

Identifikasi Pengujian *Pile Driving Analyzer* Pier 51A Pada Proyek Pembangunan Tol Yogyakarta – Bawen

Dony Prasetya¹, Muhamad Abdul Hadi^{2,*}

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Pile Driving Analyzer Test
Bored Pile
Deep Foundation

Corresponding Author:

Muhamad Abdul Hadi
Muhamad.abdul.hadi@uui.ac.id

Abstract

In general, the foundation is a part of the construction structure which has the function of distributing the load from the structure above it to the part of the soil below it evenly. For the project that I did this research using bored pile type foundation. The direct testing method in the field is called the Pile Driving Analyzer Test (PDA) testing method. In essence, the Pile Driving Analyzer (PDA) test is an important test if you want to ensure the quality and slope of the designed foundation. In carrying out the Pile Driving Analyzer test there are several procedures that must be considered. Therefore, it is very necessary to carry out this test in accordance with technical guidelines, project specifications, as well as good and proper implementation when carrying out tests on bored pile foundations through the Pile Driving Analyzer (PDA). There are several testing procedures on the Test Pile Driving Analyzer (PDA), such as the preparation process, the implementation process, and the monitoring process. The Pile Driving Analyzer (PDA) test was carried out when the foundation piles were 28 days old. This is done because it has a specific purpose, namely so that the soil reaches a recovery condition since the bored pile foundation was installed. The full compressive axial load on the PDA test foundation pile is determined to be at least 2 times more than the design load.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Pondasi merupakan suatu struktur konstruksi pada bagian dasar bangunan yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur bangunan ke lapisan tanah yang berada di bagian bawahnya. Oleh sebab itu, pengujian daya dukung tiang dibutuhkan guna mengetahui kapasitas pondasi yang digunakan.

Pondasi terdiri dari beberapa material konstruksi yang kuat, seperti penggunaan beton, baja, atau kombinasi keduanya. Namun, dalam perancangan terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan, salah satunya terkait daya dukung tanah.

Pada perancangan pondasi dalam, pondasi dibedakan atas 2 jenis, yaitu pondasi tiang pancang dan pondasi *bored pile*. Pondasi *bored pile* merupakan jenis pondasi dalam yang menggunakan tiang pancang bor sebagai struktur utama. Dalam pembuatan pondasi *bored pile*, melibatkan pengeboran lubang di tang menggunakan alat berat bor khusus yang selanjutnya lubang tersebut diisi dengan beton. Pondasi *bored pile* memiliki beberapa kelebihan, misalnya cocok dipakai di berbagai kondisi tanah termasuk tanah yang berlumpur, tanah lemah, ataupun berpasir. Selain itu, pondasi *bored pile* memiliki daya dukung yang baik serta memiliki kemampuan untuk menahan beban lateral. Dalam perancangan pondasi *bored pile*, sebaiknya dilakukan oleh pihak yang sudah berpengalaman di bidangnya dengan mempertimbangkan segala aspek

termasuk kondisi tanah dari lokasi proyek tersebut, beban yang akan diterima dan juga aturan-aturan yang berlaku. Hal ini sangat diperlukan guna membentuk pondasi *bored pile* yang dapat memberikan hasil yang maksimal dilihat dari kekuatan dan stabilitas yang dibutuhkan untuk struktur di atasnya.

Pada proyek pembangunan jalan Tol Yogyakarta – Bawen, semua pondasi yang dibangun menggunakan pondasi jenis *bored pile*. Terdapat beberapa faktor yang menjadikan semua pondasi pada proyek yang saya teliti ini menggunakan pondasi *bored pile*. Tanah pada lokasi proyek tersebut bisa dikatakan kurang stabil, karena memiliki kekuatan yang rendah, maka dari itu pondasi *bored pile* bisa menjadi pilihan yang tepat. Pondasi ini mampu menembus lapisan tanah yang lunak dan dapat mencapai lapisan yang lebih dalam dengan lebih stabil. Selain itu, pondasi *bored pile* memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik terhadap gempa bumi. Pondasi *bored pile* mampu mendistribusikan gaya lateral yang muncul akibat gempa secara efektif ke lapisan tanah yang lebih dalam serta dapat menjaga stabilitas struktur di atasnya. Apabila struktur yang akan didukung oleh pondasi terdapat beban yang tinggi, pondasi *bored pile* mampu memberikan daya dukung yang cukup kuat.

Proses perancangan pondasi *bored pile* tetap memiliki metode-metode yang sebaiknya dilaksanakan, salah satu metode tersebut yaitu dengan metode pengujian langsung di lapangan. Metode pengujian langsung di lapangan dinamakan dengan metode pengujian *Pile Driving Analyzer Test* (PDA). Pada pelaksanaan *Pile Driving Analyzer* (PDA), menggunakan metode *Wave Analysis*, Metode *Wave Analysis* itu sendiri merupakan bentuk pengujian yang dilakukan dengan cara memukul secara berulang pada tiang yang dilakukan pengujian. Melalui pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA), dapat mengetahui informasi tentang efek dinamis dari tiang pancang bor dan memastikan bahwa tiang

pancang bor tersebut sudah dirancang dengan baik dan benar sesuai kapasitas dukung yang mumpuni. Proses ketika melakukan pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) sedikit berbeda, karena transduser getaran ditempatkan pada rangkaian kabel ekstensometer diletakkan di tiang pondasinya yang berguna untuk mengetahui ukuran gaya yang terjadi pada pondasi *bored pile* tersebut, misalnya evaluasi pondasi *bored pile* pada tanah di sekitarnya. Saat pelaksanaan pengujian PDA dapat memberikan data penting terkait kekuatan, kekuatan dan kelandaian dari pondasi *bored pile* tersebut serta interaksi terhadap tanah di sekitarnya. Pada intinya, pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) ini merupakan pengujian penting jika ingin memastikan kualitas serta kelandaian dari pondasi yang dirancang tersebut. Pengujian PDA juga dapat membantu dalam merencanakan serta memastikan apakah pondasi *bored pile* tersebut optimal untuk digunakan sebagai struktur yang kuat dan aman untuk beban struktur di atasnya.

Menurut Hardjasaputra H. (2006), salah satu cara untuk mengevaluasi daya dukung pondasi tiang dengan menggunakan metode uji beban statik yaitu pembebanan langsung tiang pondasi dengan besar beban 200% atau 300% daya dukung ijin tiang. Uji beban sebesar 200% lebih ditujukan untuk 'pembuktian' saat konstruksi, sedangkan uji beban sebesar 300% ditujukan untuk mencari daya dukung batas tiang, untuk keperluan perencanaan pondasi. Data penting dari pengujian ini adalah diperolehnya grafik hubungan antara penurunan (*settlement*) vs beban (*load*).

Pada proyek pembangunan Tol Yogyakarta – Bawen fokus analisis dilakukan pada P51A BP04. Pengamatan bermaksud untuk dalam memverifikasi bahwa konstruksi pondasi dilakukan sesuai dengan rencana desain yang telah ditetapkan, seperti memeriksa dimensi, kedalaman, dan metode pelaksanaan konstruksi yang diimplementasikan. Pengamatan yang

dilakukan secara cermat dapat dipastikan bahwa pondasi *bored pile* yang dibangun sesuai dengan persyaratan teknis berdasarkan standar spesifikasi proyek tersebut.

Penelitian tentang pondasi yang dilakukan oleh Handayani (2021) dengan judul “Analisis Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Bored Pile Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga Dengan Uji Test Pda (*Pile Driving Analyzer*)” bahwa hasil perbandingan dari pengujian *static* dan dinamis pada bored pile terdapat perbandingan selisih yang tidak signifikan. Hal itu sangat membantu untuk memastikan kekuatan struktur di atas pondasi, terutama ketika menerima beban eksternal. Penelitian pondasi *bored pile* juga dapat menghasilkan inovasi yang menguntungkan bagi bidang konstruksi dalam penghematan biaya, karena penelitian tersebut mampu mempelajari penggunaan material yang lebih murah dan lebih efisien. Melalui penelitian ini juga dapat mengetahui nilai tentang kapasitas daya dukung ultimit (Q_{ult}) tiang bor secara tunggal melalui perhitungan yang dilakukan dan juga dapat mengetahui perbedaan hasil antara nilai yang dihasilkan dari grafik uji *Pile Driving Analyzer* dengan perhitungan daya dukung ultimit (Q_{ult}) pada pondasi yang diteliti.

Metode Penelitian

Data penelitian didapatkan melalui pengamatan yang dilakukan secara langsung di lapangan ketika pengujian berlangsung serta Analisa dengan ukuran dimensi tiang dan panjang tiang yang didapatkan dari *bored pile* yang diamati pada proyek Tol Yogyakarta – Bawen. Selanjutnya diperoleh nilai hasil dari grafik Uji PDA dan akan dibandingkan dengan perhitungan manual yang dilakukan agar mengetahui kualitas yang ada pada bored pile yang diamati dari segi daya dukung tiangnya hingga penurunan tiang.

Penelitian ini dilaksanakan dengan objek pondasi bored P51 BP04 melalui pengujian *Pile Driving Analyzer* pada proyek pembangunan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 Seksi 1.

Landasan Teori

Daya Dukung

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan tiang dalam mendukung beban. Merujuk pada kemampuan suatu tiang dalam menahan dan mendukung beban vertical yang diterapkannya. Secara spesifik, kapasitas daya dukung tiang mengacu pada beban maksimum yang mampu ditahan oleh tiang sebelum terjadi kegagalan struktural.

Dalam metode uji lapangan, tiang diberikan beban secara bertahap hingga mencapai batas kegagalan. Data dari uji lapangan tersebut dapat digunakan untuk menganalisa kapasitas daya dukung tiang.

Metode analisis melibatkan penggunaan rumus dan perhitungan matematis berdasarkan karakteristik tanah, dimensi tiang, dan faktor keamanan. Metode ini memungkinkan tidak harus melaksanakan uji lapangan yang memakan waktu dan biaya. Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk menganalisis perhitungan kapasitas daya dukung tiang disajikan pada Persamaan 1 dan Persamaan 2 berikut.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W_p \quad (1)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (2)$$

dengan,

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung ultimit
(Ton)

Q_p = Tahanan ujung (Ton)

Q_s = Tahanan gesek/friksi (Ton)

Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin (Ton)

SF = Koefisien *safety factor*

Rumus untuk non kohesif pada tahanan ujung tiang menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (3)$$

Keterangan,

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas
(Ton/ m^2)

Rumus untuk tahanan gesek tiang pada tanah non kohesif menggunakan Persamaan 4 berikut.

$$Q_s = A_s \times f_s \quad (4)$$

Keterangan,

A_s = luas selimut tiang (m^2)

f_s = tahanan gesek per satuan luas (t/m^2)

Rumus berat pondasi tiang menggunakan Persamaan 5 berikut.

$$W_p = A_b \times L \times B_j \quad (5)$$

Keterangan

A_b = luas penampang ujung tiang (m^2)

A_s = Panjang tiang bored pile (m)

B_j = Berat jenis beton (kg/m^3)

Penurunan

Adapun rumus perhitungan penurunan pondasi tiang *bored pile* berdasarkan metode empiris menggunakan Persamaan 6.

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \quad (6)$$

dengan,

S = Penurunan total pondasi tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

Q = beban yang bekerja (Ton)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus elastis tiang

$$= 4700 \sqrt{f'c}$$

Rumus untuk penurunan yang diijinkan, menggunakan Persamaan 7 berikut.

$$S_{total} \leq S_{izin} \quad (7)$$

dengan,

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

D = Diameter tiang (m)

Berkaitan dengan rumus-rumus diatas, menurut metode perhitungan reese dan wright menganjurkan bahwa, apabila jumlah N pada bagian ujung tiang <60 , maka nilai $q_p = 7N$ (t/m^2), lalu jika >60 , maka nilai $q_p = 400(t/m^2)$. Selanjutnya, apabila jumlah nilai $N_{rt} <54$, maka nilai $f_s = 0,32 N_{rt}$ (ton/m^2). Nilai f_s dapat diperoleh langsung dari grafik korelasi nilai N -SPT dan nilai f , apabila nilai $N_{rt} 53 < N_{rt} < 100$

Pile Driving Analyzer (PDA)

Menurut Didik Haryadi (2023). Uji PDA merupakan suatu metode pengujian secara dinamik untuk mengukur kapasitas ultimate aksial tekan tiang, penurunan akhir, keutuhan tiang, dan energi yang berasal dari tumbukan *hammer* yang dilakukan pada pondasi dalam.

Pengujian *Pile Driving Analyzer* dilaksanakan dengan meletakkan 2 pasang sensor yang berlawanan. Adapun 2 pasang sensor tersebut yaitu satu pasang sensor yang terdiri dari pengukur regangan dan pengukur percepatan yang dipasang dibawah kepala tiang. Sensor tersebut akan merekam gerakan yang timbul dan mengubah menjadi sinyal listrik lalu hasilnya akan langsung terekam dan diproses dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) model PAX.

Pada umumnya, kerusakan tiang diindikasikan dengan BTA yang kurang dari 100%. BTA merupakan perbandingan antara area bagian tiang yang direkam dengan desain area tiang dalam ditunjukkan dalam bentuk persentase. Skala kerusakan tiang yang disarankan *Pile Dynamics, Inc* disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Penilaian Kerusakan Tiang

BTA (%)	Penilaian
100 %	Tidak ada kerusakan
80-99 %	Kerusakan ringan
60-79 %	Kerusakan serius
< 60 %	Patah

Berdasarkan tabel di atas, kerusakan tiang dapat diindikasikan dengan BTA yang kurang dari 100%. Kerusakan dapat dipicu dari struktur dan fungsi, kondisi pembebanan, manufaktur tiang, dan lokasi kerusakan.

Perlu diketahui, dalam analisis hasil test *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang saya teliti, ada beberapa hal yang harus sangat diperhatikan, beberapa hal tersebut antara lain, yaitu:

1. Nilai CSX

Pada pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA), istilah “*Maksimum Compression Stress*” mungkin tidak umum digunakan. Nilai *Maksimum Compression Stress* digunakan sebagai batasan nilai tertentu. Walaupun tidak umum digunakan sebagai batasan tertentu, Nilai CSX menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam menganalisis pondasi *bored pile* yang dilakukan pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA). Batasan untuk nilai CSX pada spesifikasi proyek yang saya teliti untuk Uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) yaitu 70%. Perancangan batas maksimum dari nilai CSX mengacu pada tingkat pengetahuan yang dianggap sudah mumpuni, karena batas tersebut salah satu metode untuk menganalisis kondisi tiang setelah dilakukan pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA).

2. Nilai DFN

Nilai DFN atau bisa dikatakan dengan istilah “penurunan permanen” merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam menganalisis hasil grafik Uji *Pile Driving Analyzer* (PDA). Secara umum, nilai penurunan permanen diberikan batasan yaitu tidak boleh

melebihi 4 kali diameter dari tiang pondasi. Adapun tujuan tidak boleh melebihi 4 kali diameter dari tiang pondasi agar gaya yang dihasilkan terhadap tiang dalam dapat diterima, karena ketika pelaksanaan Uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) tetap berpotensi menyebabkan kerusakan pada tiang.

3. Grafik

Bentuk grafik yang dihasilkan dalam pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) dapat menunjukkan rusak atau tidaknya kondisi pondasi tiang ketika dilakukan pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA). Bentuk grafik yang dihasilkan dari monitor bisa berpotensi ataupun tidak berpotongan. Grafik yang berpotongan menunjukkan bahwa pondasi tiang *bored pile* yang dilakukan *Pile Driving Analyzer* (PDA) terdapat indikasi kerusakan. Oleh karena, penting untuk menganalisis bentuk grafik yang dihasilkan dari pengujian tersebut untuk mengetahui tiang yang diuji mengalami kerusakan atau tidak.

Proses Pelaksanaan

Prosedur pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada proyek pembangunan Tol Yogyakarta – Bawen disajikan sebagai berikut:

Sebelum pelaksanaan pengujian, pastikan Kembali semua *instrument* pada alat uji Test *Pile Driving Analyzer* sudah terpasang dengan tepat dan benar.

Apabila semua tahap persiapan di awal sudah semua dijalankan dengan baik, kemudian instruksikan pekerja yang ditugaskan untuk melakukan tumbukan pada tiang. Tinggi tumbukan yang jatuh yaitu paling minimal rendahnya setinggi 50cm dan dilakukan bertahap hingga jatuh dengan tinggi maksimal.

Ketika sudah dilakukan penumbukan atau penjatuhan beban kemudian pada tiang mengalami retakan padahal belum mencapai nilai daya dukung yang diharapkan sesuai dengan perancangan/beban rencana, maka

pelaksanaan pengujian *Pile Driving Analyzer* tidak boleh dilanjutkan

Ketika pemuatan sedang berlangsung, alat uji PDA akan merekam respon dinamis dari pondasi tersebut. Selanjutnya, data yang akan diinput antara lain gaya, percepatan, kecepatan, perpindahan pondasi selama pemuatan. Apabila pembacaan pada alat PDA sudah mencapai 200% dari beban rencana maka hasil pengujian bisa dihentikan. Hal itu didukung dengan *safety factor* yang dipakai umumnya 2-2,5

Setelah pengujian selesai, maka hasil yang didapatkan harus dianalisis guna memperoleh data yang penting terkait karakteristik pondasi bored pile. Adapun beberapa hal yang umumnya dianalisis yaitu berkaitan dengan kekuatan pondasi, kapasitas beban ultimate, dan penurunannya.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) dilaksanakan ketika umur dari tiang pondasi tersebut sudah berumur 28 hari. Hal itu dilakukan karena memiliki tujuan tertentu yaitu supaya tanah mencapai kondisi pemulihan semenjak kondisi pemasangan pondasi *bored pile*. Pondasi *bored pile* yang dilakukan pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) memiliki diameter yaitu 1,2 m serta Panjang totalnya saat pengujian yaitu 36,3 m.

Beban aksial tekan penuh pada tiang pondasi uji PDA ditetapkan minimal 2 kali lebih dari beban rencana. Ketetapan 2 kali lipat lebih dari beban rencana dilakukan karena hal itu dapat berpengaruh pada kinerja pondasi tersebut, antara lain:

1. Verifikasi Kapasitas

Dengan menggunakan beban aksial tekan yang lebih besar daripada beban rencana saat pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA), tentunya dapat mengetahui kapasitas beban struktur lebih jauh dari batas beban rencana yang ditetapkan. Hal itu dapat memudahkan untuk mengetahui

bahwa struktur dari pondasi tersebut mempunyai daya dukung yang baik serta dapat mencakupi minimal persyaratan desain sesuai ketetapan.

2. Keamanan

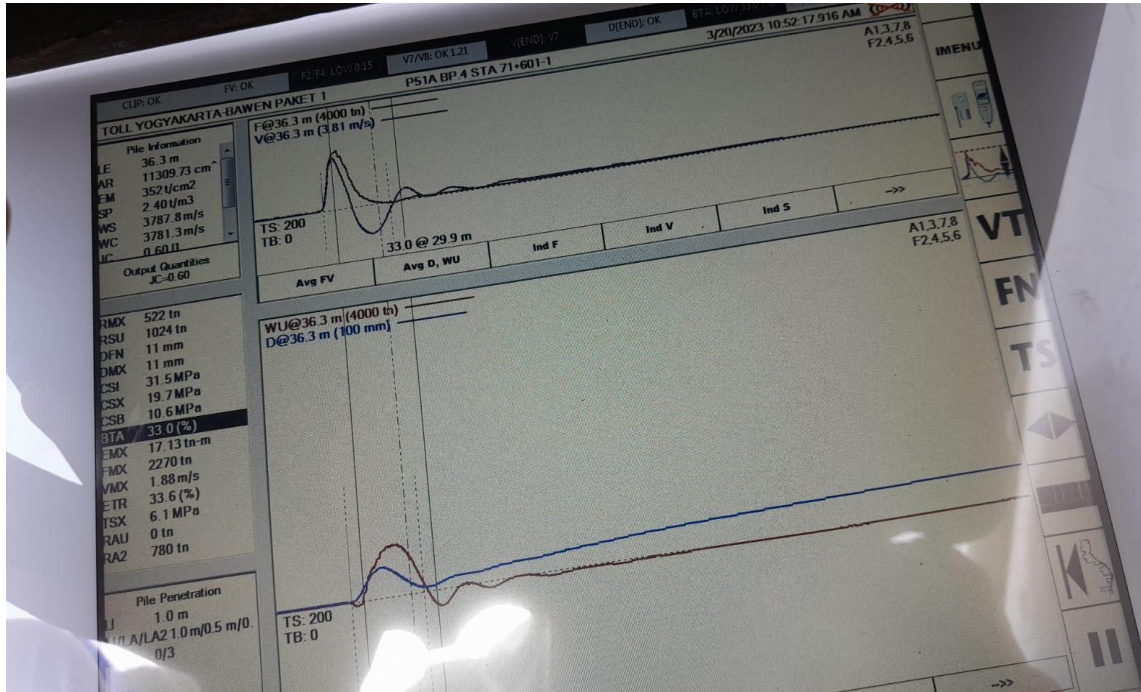
Pemakaian beban aksial tekan yang lebih besar daripada beban rencana yang ditetapkan saat uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) juga dapat berpengaruh pada margin keamanan yang lebih tinggi. Tentunya hal itu yang penting untuk kekuatan dari struktur pondasi tersebut. Penggunaan beban aksial yang lebih besar dibandingkan dari beban rencana, dapat juga memastikan bahwa kekuatan struktur pada pondasi tersebut telah memadai terlebih ketika menerima segala beban yang kemungkinan akan lebih besar daripada beban yang sudah direncanakan.

3. Pengujian Mendalam pada Struktur

Penggunaan beban yang lebih tinggi dibandingkan beban rencana pada uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) dapat membantu dalam melakukan analisis serta memahami perilaku struktur dengan

baik. Hal itu bisa dilakukan karena data yang didapatkan selama pengujian memberikan informasi yang rinci terkait sifat struktur tersebut, misalnya seperti kekakuan, redaman, dan respon dinamis.

Grafik dan hasil yang didapatkan saat pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) di P51A dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Montior PDA P51A BP04

Didapatkan:

BN : 2

RMX : 522 Ton

CSX : 19.7 Mpa

TSX : 6,1 Mpa

EMX : 17,13 Ton

DMX : 11 mm

DFN : 11 mm

BTA : 33%

STK : 2 m

LE : 36,3 m

AR : 11309,73 cm²

Keterangan,

BN : Pukulan

RMX : Daya dukung tiang

CSX : Maksimum Compression Stress

TSX : Maksimum Tension Stress

EMX : Energi Maksimum yang di transfer

DMX : Penurunan maksimum

DFN : Penurunan permanen

BTA : Nilai Keutuhan

STK : Tinggi jatuh palu

LE : Panjang tiang dibawah instrument

AR : Luas penampang tiang

Berdasarkan hasil pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA), dapat dilihat tiang sebesar 11mm dan masih bisa mengalami penurunan sampai 11mm. Berdasarkan hasil Rmx dan Rsu yang dievaluasi dengan beban ijin 620 x

2,5 masih memenuhi grafik *velocity* dan *fore* tidak berpotongan serta diasumsikan pembacaan grafik PDA tidak ada lapisan yang memisahkan beton *bored pile*.

Dari data yang sudah diperoleh, untuk daya dukung aksial tiang dapat diperkirakan melalui analisis rekaman yang terbaik, yaitu melalui rekaman gelombang yang didapatkan dari tumbukan memberikan energi tertinggi. Adapun hal lain yaitu dengan diusahakan untuk memilih tumbukan mula-mula, yang mana ketika gaya lengketan tanah yang sedang bekerja pada dinding tiang masih dalam keadaan maksimum sehingga dapat lebih memperlihatkan gaya dukung yang hampir mirip dengan keadaan waktu tuang yang nantinya akan menahan beban struktur di atasnya.

Perlu diketahui, dalam analisis hasil test *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang saya teliti, ada beberapa hal yang harus sangat diperhatikan, beberapa hal tersebut antara lain, yaitu:

1. Nilai CSX

Dalam pengujian PDA, nilai csx memiliki Batasan nilai tertentu dalam hasilnya, seperti batas maksimum yaitu 70%. Dalam proses perancangan, tentunya seringkali berdasarkan pada standar penilaian tertentu yang ditetapkan oleh pihak konsultan yang merancang. Mereka menetapkan bahwa 70% merupakan batas yang digunakan untuk mencapai tingkat pengetahuan atau keterampilan yang dianggap mumpuni. Pengujian PDA dirancang untuk mengukur tingkat kompetensi tertentu, seperti batas maksimum 70% mungkin dijadikan ambang batas yang diterapkan untuk mengukur tingkat kompetensi yang diinginkan. Ketetapan yang dipakai dalam proyek pembangunan Tol Yogyakarta – Bawen, diterapkan bahwa nilai csx yang muncul saat pengujian PDA yaitu tidak boleh lebih dari 70% dari mutu beton. Hal tersebut ditakutkan karena jika lebih dari 70% dari mutu beton maka dapat merucak tiang dari pondasi tersebut. Dalam pengujian PDA bored pile P51A pada

proyek pembangunan Tol Yogyakarta-Bawen nilai csx yang didapatkan tidak lebih dari 70%, maka dapat dikatakan bahwa nilai csx yang didapatkan sudah memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan dalam proyek.

2. Nilai DFN

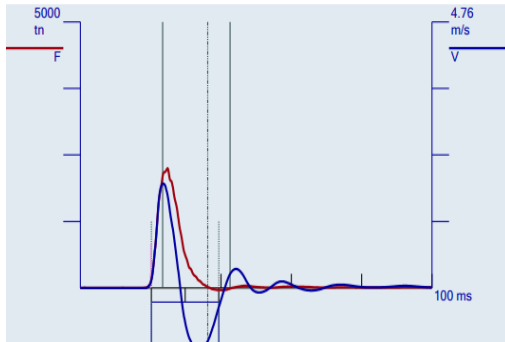
Pada umumnya, batasan bahwa nilai DFN tidak boleh lebih dari 4 kali diameter tiang pondasi, hal itu berdasarkan pada pertimbangan kualitas dan keamanan konstruksi. Dalam pengujian PDA, pukulan yang diberikan berpotensi menyebabkan kerusakan pada tiang pondasi, maka dari itu dengan membatasi nilai DFN menjadi 4 kali diameter diharapkan bahwa gaya yang diterima ke tiang tetap dalam perhitungan yang dapat diterima untuk menjaga integritas struktur. Nilai DFN yang dihasilkan dalam test PDA bored pile P51A proyek pembangunan Tol Yogyakarta – Bawen yaitu 11mm, yang dimana bisa dikatakan batas penurunan tidak melebihi dengan standar ketetapan 4 x 1,2 m (diameter *bored pile*) dan jika dibandingkan dengan hasil nilai DFN yang didapatkan maka sudah lolos untuk standar spesifikasi proyek.

3. Bentuk Grafik

Dalam menganalisis keberhasilan uji *Pile Driving Analyzer* terhadap tiang pondasi bored pile dapat juga dilihat dari bentuk grafik yang muncul. Apabila grafik yang dihasilkan menunjukkan berpotongan itu bisa dikatakan pondasi *bored pile* yang diuji mengalami kerusakan, grafik yang berpotongan juga menunjukkan bahwa ada pergeseran atau perubahan dalam karakteristik tiang. Grafik yang dihasilkan saat pengujian PDA di P51A menunjukkan bahwa grafik tersebut tidak berpotongan. Dengan dilihat dari bentuk grafik tersebut bisa dikatakan bahwa tiang yang diuji tidak mengalami kerusakan. Selain itu, hal itu juga menunjukkan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan dalam

karakteristik pemasangan tiang yang dilakukan pengujian.

Bentuk grafik yang dihasilkan pada saat pengujian PDA di P51A dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik PDA P51A BP04

Pada Gambar 2, grafik terlihat tidak saling berpotongan, maka bisa dikatakan bahwa *bored pile* P51A tidak mengalami kerusakan. Walaupun bentuk grafik PDA yang dihasilkan tidak berpotongan, tetapi harus tetap diamati lalu dianalisis untuk data yang didapatkan yang berguna untuk memastikan bahwa pemasangan tumpukan telah memenuhi persyaratan desain yang ditetapkan.

4. Perhitungan Daya Dukung *Bored Pile*
Perhitungan daya dukung *bored pile* yang dilakukan menggunakan metode Reese & Wright (1977), dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini: Perhitungan ini berdasarkan nilai N-SPT dengan kedalaman *bored pile* 37,8 m.

a. Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

Diketahui:

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 37,8 \text{ m}$$

$$B_j \text{ Beton} = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

$$N_{ujung} = 46$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,2^2$$

$$= 1,131 \text{ m}^2$$

$$q_p = 7 \times N_{ujung}$$

$$= 7 \times 46$$

$$= 322 \text{ t/m}^2$$

Daya dukung ujung tiang :

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$= 1,131 \times 322$$

$$= 364,17 \text{ Ton}$$

b. Daya Dukung Friksi (Q_s)

Diketahui:

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 37,8 \text{ m}$$

$$N_{rt} = 29,2$$

$$A_{selimut} = \pi \times D \times L$$

$$= \pi \times 1,2 \times 37,8$$

$$= 142,43 \text{ m}^2$$

$$f_s = 0,32 \times N_{rt}$$

$$= 0,32 \times 29,2$$

$$= 9,344 \text{ t/m}^2$$

Daya dukung gesek tiang :

$$Q_s = A_s \times f_s$$

$$= 142,43 \times 9,344$$

$$= 1330,866 \text{ Ton}$$

c. Berat Pondasi Tiang (W_p)

Diketahui:

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 37,8 \text{ m}$$

$$A_p = 1,131 \text{ m}^2$$

$$B_j \text{ Beton} = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Berat sendiri pondasi tiang :

$$W_p = A_p \times B_j \times L$$

$$= 1,131 \times 2,4 \times 37,8$$

$$= 102,604 \text{ Ton}$$

d. Kapasitas Daya Dukung Ultimate (Q_{ult})

Diketahui:

$$Q_p = 364,17 \text{ Ton}$$

$$Q_s = 1330,866 \text{ Ton}$$

$$W_p = 102,604 \text{ Ton}$$

Kapasitas daya dukung ultimate :

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W_p$$

$$= 364,17 + 1330,866 - 102,604$$

$$= 1592,432 \text{ Ton}$$

e. Kapasitas Daya Dukung Izin (Q_{ult})

Diketahui:

Proyek Jalan Tol Yogyakarta – Bawen menggunakan SF di angka 2,5.

$$Q_{ult} = 1592,432 \text{ Ton}$$

$$SF = 2,5 \text{ Ton}$$

Kapasitas daya dukung izin :

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{1592,432}{2,5} \\ &= 636,973 \text{ Ton} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Penurunan Tiang

Pada perhitungan penurunan tiang tunggal dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini:

a. Penurunan Pada Tiang Tunggal

Diketahui:

$$P = 620 \text{ Ton}$$

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 3,78 \text{ m}$$

$$B_j \text{ Beton} = 2,4 \text{ Ton}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$A_p = 1,131 \text{ m}^2$$

$$W_p = 102,604 \text{ Ton}$$

Penurunan Tiang

$$\begin{aligned} Q &= P + W_p \\ &= 620 + 102,604 \\ &= 722,604 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_p &= 4700\sqrt{f'_c} \\ &= 4700\sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ Mpa} \\ &= 2624154,97 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{1,2}{100} + \frac{722,604 \times 3,78}{1,131 \times 2624154,97} \\ &= 0,021 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Penurunan yang diijinkan

Diketahui:

$$S = 0,021$$

$$\begin{aligned} S_{izin} &= 10\% \times D \\ &= 10\% \times 1,2 \\ &= 0,12 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} S_{total} &\leq S_{izin} \\ 0,021 &\leq 0,12 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kesimpulan

Pile Driving Analyzer (PDA) merupakan sebuah metode pengujian yang dilaksanakan untuk menganalisis karakteristik pada pondasi yang ditanam dalam tanah. Uji PDA dilaksanakan pada pondasi ketika benda uji berumur minimal 14 hari. Melalui pengujian PDA, beberapa parameter yang dibutuhkan dapat didapatkan datanya, misalnya seperti nilai daya dukung tiang, nilai integritas tiang, serta dapat memperoleh informasi tentang efisiensi kekuatan yang dilalui *hammer*.

Pengujian pada pondasi tersebut dilaksanakan dengan cara menjatuhkan *hammer* ke permukaan pondasi, lalu pada tiang bor sudah dipasang alat khusus yang berguna untuk analisis segala respon yang terjadi akibat jatuhnya *hammer* melalui gelombang yang didapatkan.

Berdasarkan penelitian yang diamati yaitu dengan objek pondasi *bored pile* P51A BP04, didapatkan nilai maksimum compression stress sudah memenuhi dari standar spesifikasi proyek yaitu tidak melebihi dari batas 70% yang merupakan batasan untuk nilai CSX. Selain itu, untuk nilai DFN juga tidak melebihi dari ketentuan spesifikasi proyek. Selanjutnya jika dilihat dari grafik yang dihasilkan tidak menunjukkan berpotongan, dimana hal tersebut menyatakan bahwa tiang pondasi yang diteliti tidak mengalami kerusakan.

Pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada P51A menerangkan bahwa daya dukung tiang sudah memenuhi dari beban ijin tekan x *safety factor* (2.5%) pada Proyek Pembangunan Tol Yogyakarta-Bawen. Pada hasil yang didapatkan dari pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) menunjukkan hasil yang telah memenuhi dari syarat minimum ketetapan proyek. Selain itu, dilakukan juga perhitungan manual yang digunakan sebagai pembandingan untuk menganalisis validitas dari pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada *bored pile* P51 BP04

Kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan analisis berdasarkan hasil yang didapat dari grafik uji PDA dengan analisis perhitungan yang sudah dilakukan terkait

identifikasi *bored pile* P51 BP04, maka dapat dikatakan bahwa tiang pondasi tersebut dalam kondisi yang bagus dan sudah memenuhi dari standar spesifikasi proyek.

Ucapan Terima Kasih

1. PT. Eskapindo Matra, selaku Konsultan Pengawas dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 Seksi 1 Sleman – Banyurejo (STA 67+500 S.D STA 76+300)
2. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, selaku VISITING SPCT (GEOTECHNIC) dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 Seksi 1 Sleman – Banyurejo (STA 67+500 S.D STA 76+300)
3. Bapak Ali Shodik, ST selaku ASS. GEOTECHNIC ENG dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 Seksi 1 Sleman – Banyurejo (STA 67+500 S.D STA 76+300).

Daftar Pustaka

- Fadilah, U., N. dan Tunafiah, H. (2018). *Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese dan Wright dan Penurunan*. Ikraith-Teknologi.
- Handayani, F, H., Alami, F, A., dan Iswan, 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.
- Hardjasaputra, H, H., Ibrahim, M. dan Tampubolon, R. (2006). *Strategi Pencegahan Kegagalan Pondasi dengan Melakukan Rangkaian Uji Coba Beban Serta Uji Integritas Tiang Pondasi*. Invited Paper Seminar Nasional.
- Haryadi, D. dan Prakoso, W, A. (2023). *Analisa Statistik Hasil Uji Kapasitas Metode Dinamis Pada Pondasi Tiang Pancang Sistem Pancang Tekan*. Wahana Teknik Sipil
- Kurniawan, R, I., Ridwan, A., Winarto, S. dan Candra, A, I. (2019). *Perencanaan Pondasi Tiang (Studi Kasus Hotel Merdeka Tulungagung)*. Jurmateks.
- Lailaningrum, S., R., Surjandari, N., S., dan Purwana, Y., M. (2014). *Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi Minipile dengan Rumus Statis, Hasil Uji SPT, dan Hasil Uji PDA*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil.
- Livian Teddy (2012). *Evaluasi Pondasi Tiang dengan Pile Driven Analysis (PDA)*. Journal Of Architecture and Wetland Environmental Studies
- Santoso, H, T. dan Hartono, J. (2020). *Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis*. Jurnal Riset Rekayasa Sipil.
- Sutaya, B. (2022). *Evaluasi Tiang Bor dengan Pile Integrity Test Pada Proyek Jembatan Araskabu – Siantar B.H – 3 di Dolok Merawan*. Universitas Quality.