

STUDI PERBANDINGAN PERHITUNGAN DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI TIANG BOR MENGGUNAKAN UJI BEBAN STATIK DAN METODE DINAMIK

Niken Silmi Surjandari

Lab. Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta.

Email: hasil@indo.net.id atau silmi@uns.ac.id

Abstract

PDA (Pile Driving Analysis) method has been used since 1970's. Many geotechnical engineer thought that PDA method could not substitute the pile full scale test. The aim of this research is to assess Q_{ult} (ultimate load capacity) obtained from PDA and full scale tests therefore the correlation of Q_{ult} of both tests results can be developed. The assessed data was taken from soil investigation's final report of several bored pile of campus building project of (UGM) Gadjah Mada University. The full scale test was interpreted by some methods e.g.: Buttler and Hoy, Fuller and Hoy, Chin, and Mazurkiewicz. The used statistic parameter in comparing of both tests is the coefficient of correlation (r^2). After analyzing the data, it is found that the r^2 of the correlation of full scale test vs PDA is 0,3713 for Buttler and Hoy; 0,3784 for Fuller and Hoy; 0,2539 for Chin; and 0,7091 for Mazurkiewicz. The conclusion of this research is that the PDA does not ensure the substitution of full scale test since the recorded r^2 was mostly low. Among the full scale interpretation method, only the Mazurkiewicz records the Q_{ult} that closed to the PDA result.

Keywords:

bored pile, coefficient correlation, full scale test, PDA test.

PENDAHULUAN

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(dua) 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(dua) yaitu pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor (Bowles, 1988).

Apabila pondasi tiang telah dipilih, maka dimensi pondasi tiang (penampang dan panjang) dihitung berdasarkan besarnya beban yang harus didukung pondasi dan kondisi tanah dimana pondasi tersebut dipasang. Setelah itu menghitung besarnya daya dukung (Q_{ult}) pondasi tiang berdasarkan dimensi yang telah direncanakan. Sejumlah metode yang berbeda digunakan, dan setiap metode tersebut jarang memberikan hasil perhitungan daya dukung yang sama (LimaSalle, 1999).

Coduto (1994) membagi 3(tiga) metode untuk menghitung daya dukung aksial pondasi tiang yaitu: a) uji beban skala penuh; b) metode statik (menggunakan prinsip-prinsip mekanika tanah klasik); c) metode dinamik. Uji beban skala penuh adalah metode yang paling dapat dipercaya tapi memiliki beberapa kekurangan yaitu: a) membutuhkan biaya yang besar; b) waktu yang relatif lama; c) bahaya bagi pekerja karena tumpukan blok-blok beton yang digunakan untuk

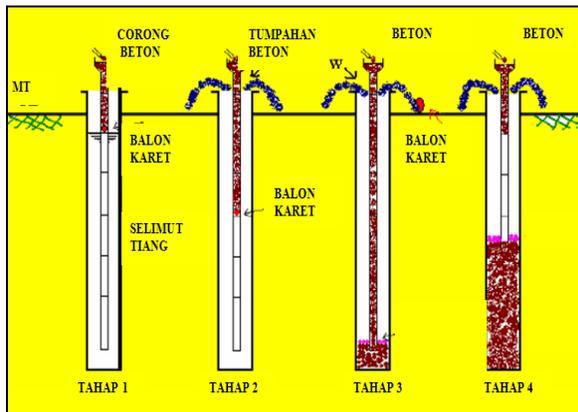
pengujian (Setio dkk., 2000). Karena alasan tersebut maka metode uji tumbukan tinggi dinamik mulai banyak digunakan. Namun demikian banyak ahli yang berpendapat bahwa uji beban skala penuh tidak dapat diganti secara total oleh metode dinamik. Dalam perkembangannya, terdapat metode baru untuk uji beban tiang yaitu dengan menggabungkan antara uji statik dan dinamik yang dikenal sebagai statnamic test (Hardjasaputro dan Ibrahim, 2007).

Berangkat dari asumsi bahwa hasil perhitungan menggunakan metode dinamik (PDA) belum dapat menggantikan uji beban skala penuh, maka penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian daya dukung aksial pondasi tiang bor menggunakan uji beban skala penuh dan uji beban dinamik (PDA).

Subyek penelitian ini adalah pondasi tiang bor. Pada kondisi tertentu, pondasi tiang bor lebih disukai (dibandingkan pondasi tiang pancang) karena pondasi tiang bor mempunyai karakter sebagai berikut: mempunyai kapasitas dukung yang besar, biayanya relatif kecil, panjang tiang dapat diatur dengan lebih mudah, pengaruh terhadap sekitarnya relatif kecil karena getaran yang ditimbulkannya relatif rendah (Thasnanipan et al., 1998).

Pondasi tiang bor dibuat dengan cara mengeluarkan tanah sampai pada lapisan tanah keras yang dikehendaki dengan menggunakan peralatan bor (dengan atau tanpa casing), kemudian lubang

tersebut dicor dengan beton (dengan atau tanpa tulangan). Prosedur pembuatan sebuah pondasi bor diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur pembuatan pondasi tiang bor
(Sumber: <http://www.geoforum.com>)

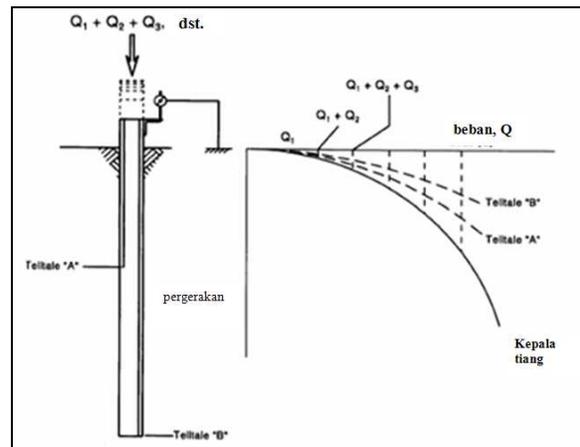
Uji coba beban harus tetap dikerjakan untuk memverifikasi daya dukung tiang meskipun perhitungan teoritis daya dukung tiang telah dilakukan dengan menggunakan data hasil penyelidikan tanah (dengan hasil uji laboratorium dan atau hasil uji lapangan).

Sampai saat ini uji beban statik masih dipercaya sebagai uji yang paling dipercaya sehingga pada umumnya disyaratkan harus dilakukan pada setiap pembangunan. Karena pelaksanaan uji beban statik membutuhkan waktu yang lama dan biaya tinggi, maka jumlah titik yang diuji sangat terbatas. Sehingga untuk memverifikasi daya dukung tiang, dilakukan kombinasi uji beban statik dan uji beban dinamik dengan jumlah titik uji yang lebih banyak.

Uji beban statik adalah uji pembebanan dengan memberikan beban pada ujung atas pondasi sebesar beban rencana pondasi. Metode ini mengacu pada ASTM Standard D-1143-81. Pengujian pembebanan memberikan hasil berupa grafik hubungan beban vs penurunan (Gambar 2). Dari grafik tersebut kemudian dilakukan interpretasi untuk mendapatkan nilai daya dukung aksial pondasi yang diuji. Terdapat beberapa metode interpretasi yaitu: a) Davisson 72; b) Chin 70 dan 72; c) de Beer 67; d) Hansen 90%; e) Mazurkiewicz 72; f) Fuller and Hoy 70; g) Butler and Hoy 77; h) Van der Veen; Hansen 80% (Prakash and Sharma, 1990).

Pengujian daya dukung tiang dengan uji beban statik merupakan uji beban standar yang harus dilakukan pada setiap bangunan. Tujuan uji beban statik dibedakan atas uji beban pendahuluan

(*preliminary test*) dan uji beban pembuktian (*proof test*). Tujuan uji beban pendahuluan adalah untuk optimasi daya dukung tiang, dilakukan pada tahap perencanaan struktur. Biaya yang mahal dari preliminary test dapat diimbangi oleh hasil optimasi daya dukung, terutama untuk proyek-proyek besar. Pembebanan dilakukan sampai diperoleh beban *ultimit* tiang. Sedangkan tujuan uji beban pembuktian adalah untuk membuktikan bahwa tiang tiang terpancang mampu memikul beban rencana dengan aman, artinya mempunyai faktor keamanan minimal 2. Untuk itu pembebanan dilakukan sampai beban uji mencapai 200% dari daya dukung ijin tiang. Uji beban pembuktian harus dilakukan pada setiap bangunan.



Gambar 2. Mekanisme uji beban tiang dengan beban aksial tekan (Sumber : US Department of Transportation FHA, 1998)

Untuk mendapatkan daya dukung tiang dengan lebih murah dan cepat, kini dapat dilakukan dengan uji beban dinamik. Prinsip metode dinamik adalah pada ujung atas tiang diberikan tumbukan *hammer*. Dari tumbukan ini akan terjadi gelombang rambatan dari ujung atas sampai ke ujung bawah pondasi tiang yang kemudian terpantul kembali ke ujung atas karena reaksi tanah sehingga dari hasil pantulan rambatan gelombang ini dapat diukur dan digunakan untuk menghitung daya dukung aksial pondasi dengan menggunakan teori Persamaan Gelombang. Semakin besar kekuatan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul. Gelombang aksi maupun reaksi akibat perlawanan tanah akan direkam. Dari hasil rekaman, karakteristik gelombang-gelombang ini dianalisa dianalisis untuk menentukan daya dukung statik tiang yang diuji. Salah satu peralatan elektronik yang digunakan untuk mendapatkan daya dukung aksial pondasi tiang adalah *Pile Driving Analyzer* (PDA). Satu set peralatan PDA terdiri dari: a) sepasang *strain transducer*; b) sepasang *accelerometer*; c) komputer penganalisa hasil

gelombang tumbukan (Gambar 3). Kemudian peralatan lain yang digunakan adalah hammer/palu pancang (untuk tiang pancang) atau drop hammer (untuk tiang bor), yang berfungsi sebagai penumbuk. Metode ini mengacu pada ASTM D-4945-89.



Gambar 3. Alat PDA, *transducer*, dan *accelerometer* (Sumber: Hardjasaputro dan Ibrahim, 2007).

Untuk menghasilkan beban dinamik pada tiang, digunakan palu yang berfungsi sebagai alat tumbuk. Berat minimal dari palu yang akan digunakan ditetapkan sebesar 1% (satu persen) dari perkiraan daya dukung batas tiang bor. Tinggi jatuh dari palu diambil antara 1 (satu) sampai 2 (dua) meter, dipilih ketinggian minimum berapa yang sudah menghasilkan output daya dukung batas tiang. Pengujian dilakukan dua sampai lima kali tumbukan, sedangkan besarnya daya dukung tiang ditentukan dari rekaman satu gelombang tumbukan saja.

Sebagai analisis lanjutan pengujian dengan PDA, hasil rekaman gelombang akibat tumbukan palu dapat dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan software *Case Pile Wave Equation Analysis* Program disingkat CAPWAP, sebagai satu paket dengan PDA.

Program CAPWAP mengkombinasikan rambatan gelombang pada tiang hasil rekaman PDA dan mobilisasi tanah beserta parameter-parameternya (*Dumping factor*, *Quake*, material tiang) dan secara iterasi menentukan parameter-parameter tanah lainnya, sehingga grafik gelombang hasil iterasi itu mempunyai korelasi yang cukup baik dengan grafik gelombang yang dihasilkan PDA. Proses iterasi ini disebut sebagai *signal matching*.

Analisis dengan CAPWAP menghasilkan kurva penurunan tiang (S) vs beban dan distribusi gaya gesek dan tahanan ujung tiang. Dengan demikian kualitas pengujian dengan PDA dapat dibandingkan selain dengan daya dukung batasnya juga melalui kurva penurunan tiang vs beban yang diperoleh melalui uji beban statik. Hasil rekaman rambatan gelombang dengan alat PDA dan *signal matching* rambatan gelombang PDA dengan analisis CAPWAP salah satu tiang bor uji yang digunakan sebagai data pada penelitian ini (BP 50) ditampilkan pada sub bab Hasil dan Pembahasan.

Penelitian yang dilakukan oleh Setio dkk. (2000) menghasilkan kesimpulan bahwa metode dinamik sangat ekonomis dan efisien tetapi mempunyai beberapa kerugian dibandingkan metode uji beban skala penuh karena beberapa alasan: a) gelombang pukulan menimbulkan gelombang tarik sehingga dapat menyebabkan tiang retak; b) permukaan kepala tiang yang tidak rata menyebabkan *drop hammer* memukul hanya bagian tepi tiang yang menghasilkan *eccentric loading* sehingga menimbulkan momen lentur pada kepala tiang; c) penggunaan *Signal Machine* untuk menganalisa data lapangan membutuhkan seorang engineer yang berpengalaman.

Penelitian oleh Hardjasaputra dkk. (2002) memberikan kesimpulan bahwa menggunakan PDA yang praktis dan murah dianggap belum memberikan hasil yang memuaskan karena terbatasnya berat palu yang dipakai untuk menghasilkan tumbukan pada tiang bor. Disarankan untuk menghemat biaya dan waktu, pengujian tiang yang bersifat *proof test*, jumlah pengujian dengan PDA dapat diperbanyak. Untuk proyek dimana keadaan tanah cukup tipikal atau keadaan lapangan sulit, dapat dilakukan strategi pengujian sebagai berikut: pertama dilakukan uji beban statik dan PDA pada tiang yang sama; hasil kedua uji ini dapat dijadikan sebagai *bench mark* agar pengujian tiang bor selanjutnya adalah cukup dengan PDA.

Gofar and Angelo (2006) melakukan evaluasi terhadap penggunaan uji beban dinamis pada tiang bor pada beberapa studi kasus di Malaysia. Hasil studi menunjukkan bahwa uji beban dinamis, apabila dilakukan dan diinterpretasikan dengan baik, dapat memberikan hasil yang mendekati hasil uji beban statis dalam hal kapasitas beban dan penurunan. Kapasitas yang lebih tinggi diberikan oleh beban uji beban dinamis karena perbedaan waktu pemasangan tiang dan waktu pengujian, dimana uji beban statis dilakukan lebih awal daripada uji beban dinamis.

Dari penelitian-penelitian sejenis yang pernah dilakukan terlihat adanya upaya untuk selalu menghubungkan uji statik dengan uji dinamik karena para peneliti masih selalu saja dihantui pertanyaan: Apakah sebetulnya pengujian dinamik ini dapat menggantikan uji statik? Berdasarkan pertimbangan tersebut maka penelitian ini juga ingin mencoba mencari jawaban: Berapakah nilai-nilai numerik daya dukung aksial yang dihasilkan kedua metode tersebut?

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah integrasi antara studi pustaka dan studi data sekunder. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah Laporan Akhir Penyelidikan Tanah yang berisi data hasil uji beban skala penuh dan data hasil pengujian menggunakan PDA, pada proyek yang bersangkutan. Setelah diperoleh data, kemudian dilakukan perhitungan daya dukung aksial pondasi tiang bor dengan kedua metode tersebut.

Pada penelitian ini interpretasi data hasil uji beban skala penuh hanya menggunakan 4 metode (Chin 70, Mazurkiewicz 72, Fuller and Hoy 70, dan Butler and Hoy 77). Prosedur perhitungan masing-masing metode disajikan pada sub bab Hasil Dan Pembahasan.

Untuk 5 metode yang lain tidak dapat digunakan karena alasan berikut: a) pada metode Hansen 80% nilai C_2 negatif sehingga menghasilkan nilai Q_{ult} imajiner; b) pada metode Hansen 90% tidak diperoleh nilai keruntuhan beban; c) pada metode Van der Veen tidak diperoleh grafik yang melengkung dan yang mendekati lurus; d) pada metode de Beer tidak diperoleh perpotongan dua garis yang diperoleh pada grafik skala semilog; dan e) pada metode Davisson tidak diperoleh perpotongan garis elastis dengan kurva beban-penurunan.

Penjelasan secara lengkap masing-masing metode interpretasi tersebut dapat dibaca pada Prakash and Sharma (1990).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Laporan Akhir Penyelidikan Tanah beberapa tiang yang digunakan pada proyek kampus UGM Jogjakarta.

Q_{ult} dari Hasil Uji Beban Skala Penuh

Contoh data hasil *loading test* di titik bor BP 50 disajikan dalam Tabel 1.

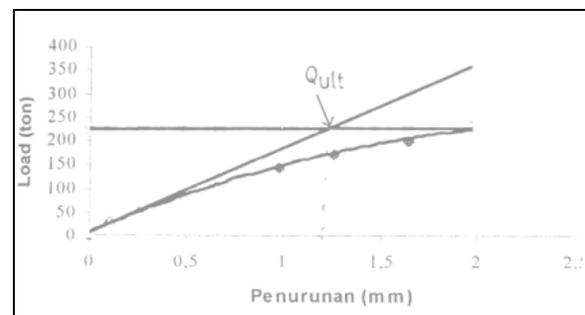
Tabel 1. Hasil Pembacaan *loading test* BP 50

Percen (%)	Load, P (ton)	Settlement, S (mm)
0	0	0
25	28,75	0,11
50	57,5	0,28
75	86,25	0,48
100	115	0,67
125	143,75	0,98
150	172,5	1,26
175	201,25	1,65
200	230	1,97

Berdasarkan hasil uji beban skala penuh, kemudian dilakukan perhitungan Q_{ult} dengan beberapa metode interpretasi.

• Metode Buttler and Hoy (metode tangen)

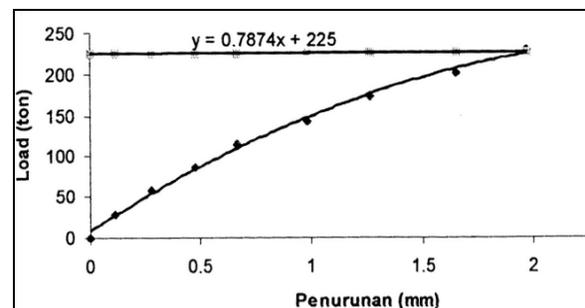
Q_{ult} yang diperoleh dengan metode ini disajikan pada Gambar 4 yaitu $Q_{ult} = 220\text{ton}$.



Gambar 4. Interpretasi data dengan metode Buttler and Hoy

• Metode Fuller and Hoy

Q_{ult} yang diperoleh dengan metode ini disajikan pada Gambar 5 yaitu $Q_{ult} = 225\text{ton}$.



Gambar 5. Interpretasi data dengan metode Fuller and Hoy

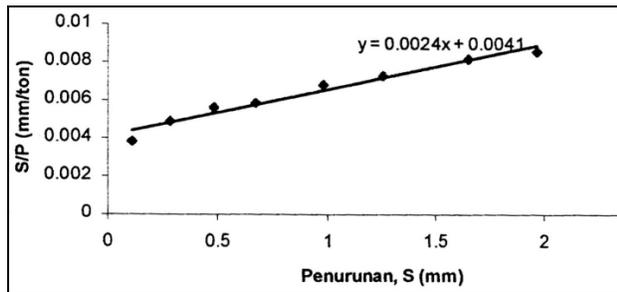
• Metode Chin

Sebelum menggunakan metode ini, maka terhadap data *load-settlement* (lihat Tabel 1) dilakukan perhitungan ulang sehingga diperoleh hubungan penurunan (S) dengan rasio penurunan terhadap beban (S/P) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan beban (P), penurunan (S) dan perbandingan penurunan dan beban (S/P)

P(ton)	S(mm)	S/P (mm/ton)
0	0	0
28,75	0,11	0,0038
57,5	0,28	0,0047
86,25	0,48	0,0056
115	0,67	0,0058
143,75	0,98	0,0068
172,5	1,26	0,0073
201,25	1,65	0,0082
230	1,97	0,0086

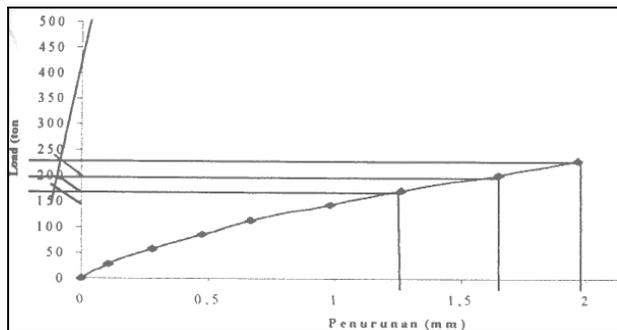
Setelah diperoleh Tabel 2, hasilnya diplot pada sumbu X-Y sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Interpretasi data dengan metode Chin

● **Metode Mazurkiewicz**

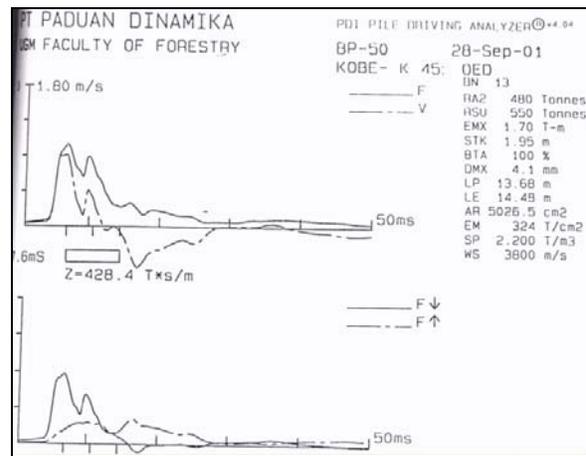
Q_{ult} yang diperoleh dengan metode ini disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Interpretasi data dengan metode Mazurkiewicz

Q_{ult} dari Hasil Metode Dinamik

Q_{ult} yang diperoleh dengan metode ini disajikan pada Gambar 8 yaitu $Q_{ult} = 550\text{ton}$.



Gambar 8. Hasil keluaran pengujian dengan PDA

Perhitungan Q_{ult} dengan dua metode (uji skala penuh dan PDA) disajikan pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 7. Kemudian dilakukan analisis korelasi antara metode uji skala penuh dan PDA untuk dapat melihat trend secara umum. Grafik dibuat dalam skala linier (Gambar 9 sampai dengan Gambar 12).

Tabel 3. Rekapitulasi Q_{ult} pondasi tiang proyek UGM Paket A BP 133

No	Metode	Q_{ult} (ton)
1	Buttler & Hoy	212
2	Fuller & Hoy	219
3	Chin	385
4	Mazurkiewicz	365
5	PDA	430

Tabel 4. Rekapitulasi Q_{ult} pondasi tiang proyek UGM Paket B BP 87

No	Metode	Q_{ult} (ton)
1	Buttler & Hoy	215
2	Fuller & Hoy	218
3	Chin	303
4	Mazurkiewicz	450
5	PDA	570

Tabel 5. Rekapitulasi Q_{ult} pondasi tiang proyek UGM Paket B BP 50

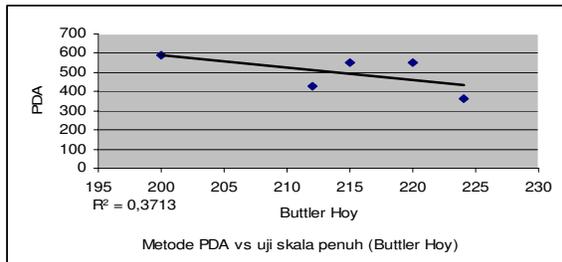
No	Metode	Q_{ult} (ton)
1	Buttler & Hoy	220
2	Fuller & Hoy	225
3	Chin	417
4	Mazurkiewicz	420
5	PDA	550

Tabel 6. Rekapitulasi Q_{ult} pondasi tiang proyek UGM Paket B BP 41

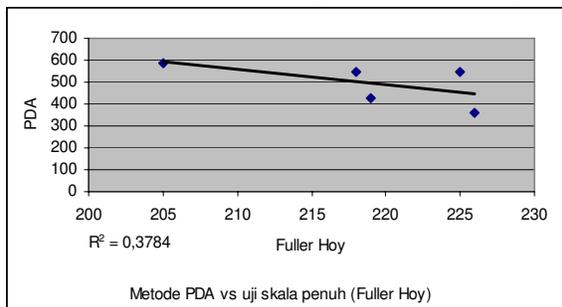
No	Metode	Q_{ult} (ton)
1	Buttler & Hoy	224
2	Fuller & Hoy	226
3	Chin	371
4	Mazurkiewicz	320
5	PDA	360

Tabel 7. Rekapitulasi Q_{ult} pondasi tiang proyek UGM Paket C

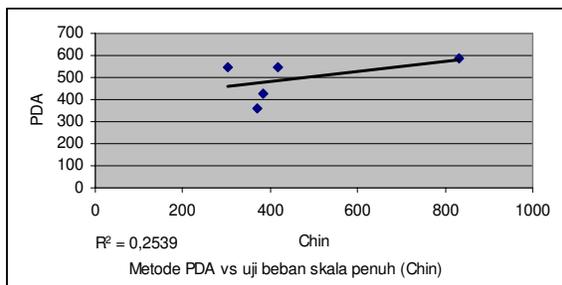
No	Metode	Q_{ult} (ton)
1	Buttler & Hoy	200
2	Fuller & Hoy	205
3	Chin	833
4	Mazurkiewicz	600
5	PDA	590



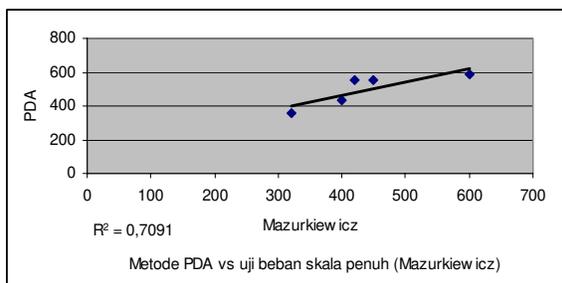
Gambar 9. PDA vs interpretasi Buttler Hoy



Gambar 10. PDA vs interpretasi Fuller Hoy



Gambar 11. PDA vs interpretasi Chin



Gambar 12. PDA vs interpretasi Mazurkiewicz

Gambar 9 sampai dengan Gambar 12 memperlihatkan bahwa terdapat korelasi antara kedua metode tetapi tidak cukup kuat, sebagaimana diungkapkan oleh Smith (1986) dalam Shahin et al.

(2000) tentang kriteria nilai r^2 (jika $r^2 \geq 0,8$ maka hubungan antara dua set variabel sangat kuat; jika $0,2 < r^2 < 0,8$ maka terdapat hubungan antara dua set variabel; jika $r^2 \leq 0,2$ maka hubungan antara dua set variabel sangat lemah). Berdasarkan kondisi ini dapat ditarik kesimpulan bahwa uji PDA belum sepenuhnya dapat menggantikan uji skala penuh. Kesimpulan lain yang dapat diperoleh adalah bahwa nilai Q_{ult} dengan metode Mazurkiewicz paling mendekati dengan nilai Q_{ult} yang diperoleh dengan uji PDA.

SIMPULAN

Uji PDA belum dapat sepenuhnya menggantikan uji beban skala penuh.

Hasil perhitungan dengan uji PDA paling mendekati metode interpretasi Mazurkiewicz.

REFERENSI

- Bowles, J.E. (1988), "Foundation Analysis and Design", Mc. Graw Hill Book Company, Singapore.
- Coduto, D.P. (1994), "Foundation Design, Principles and Practices", Prentice Hall International, Inc., New Jersey.
- Darmojo, Y.H. (2003), "Studi Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Bor Menggunakan Uji Beban Statik Dan Metode Dinamik", *Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Surakarta: Universitas Sebelas Maret*
- Gofar, N. and Angelo, M. (2006), "Evaluation of Design Capacity of Bored Pile Based on High Strain Dynamic Test", *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan - X (PIT - X) Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Jakarta, 147-152*
- Hardjasaputra, H., Djajaputra, A., dan Yatnoko, (2002), "Evaluasi Hasil Uji Daya Dukung Tiang Bor dengan PDA yang Diberi Tumbukan dengan Palu Besar Dibandingkan dengan Hasil Uji Beban Statik", *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan GEOTEKNIK VI, Surabaya, III 59 - III 70.*
- Hardjasputra dan Ibrahim (2007), "Uji Beban Statik/Dinamik Dan Uji Integritas Tiang Untuk mencegah Kegagalan Bangunan", *Prosiding Konferensi Nasional Transportasi Dan Geoteknik Dalam Rekayasa Teknik Sipil, Surakarta, 147-152.*
- LimaSalle, S.P. (1999), "Perkiraan Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Bor Di Jakarta", *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik '99 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 50-65.*

- Prakash, S. and Sharma, H.D. (1990), "Pile Foundations in Engineering Practice", John Wiley & Sons, Inc.
- Setio, H.D., 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
- Shahin, M.A., Jaksa, M.B., and Maier, H.R. (2001), "Artificial Neural Network Applications in Geotechnical Engineering", Australian Geomechanics, pp. 49-62
- Thasnanipan, N., Tangseng, P., and Anwar, M.A. (1998), "Large Diameter Bored Piles in Multi-layered Soils of Bangkok", *Proceedings of The 3rd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored And Auger Piles*, Belgium, 511-517
- (1998), *Design and Construction of Driven Pile Foundations*, Workshop Manual vol. I-II, US Department of Transportation FHA.
- , *Pile Foundations*, <http://www.geoforum.com>

