

EVALUASI PONDASI TIANG DENGAN *PILE DRIVEN ANALYSIS* (PDA) DI KOTA PALEMBANG

Livian Teddy¹
livianteddy@gmail.com

Abstrak

Tujuan dasar dari PDA *test* yaitu untuk mengevaluasi daya dukung tiang, integritas/keutuhan tiang dan penurunan tiang. Dengan kemampuannya tersebut PDA *test* digunakan pada proyek-proyek besar sebagai tes tambahan selain ujian beban skala penuh (*static load test*), sedangkan pada proyek-proyek menengah dan kecil PDA *test* dianggap bisa menggantikan uji beban.

Untuk mengetahui kemampuan PDA *test* dengan mengumpulkan dan menganalisa hasil-hasil tes PDA di 3 lokasi yang ada di Kota Palembang. Hasilnya daya dukung ultimit dan penurunan tiang pada ketiga lokasi masih cukup aman. Sedangkan untuk uji integritas tiang hanya 1 lokasi yang melaporkan kondisi tiang baik. Disini integritas perusahaan dipertaruhkan untuk melaporkan apa adanya.

Dengan tulisan ini juga penulis berharap dapat menggugah pemahaman para pekerja konstruksi/praktisi tentang PDA *test*, sehingga dengan memahaminya dapat memberikan '*early warning*' jika ada sesuatu yang tidak beres dilapangan selanjutnya '*serahkan pada ahlinya*'.

Kata Kunci : PDA *test*, uji beban skala penuh, *static load test*

Pendahuluan (tahoma 9, bold, spaci 1.15)

Di Palembang, pada umumnya untuk menentukan daya dukung pondasi biasanya menggunakan metode *Conus Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT). Tetapi setelah tahap akhir pelaksanaan tiang pancang/bor biasanya jarang mengevaluasi untuk tahap selanjutnya apakah daya dukung pondasi tiang sesuai dengan perkiraan semula dan bagaimana kualitas pengerjaannya. Sedangkan banyak kegagalan bangunan akibat kegagalan pondasi yang tidak dapat diperbaiki sehingga seluruh bangunan tidak dapat berfungsi lagi atau untuk perbaikannya memerlukan biaya tinggi.

Salah satu cara untuk mengevaluasi daya dukung pondasi tiang dengan menggunakan metode uji beban statik (Hardjaputra, H, 2006) 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*). Dari grafik ini, dengan menggunakan berbagai metode, seperti metode CHIN, metode Davission, metode log P vs log S dan Mazurkiewich data diprediksi daya dukung batas. Uji beban skala penuh (*Static Load Test*) ini merupakan 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).

Untuk mengatasi hal tersebut kini berkembang uji beban dinamis *High Strain Dynamics Pile Tests* (HSDPT) atau sering disebut *Pile Driving Analyzer* (PDA) *Test*. Uji beban dinamis memiliki beberapa keuntungan antara lain (Mhaiskar, SY dkk, 2010 dan Vaidya, Ravikiran dkk, 2006) :

¹ Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Palembang

- Dalam satu hari dapat dilakukan test beberap tiang sehingga menghemat waktu.
- HSDPT membutuhkan ruang relatif kecil.
- Mengevaluasi daya dukung dan integritas struktural tiang.
- Mengevaluasi penurunan (*settlement*) tiang.



Gambar.1. Tes Uji Beban
(Sumber : Handbook Pile Testing, 2006)

Dari banyak studi yang dilakukan, prediksi daya dukung batas (*ultimate*) tiang hasil dari test PDA memperlihatkan korelasi yang positif dengan daya dukung batas (*ultimate*) tiang hasil *Static Load Test* (Likins dkk, 2004). Dengan korelasi yang positif ini, PDA test dapat digunakan sebagai 'supplement' selain uji beban skala penuh pada proyek-proyek besar dan pada proyek-proyek menengah dan kecil PDA test dapat digunakan sebagai pengganti *Static Load Test* (Likins dkk, 2008).

Di Palembang, PDA test termasuk uji dinamis tiang yang relatif baru berkembang (tahun 2000-an). Sehingga pengetahuan teknis tentang PDA test ini relatif jarang dikuasai atau paling tidak dipahami oleh para pekerja konstruksi. Untuk menginterpretasikan angka-angka numerik seluruh hasil dari PDA test mungkin membutuhkan latar belakang pendidikan dan pelatihan khusus untuk menguasainya. Tetapi untuk tujuan praktis bagi pekerja konstruksi/praktisi paling tidak bisa memahami hasil evaluasi daya dukung tiang, integritas/keutuhan tiang dan penurunan tiang dari hasil PDA test.

Teori tentang PDA dan *Output* PDA

Pengujian tiang cara dinamis dilakukan dengan menempatkan 2 pasang sensor secara berlawanan. Satu pasang sensor terdiri dari pengukur regangan (*strain transducer*) dan pengukur percepatan (*accelerometer*) yang dipasang dibawah kepala tiang (minimum jarak dari kepala tiang ke *transducer* $1,5D - 2D$, dimana D adalah diameter tiang) sehingga ada jarak bebas pada saat tumbukan.

Akibat tumbukan *hammer* pada kepala tiang, sensor akan menangkap gerakan yang timbul dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian di rekam dan diproses dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) model PAX. Hasil rekaman PDA dianalisa lebih lanjut dengan *software* CAPWAP.

CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) adalah program aplikasi analisa numerik yang menggunakan masukan data gaya (*force*) dan kecepatan (*velocity*) yang diukur oleh PDA. Kegunaan program ini adalah untuk memperkirakan distribusi dan besarnya gaya perlawanan tanah total sepanjang tiang berdasarkan modelisasi sistem tiang-tanah yang dibuat dan memisahkannya menjadi bagian perlawanan dinamis dan statis.



Gambar.2. PDA test

Berat *hammer* untuk PDA test, Robinson dkk (2002) menyarankan untuk menggunakan berat *hammer* (W) yang tergantung kapasitas ultimit tiang (Q_u) yaitu :

- $W/Q = 1\%$ untuk jenis tanah kohesif kaku atau bebatuan
- $W/Q = 1,5\%$ untuk jenis tiang friksi pada umumnya
- $W/Q = 2\%$ untuk pondasi tiang bor dengan jenis tanah daya dukung ujung pondasi tanah berbutir kasar (*grained coarse soils*)

Dengan ketinggian jatuhnya antara 0,25 m s/d 1,5 m.

Sedangkan jumlah pile yang akan diuji antara 0,5 – 2 % dari seluruh jumlah tiang pancang/bor (Mhaiskar, SY dkk, 2010).

Hasil keluaran (*output*) dari CAPWAP (G&P GEOTECHNICS SDN BHD, 2006) antara lain :

- Daya dukung aksial tiang (R_u - ton)
Perkiraan daya dukung aksial tiang (R_u) dilakukan dengan '*case method*'. Berdasarkan kurva 'F' dan 'V' yang diperoleh (Gambar 02), diperkirakan daya dukung aksial tiang yang diuji terdiri dari tahanan ujung (*end bearing*) dan lengketan (*shaft friction*). Hasil PDA dianalisa lebih lanjut dengan CAPWAP juga menghasilkan distribusi daya dukung tanah sepanjang tiang dan simulasi pembebanan statik seperti gambar 03.

Kriteria penerimaan hasil R_u yaitu Q_u (daya dukung ultimit tiang hasil CPT/SPT) $\leq R_u$ (daya dukung ultimit tiang hasil PDA).

- Integritas tiang / keutuhan tiang (BTA - %) dan Lokasi kerusakan dibawah sensor (LTD - m)
Output kuantitas BTA (Beta) yaitu estimasi beberapa kerusakan tiang. Skala beberapa kerusakan tiang yang disarankan Pile Dynamics, Inc., seperti diperlihatkan tabel di bawah ini :

Tabel 1. Tabel penilaian kerusakan tiang

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

Pada umumnya, kerusakan tiang diindikasikan dengan BTA yang kurang dari 100%. *Output* kuantitas LTD memberikan estimasi lokasi kerusakan tiang dari lokasi *transducer*. Konsekuensi dari kerusakan tiang tergantung struktur dan fungsi, kondisi pembebanan,

kondisi lingkungan, manufaktur tiang dan lokasi kerusakan. Jadi harus berhati-hati dalam memberikan penilaian adanya indikasi kerusakan tiang.

- Penurunan maksimum tiang ($D_x - \text{mm}$) dan Penurunan permanen ($DFN - \text{mm}$)

Performa analisa CAPWAP didasarkan atas parameter resistensi final tanah dan analisa statik dengan parameter ini menghasilkan simulasi beban statik tiang vs penurunan tiang. Kriteria penerimaan dari penurunan tiang pada *output PDA test*, sampai saat ini belum ada kriteria yang jelas. Tetapi banyak studi yang dilakukan untuk menguji korelasi antara *settlement* dari *static load test* dengan *settlement* dari *PDA test*. Seperti studi yang dilakukan H. Hussein, Hussein & T. Slash, Kais (2009), dari hasil studinya terdapat korelasi yang baik antara *settlement* dari *static load test* dengan *settlement* dari *PDA test*.

Dengan korelasi yang positif tersebut, dapat diasumsikan kriteria penerimaan hasil *settlement* dari *static load test* sama dengan kriteria penerimaan hasil *settlement* dari *PDA test*. Menurut ASTM D1143, secara umum kriteria penerimaan *settlement* (penurunan) maksimum tiang yaitu :

- Untuk tiang lebar atau $\varnothing < 610 \text{ mm}$
 $S_f = S + (4.0 + 0.008D)$

Dimana :

S_f = penurunan maksimum tiang (mm)

S = penurunan elastis tiang (mm)

- Untuk tiang lebar atau $\varnothing > 610 \text{ mm}$
 $S_f = S + D/30$

Sedangkan rumus S (penurunan elastis tiang) :

$$S = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

Dimana :

Q_{wp} = Kapasitas daya dukung ujung tiang

Q_{ws} = Kapasitas daya dukung tahanan kulit tiang

ξ = 0,5 untuk tanah lempung / 0,67 untuk tanah pasir

L = Panjang tiang

A_p = Luas penampang tiang

E_p = Modulus elastisitas material tiang

Sedangkan penurunan permanennya tidak melebihi $S_p = D/120 + 4\text{mm}$ atau $1/4$ penurunan maksimumnya dipilih mana yang paling besar (BD, 2004)

Analisis Data

Ada 3 analisis data yang akan dilakukan yaitu :

- Data daya dukung ultimit tiang (Q_u) dari hasil CPT/SPT diperbandingkan dengan daya dukung ultimit tiang (R_u) dari hasil PDA *test*. Jika $Q_u \leq R_u$, maka daya dukung tiang aman, tetapi jika $Q_u \geq R_u$ maka daya dukung tiang tidak aman atau kemungkinan mengalami kelebihan beban.
- Menganalisa 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.
- Menganalisa data penurunan maksimum tiang (Dx) dan penurunan permanen tiang (DFN). Jika hasil Dx < S_f atau DFN < S_p maka penurunan tiang masih dalam batas toleransi. Tetapi jika Dx > S_f atau DFN > S_p maka penurunan tiang yang terjadi berlebihan sehingga kurang aman.

Data CPT/SPT dan PDA *test*

Pengumpulan data hasil CPT/SPT dan PDA *test* didapatkan dari proyek-proyek di Kota Palembang yang mengadakan uji CPT/SPT dan PDA *test*. Terdapat 3 lokasi yang akan dibahas yaitu 2 lokasi di Bukit Besar (Gedung Pendidikan POLSRI dan Gedung Fakultas Hukum UNSRI) dan 1 lokasi di Demang Lebar Daun (Gedung Rawat Inap RS. Bunda).

Adapun hasil yang didapat sebagai berikut :

1). Lokasi Demang Lebar Daun (Gedung Rawat Inap RS. Bunda)

Tabel 2. Daya dukung ultimit tiang (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Panjang Tiang (m)	Panjang Tiang dibawah sensor - LE (m)	Panjang tiang tertanam - LP (m)	Beban Ultimit Rencana		Hasil Test PDA (Ru - ton)	Ket.
						Kolom (ton)	Tiang Borepile (Qu - ton)		
1	6' - B'	∅ 80	12	11.2	11	713.8	237.9	418.0	OK
2	2' - A	∅ 80	9	8.6	8.4	383.2	191.6	365.0	OK

Tabel 3. Integritas tiang (BTA) (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	BTA (%)	LTD (m)	Ket.
1	6' - B'	∅ 80	-	-	-
2	2' - A	∅ 80	-	-	-

Tabel 4. *Settlement* tiang (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Penurunan Maks. Ijin (S_f) (mm)	Penurunan Permanen Ijin (S_p - mm)		Dx (mm)	DFN (mm)	Ket.
				(a)	(b)			
1	6' - B'	∅ 80	29.6	10.7	7.4	9.9	3	OK
2	2' - A	∅ 80	29.6	10.7	7.4	16.1	6	OK

2). Lokasi Bukit Besar (Gedung Pendidikan POLSRI)

Tabel 5. Daya dukung ultimit tiang (Sumber : analisa)

Tabel 6. Integritas tiang (BTA) (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	BTA (%)	LTD (m)	Ket.
1	A - 4 (A)	∅ 60	100	-	OK
2	A - 4 (B)	∅ 60	100	-	OK

Tabel 7. Settlement tiang (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Penurunan Maks. Ijin (Sf) (mm)	Penurunan Permanen Ijin (Sp - mm)		Dx (mm)	DFN (mm)	Ket.
				(a)	(b)			
1	A - 4 (A)	∅ 60	11.8	9.0	3.0	3.3	0	OK
2	A - 4 (B)	∅ 60	11.8	9.0	3.0	3.7	0	OK

3). Lokasi Bukit Besar (Gedung Fakultas Hukum UNSRI)

Tabel 8. Daya dukung ultimit tiang (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Panjang Tiang (m)	Panjang Tiang dibawah sensor - LE (m)	Panjang tiang tertanam - LP (m)	Beban Ultimit Rencana		Hasil Test PDA (Ru - ton)	Ket.
						Kolom (ton)	Tiang Borepile (Qu - ton)		
1	C -2	∅ 60	13	12.3	12	366.2	61.0	184.9	OK
2	B -3	∅ 60	13	12.4	12	354.3	59.0	183.0	OK
3	F - 5	∅ 60	13	12.4	12.2	97.1	97.1	179.9	OK

Tabel 9. Integritas tiang (BTA) (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	BTA (%)	LTD (m)	Ket.
1	C -2	∅ 60	-	-	-
2	B -3	∅ 60	-	-	-
3	F - 5	∅ 60	-	-	-

Tabel 10. Settlement tiang (Sumber : analisa)

No.	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Penurunan Maks. Ijin (Sf) (mm)	Penurunan Permanen Ijin (Sp - mm)		Dx (mm)	DFN (mm)	Ket.
				(a)	(b)			
1	C -2	∅ 60	11.7	9.0	2.9	4.3	1.037	OK
2	B -3	∅ 60	11.7	9.0	2.9	4.3	1	OK
3	F - 5	∅ 60	11.7	9.0	2.9	4.2	1	OK

Hasil dan Pembahasan

- Lokasi Demang Lebar Daun (Gedung Rawat Inap RS. Bunda)

Pondasi *borepile* yang dibuat sebanyak 95 tiang dan tiang yang diuji sebanyak 2 tiang atau $2/95 = 2,11\%$. Berat *hammer* yang digunakan seharusnya = daya dukung ultimit tiang $\times 1\% = 445,68 \times 1\% = 4,4$ ton. Sedangkan berat *hammer* yang digunakan dilapangan 3 ton. Untuk mendapatkan energi tumbukan yang maksimal tinggi jatuhnya dibuat 2 m sehingga efisiensi energi tumbukan *hammer* diatas 40%. Menurut standar efisiensi *hammer* 40% dianggap sudah cukup memadai

Dari tabel 2 dapat dijelaskan, beban ultimit untuk kolom 6' - B' = 713,8 ton, terdapat 3 *borepile* untuk kolom tersebut sehingga masing *borepile* menahan beban sebesar $Qu = 237,9$ ton. Hasil PDA

test untuk tiang tersebut daya dukung aksialnya $R_u = 418$ ton sehingga $Q_u \leq R_u$, dengan demikian daya dukung tiang aman. Beban ultimit untuk kolom 2' – A = 383,2 ton, terdapat 2 *borepile* untuk kolom tersebut sehingga masing *borepile* menahan beban sebesar $Q_u = 191,6$ ton. Hasil PDA *test* untuk daya dukung aksial tiang tersebut $R_u = 365$ ton sehingga $Q_u \leq R_u$, dengan demikian daya dukung tiang aman.

Dari tabel 3, hasil uji integritas tiang (BTA) dan kedalaman kerusakan (LTD) tidak dicantumkan dalam laporan PDA *test* sehingga kualitas pengerjaan *borepile* oleh pihak kontraktor kurang dapat dinilai (*uniform, necking, broken*). Beberapa ahli menyarankan untuk menilai integritas tiang melalui bentuk grafik *force* dan *velocity*, nilai varian *max. velocity, Impedance Change*. Tetapi untuk memahami hal tersebut butuh pengetahuan lebih.

Dari tabel 4, penurunan maksimum ijin (S_f) untuk tiang 6' - B' = 29,6 mm sedangkan penurunan maksimum (Dx) dari PDA *test* = 9,9 mm berarti $D_x < S_f$. Penurunan permanen ijin (S_p) = 10,7 mm sedangkan penurunan permanen (DFN) dari PDA *test* = 3 mm berarti $DFN < S_p$. Dengan demikian penurunan tiang 6' - B' masih dalam batas toleransi. Penurunan maksimum ijin (S_f) untuk tiang 2' – A = 29,6 mm sedangkan penurunan maksimum (Dx) dari PDA *test* = 16,1 mm berarti $D_x < S_f$. Penurunan permanen ijin (S_p) = 10,7 mm sedangkan penurunan permanen (DFN) dari PDA *test* = 6 mm berarti $DFN < S_p$. Dengan demikian penurunan tiang 2' – A juga dalam batas toleransi.

- Lokasi Bukit Besar (Gedung Pendidikan POLSRI)

Pondasi *borepile* yang dibuat sebanyak 170 tiang dan tiang yang diuji sebanyak 2 tiang atau 2/170 = 1,2%. Berat *hammer* yang digunakan seharusnya = daya dukung ultimit tiang *1% = $263,28 * 1\% = 2,6$ ton. Sedangkan berat *hammer* yang digunakan dilapangan 2,5 ton, berarti sudah memadai. Ketinggian jatuh *hammer* tidak dicantumkan dalam laporan, sehingga efisiensi energi tumbukan *hammer* tidak diketahui.

Dari tabel 5 dapat dijelaskan, pada kolom A - 4 beban ultimitnya 99,8 ton. Kolom ini didukung 3 *borepile*, 2 diantaranya dilakukan PDA *test* yaitu tiang A – 4(A) & A – 4(B). Masing-masing *borepile* menahan beban sebesar $Q_u = 33,3$ ton. Hasil PDA *test* daya dukung aksial tiang A – 4(A) $R_u = 231,9$ ton dan tiang A – 4(B) $R_u = 197,7$ ton sehingga $Q_u \leq R_u$. Dengan demikian daya dukung tiang aman.

Dari tabel 6, hasil uji integritas tiang (BTA) menunjukkan 100%, berarti mengindikasikan pengerjaan *borepile* dari proses pengeboran dan pengecoran tiang, dilakukan dengan baik oleh pihak kontraktor.

Dari tabel 7, penurunan maksimum ijin (S_f) untuk tiang A – 4(A) dan A – 4(B) = 11,8 mm sedangkan penurunan maksimum (Dx) dari PDA *test* tiang A – 4(A) = 3,3 mm dan tiang A – 4(B) = 3,7 mm berarti $D_x < S_f$. Penurunan permanen ijin (S_p) tiang A – 4(A) dan A – 4(B) = 9 mm sedangkan penurunan permanen (DFN) dari PDA *test* tiang A – 4(A) = 3 mm dan tiang A – 4(B) = 3,7 mm berarti $DFN < S_p$. Dengan demikian penurunan tiang A – 4(A) dan A – 4(B) masih dalam batas toleransi.

- Lokasi Bukit Besar (Gedung Fakultas Hukum UNSRI)

Pondasi *borepile* yang dibuat sebanyak 181 tiang dan tiang yang diuji sebanyak 3 tiang atau 3/181 = 1,7%. Berat *hammer* yang digunakan seharusnya = daya dukung ultimit tiang*1% = $244,56 * 1\% = 2,5$ ton. Sedangkan berat *hammer* yang digunakan dilapangan 2,5 ton, berarti sudah memadai. Ketinggian jatuh *hammer* = 1 – 1,2 m, sehingga efisiensi energi tumbukan *hammer* 3,3% - 18%. Untuk efisiensi energi tumbukan *hammer* untuk tiang B – 3 sebesar 3,3% dianggap kurang memadai.

Dari tabel 8, beban ultimit untuk kolom C -2 = 366,2 ton, terdapat 6 *borepile* untuk kolom tersebut sehingga masing *borepile* menahan beban sebesar $Q_u = 61$ ton. Hasil PDA *test* untuk tiang tersebut daya dukung aksialnya $R_u = 184,9$ ton sehingga $Q_u \leq R_u$, dengan demikian daya dukung tiang aman.

Beban ultimit untuk kolom B – 3 = 354,3 ton, terdapat 6 *borepile* untuk kolom tersebut sehingga masing *borepile* menahan beban sebesar $Q_u = 59$ ton. Hasil PDA *test* untuk tiang tersebut daya dukung aksialnya $R_u = 183$ ton sehingga $Q_u \leq R_u$, dengan demikian daya dukung tiang aman. Beban ultimit untuk kolom F – 5 = 97,1 ton, terdapat 1 *borepile* ($Q_u = 97,1$ ton) untuk kolom tersebut. Hasil PDA *test* untuk tiang tersebut daya dukung aksialnya $R_u = 179,9$ ton sehingga $Q_u \leq R_u$, dengan demikian daya dukung tiang aman.

Dari tabel 9, hasil uji integritas tiang (BTA) dan kedalaman kerusakan (LTD) tidak dicantumkan dalam laporan PDA *test* sehingga kualitas pengerjaan *borepile* oleh pihak kontraktor kurang dapat dinilai (*uniform, necking, broken*).

Dari tabel 10, penurunan maksimum ijin (S_f) untuk tiang C - 2 = 11,7 mm sedangkan penurunan maksimum (D_x) dari PDA *test* = 4,3 mm berarti $D_x < S_f$. Penurunan permanen ijin (S_p) = 9 mm sedangkan penurunan permanen (DFN) dari PDA *test* = 1,037 mm berarti $DFN < S_p$. Dengan demikian penurunan tiang C – 2 masih dalam batas toleransi. Penurunan maksimum ijin (S_f) untuk tiang B – 3 = 11,7 mm sedangkan penurunan maksimum (D_x) dari PDA *test* = 4,3 mm berarti $D_x < S_f$. Penurunan permanen ijin (S_p) = 9 mm sedangkan penurunan permanen (DFN) dari PDA *test* = 1 mm berarti $DFN < S_p$. Dengan demikian penurunan tiang B - 3 masih dalam batas toleransi. Penurunan maksimum ijin (S_f) untuk tiang F – 5 = 11,7 mm sedangkan penurunan maksimum (D_x) dari PDA *test* = 4,2 mm berarti $D_x < S_f$. Penurunan permanen ijin (S_p) = 9 mm sedangkan penurunan permanen (DFN) dari PDA *test* = 1 mm berarti $DFN < S_p$. Dengan demikian penurunan tiang F - 5 juga dalam batas toleransi.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan diatas, daya dukung ultimit dan penurunan tiang pada ketiga lokasi masih cukup aman, tetapi untuk uji integritas/keutuhan tiang hanya pada lokasi Gedung Pendidikan POLSRI yang melaporkannya. Sehingga kualitas pengerjaan dan pengujian tiang untuk lokasi lainnya secara eksplisit tidak diketahui. Walaupun bisa dinilai dari parameter-parameter lainnya terkadang juga tidak dilaporkan oleh pihak konsultan pengujian.

Sebagai *quality assurance*, PDA *test* sangat memadai untuk evaluasi pondasi tiang. Tetapi sampai saat ini di Indonesia belum ada aturan baku / SNI mengenai PDA *test* dari proses lapangan sampai dengan pelaporan, sehingga format laporan dari hasil PDA *test* antara satu konsultan dengan konsultan lainnya bisa berbeda. Parameter-parameter yang seharusnya ditampilkan seperti BTA sering tidak dilaporkan, sehingga berkesan ada yang ditutupi. Sedangkan salah satu tujuan dasar dari PDA *test* adalah mengetahui keutuhan tiang. Disini integritas perusahaan dipertaruhkan untuk melaporkan apa adanya.

Dengan tulisan ini juga penulis berharap dapat menggugah pemahaman para pekerja konstruksi/praktisi tentang PDA *test*, sehingga dengan memahaminya dapat memberikan '*early warning*' jika ada sesuatu yang tidak beres dilapangan selanjutnya '*serahkan pada ahlinya*'.

Daftar Pustaka

- 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.
- 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.
- 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
- BD (2004), Code of Practice for Foundations, Buildings Department, Hong Kong SAR Government.
- 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.

- Vaidya, Ravikiran, (2006), "Introduction to High Strain Dynamic Pile Testing and Reliability Studies in Southern India, IGC 2006, India.
- G&P GEOTECHNICS SDN BHD (2006), "Work Instruction for Engineers : Operating Procedur for Interpretation of High Strain Dynamic Pile Test (HSDPT) ", Malaysia.
- Likins, G. E., Rausche, F., September, (2008), "What Constitutes a Good PDA Test?", Proceedings of the Eighth International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles 2008: Lisbon, Portugal; 403-407.
- 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.
- Mhaiskar, SY, G Khare, Makarand, Vaidya, Ravikiran (2010), "High Strain Dynamic Pile Testing and Static Load Test – A correlation Study ", Indian Geotechnical Conference, IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay, India.