1}) \\
 RMX &= 955,87 - 0,1(0,49.1.694,7 + 1.064,4 - 955,87) \\
 RMX &= 861,97 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Pilar 4

a. Tiang No.5 (P4 – 5)

Perhitungan hukum kasus didasarkan dari nilai kecepatan gelombang pada beton dan nilai gaya yang diberikan oleh palu. Berikut ini adalah hasil perhitungan ME, C, Impedansi dan total tiang.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700.(f_c)^{0,5} \\
 E &= 4700.(30)^{0,5} = 25.743 \text{ Mpa} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0,5} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0,5} . 25.743 = \left(\frac{25.743 \text{ Mpa}}{2400}\right)^{0,5} . 10^3 = 3.27 . 10^3 \text{ m/s} = 3270 \\
 z &= \frac{EA}{c} \\
 z &= \frac{EA}{c} = \frac{25.743 \text{ Mpa} . 21527,3}{3270 . 10^2} = 1.694,7 \text{ ton.m/s} \\
 R_{tl} &= 0,5(F_{t1} + F_{t2}) + 0,5.Z (V_{t1} - V_{t2}) \\
 R_{tl} &= 0,5(1030,6 + 0) + 0,5.1.694,7 (0,21 - 0) \\
 R_{tl} &= 692,94 \text{ ton} \\
 RMX &= R_{t1} - J_c(V_{t1}.Z + F_{t1} - R_{t1}) \\
 RMX &= 692,94 - 0,1(0,21.1.694,7 + 1030,6 - 692,94) \\
 RMX &= 623,58 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

3. Pilar 2

a. Tiang No. 26 (P2 – 26)

Perhitungan hukum kasus didasarkan dari nilai kecepatan gelombang pada beton dan nilai gaya yang diberikan oleh palu. Berikut ini adalah hasil perhitungan ME, C, Impedansi dan total tiang.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700.(f_c)^{0,5} \\
 E &= 4700.(30)^{0,5} = 25.743 \text{ Mpa} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0,5} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0,5} . 25.743 = \left(\frac{25.743 \text{ Mpa}}{2400}\right)^{0,5} . 10^3 = 3.27 . 10^3 \text{ m/s} = 3270 \\
 z &= \frac{EA}{c} \\
 z &= \frac{EA}{c} = \frac{25.743 \text{ Mpa} . 21527,3}{3270 . 10^2} = 1.694,7 \text{ ton.m/s} \\
 R_{tl} &= 0,5(F_{t1} + F_{t2}) + 0,5.Z (V_{t1} - V_{t2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{tl} &= 0,5(899,8 + 0) + 0,5.1.694,7 (0,5 - 0) \\
 R_{tl} &= 873,35 \text{ ton} \\
 RMX &= R_{t1} - J_c(V_{t1}.Z + F_{t1} - R_{t1}) \\
 RMX &= 873,35 - 0,1(0,5.1.694,7 + 899,8 - 873,35) \\
 RMX &= 785,97 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

b. Tiang No. 12 (P2 – 12)

Perhitungan hukum kasus didasarkan dari nilai kecepatan gelombang pada beton dan nilai gaya yang diberikan oleh palu. Berikut ini adalah hasil perhitungan ME, C, Impedansi dan total tiang.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700.(f_c)^{0,5} \\
 E &= 4700.(30)^{0,5} = 25.743 \text{ Mpa} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0,5} \\
 c &= \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0,5} . 25.743 = \left(\frac{25.743 \text{ Mpa}}{2400}\right)^{0,5} . 10^3 = 3.27 . 10^3 \text{ m/s} = 3270 \\
 z &= \frac{EA}{c} \\
 z &= \frac{EA}{c} = \frac{25.743 \text{ Mpa} . 21527,3}{3270 . 10^2} = 1.694,7 \text{ ton.m/s} \\
 R_{tl} &= 0,5(F_{t1} + F_{t2}) + 0,5.Z (V_{t1} - V_{t2}) \\
 R_{tl} &= 0,5(917 + 0) + 0,5.1.694,7 (0,53 - 0) \\
 R_{tl} &= 907,59 \text{ ton} \\
 RMX &= R_{t1} - J_c(V_{t1}.Z + F_{t1} - R_{t1}) \\
 RMX &= 907,59 - 0,1(0,53.1.694,7 + 917 - 907) \\
 RMX &= 875,18 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan di atas perbandingan nilai daya dukung tiang hasil analisis dengan *software CAPWAVE* dan hukum kasus pada proyek jembatan Ciloseh Kota Tasikmalaya ditampilkan pada table di bawah ini :

Tabel 7. Perbandingan Hasil *Software CAPWAVE* dan Metode Hukum Kasus

No	Nama Tiang	PDA (Ton)	Hukum Kasus (Ton)	CAPWAVE (Ton)
1	P2 – 12	833	907,59	899,3
2	P2 – 26	853	873,35	855,3
3	P3 – 14	817	875,15	1000
4	P3 – 17	1089	955,87	1221
5	P4 – 5	681	692,94	738

Berdasarkan tabel di atas terkait daya dukung tiang yang dianalisis dengan analisis CAPWAVE dibandingkan dengan hasil perhitungan metode hukum kasus, yang memberikan nilai 907,59 ton (P2-12), 873,35 ton (P2-26), 875,15 ton (P3 – 14) 955,87 ton (P3 – 17) 692,94 ton (P4 – 5) dengan metode hukum kasus sementara hasil pengujian dengan analisis CAPWAVE memberikan nilai 899,3 ton (P2 – 12), 855,3 ton (P2 – 26), 1000 ton (P3 – 14), 1221 ton (P3 – 17), 738 ton (P4 – 5).

IV. SIMPULAN

Melalui hasil penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan yaitu terkait daya dukung tiang pondasi BORE PILE yang dianalisis dengan CAPWAVE dibandingkan dengan hasil perhitungan metode hukum kasus. Dengan analisis CAPWAVE memberikan nilai 899,3 ton (P2 – 12), 855,3 ton (P2 – 26), 1000 ton (P3 – 14), 1221 ton (P3 – 17), 738 ton (P4 – 5). Dan metode hukum kasus memberikan nilai 907,59 ton (P2-12), 873,35 ton (P2-26), 875,15 ton (P3 – 14) 955,87 ton (P3 – 17) 692,94 ton (P4 – 5).

H. Hussein, Hussein & T. Slash, Kais (2009), "A Correlation Between Dynamic and Static Pile Load TEST Result", Eng. & Tech. Journal Vol. 27 No. 15, Baghdad, Iraq.

Robinson, B., Rausche, F., Likins, G. E., Ealy, C. (2002), "Dynamic Load TESTING of Drilled Shafts at National Geotechnical Experimentation Sites", Deep Foundations 2002, An Int. Perspective on Theory, Design, Construction, & Performance, Orlando, FL ASCE, GSP 116.

Setio, HD, Setio, S, Martha, D, Kamal, B. r dan Nasution, S (2000), "Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Dinamik", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IV, INDO-GEO 2000 HATTI, Jakarta, V 27 V 35.

Vaidya, Ravikiran, (2006), "Introduction to High Strain Dynamic Pile TESTING and Reliability Studies in Southern India, IGC 2006, India.

DAFTAR PUSTAKA

G. E, Likins and F, Rausche (2004). "Correlation of CAPWAP with Static Load TESTs". Proceedings of the Seventh International Conference on the Application of Stresswave Theory to Piles: Petaling Jaya, Selangor, Malaysia.

G&P GEOTECHNICS SDN BHD (2006), "Work Instruction for Engineers : Operating Procedur for Interpretation of High Strain Dynamic Pile TEST (HSDPT) ", Malaysia.

Hardjasaputra, H., Ibrahim, M., Tampubolon, R. (2006), "Strategi Pencegahan Kegagalan Pondasi dengan Melakukan Rangkaian Uji Coba Beban Serta Uji Integritas Tiang Pondasi", Seminar Jurusan Teknik Sipil UPH, Jakarta.