

# EVALUASI DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA *CONE PENETRATION TEST (CPT)* DAN *PILE DRIVEN ANALYZER (PDA)* PADA TANAH LUNAK DI KOTA PONTIANAK

Vivi Bachtiar<sup>1)</sup>

## Abstrak

Daya dukung (ujung, selimut dan ultimit) fondasi tiang pancang beton persegi (*precast concrete square driven pile*) dianalisis secara empirik dari data CPT/Sondir. Setelah fondasi tiang pancang selesai dilaksanakan dapat diuji menggunakan uji pembebanan statis maupun dinamis. Pada studi ini, daya dukung pada struktur bangunan bertingkat di lapisan tanah lunak Pontianak dianalisis secara empirik dari data CPT menggunakan metoda Schmertmann dan Nottingham (1975), de Ruitter dan Beringen (1979) serta Bustamante dan Gianeselli (1982). Kemudian dievaluasi terhadap hasil uji pembebanan dinamis menggunakan PDA di beberapa lokasi di Kota Pontianak. Hasil uji PDA dianalisis menggunakan program CAPWAP untuk mendapatkan daya dukung ujung dan selimut tiang pancang. Hasil analisis dari data CPT menunjukkan bahwa daya dukung selimut tiang mendekati hasil dari program CAPWAP.

**Kata-kata kunci:** daya dukung tiang, CPT, PDA

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan *geotechnical engineering* dalam menganalisis daya dukung fondasi tiang telah banyak berkembang. Salah satu metodenya adalah pendekatan empiris dengan memandang stratigrafi tanah dan penyebaran beban berdasarkan pada pendekatan *in situ testing* menggunakan CPT (*Cone Penetration Test*)/sondir. Uji lapangan dengan CPT dan fondasi tiang mempunyai kesamaan yaitu *penetrometer* dapat dipandang sebagai suatu *model pile*.

Dalam praktiknya, *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metoda secara pendekatan untuk mengestimasi daya dukung fondasi tiang pancang. Untuk daya dukung fondasi tiang terdiri dari daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang. Pada analisis ini akan dievaluasi masalah daya

dukung fondasi tiang pancang beton pada struktur bangunan bertingkat berdasarkan hasil uji CPT dan PDA di lapisan tanah lunak Pontianak.

Daya dukung fondasi tiang dapat diperkirakan dari uji laboratorium atau analisis empirik dengan menggunakan data SPT (*Standard Penetration Test*) dan CPT, sedangkan pengujian langsung di lapangan menggunakan *Static Load Test* dan atau PDA (*Pile Driving Analyzer*). Horvitz, dkk. (1981) melakukan studi pada beberapa fondasi tiang yang diuji sehingga mencapai keruntuhan (*failure*) dan menyatakan bahwa terdapat korelasi yang baik antara hasil perhitungan analitis dengan beban keruntuhan (*ultimite*) dari fondasi tiang. Perhitungan analitis yang dimaksud adalah metode yang diusulkan oleh Schmertmann dan Nottingham (1975). Briaud (1988) melakukan evaluasi terhadap 98 uji pembebanan tiang menggunakan beberapa

1) Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak

metoda perhitungan daya dukung dari data CPT yang memberikan kesimpulan metoda yang terbaik adalah metoda Bustamante dan Ganeselli (1982) dan metode Schmertmann dan Nottingham (1975). Titi dan Abu-Farsakh (1999) telah melakukan penelitian pada 60 tiang dengan dimensi dan lokasi yang berbeda di Louisiana Selatan. Analisis dilakukan dengan membandingkan data CPT dengan pengujian langsung di lapangan menggunakan *Static Load Test*. Louisiana Selatan merupakan daerah dengan deposit tanah yang lunak (*cohesive soils*) sehingga diperoleh tiga metoda yang hasilnya mendekati hasil pengujian *static load test* yaitu metoda Schmertmann dan Nottingham (1975), de Ruitter dan Beringen (1979), Bustamante dan Ganeselli (1982). Sebagai *back analysis*, pengujian PDA relatif ekonomis dari segi waktu, tempat dan biaya dibandingkan dengan *Static Load Test*. Dari hasil PDA diolah menggunakan CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) untuk menentukan daya dukung ujung dan selimut tiang.

Tujuan studi ini adalah untuk mengevaluasi daya dukung (ujung, selimut dan ultimit) fondasi tiang pancang beton persegi (*precast concrete square driven pile*) pada struktur bangunan bertingkat di lapisan tanah lunak Pontianak dengan analisis empirik dari data CPT menggunakan metoda Schmertmann dan Nottingham (1975), de Ruitter dan Beringen (1979) serta Bustamante dan Ganeselli (1982) terhadap hasil PDA di beberapa lokasi di Kota Pontianak.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data CPT

Teknologi CPT menghasilkan pengujian yang cepat, data yang dapat dipercaya dan biaya yang tidak mahal jika dibandingkan dengan *tradisional site characterization* selain CPT serta cocok untuk *soft soil investigation*. Metoda daya dukung tiang berdasarkan data CPT memberikan hasil perhitungan daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang yang berbeda-beda. Karena itu diperlukan evaluasi terhadap metoda tersebut sehingga didapat metoda yang memberikan nilai daya dukung tiang yang mendekati nilai sesungguhnya.

Rumus umum daya dukung tiang,

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (1)$$

$$Q_u = q_b A_b + f_s A_s \quad (2)$$

dengan

$Q_u$  : daya dukung ultimit tiang

$Q_b$  : daya dukung ujung ultimit tiang

$Q_s$  : daya dukung selimut ultimit tiang

$q_b$  : tahanan ujung tiang per satuan luas

$A_b$  : luas proyeksi penampang tiang

$f_s$  : tahanan gesek tiang per satuan luas

$A_s$  : luas selimut tiang.

### 2.2 Metode Schmertmann-Nottingham (Metode Belanda), 1975

Persamaan daya dukung ujung tiang untuk kondisi tanah lempung dan pasir,

$$Q_b = \frac{1}{2}(q_{c1} + q_{c2})A_b \quad (3)$$

*Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Cone Penetration Test (CPT) dan Pile Driven Analyzer (PDA) pada Tanah Lunak di Kota Pontianak (Vivi Bachtiar)*

dengan

$q_{c1}$  : nilai tahanan kerucut rata-rata pada 0,7–4*B* di bawah ujung tiang

$q_{c2}$  : nilai tahanan kerucut rata-rata dari ujung tiang hingga 8*B* di atas ujung tiang (lihat Gambar 1).

Persamaan daya dukung selimut tiang untuk tanah lempung,

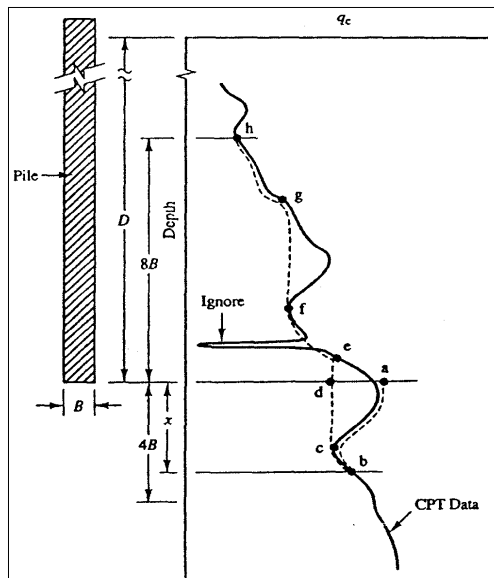
$$Q_s = K_c f_s A_s \leq 1,20 \text{ kg/cm}^2 \quad (4)$$

dan untuk tanah pasir,

$$Q_s = K_s \left( \sum_{z=0}^{8B} \frac{z}{8B} f_s A_s + \sum_{z=8B}^D f_s A_s \right) \quad (5)$$

dengan

$K$  : faktor koreksi gesekan selimut tiang pada sondir (tergantung jenis alat sondir) (lihat Gambar 2)



Gambar 1. Perhitungan daya dukung ujung (Rahardjo, 2005)

$B$  : dimensi tiang

$D$  : panjang tiang tertanam

$f_s$  : tahanan gesek tiang per satuan luas.

### 2.3 Metode De Ruyter dan Beringen (Metode Eropa), 1979

Persamaan daya dukung ujung tiang untuk tanah lempung,

$$Q_b = A_b N_c q_{ca}^{(tip)} / N_k \quad (6)$$

dan untuk tanah pasir,

$$Q_b = \alpha q_{ca}^{(tip)} A_b \quad (7)$$

dengan

$N_c$  : faktor daya dukung = 9

$q_{ca}^{(tip)}$  : nilai tahanan kerucut rata-rata (perhitungan sama dengan metode Schmertmann)  
 $= \frac{1}{2}(q_{c1} + q_{c2})$

$N_k$  : cone factor = 15–20.

Persamaan daya dukung selimut tiang untuk tanah lempung,

$$Q_s = \alpha A_s q_{ca}^{(side)} / N_{k_s} \quad (8)$$

dan untuk tanah pasir,

$$Q_s = f_s A_s \quad (9)$$

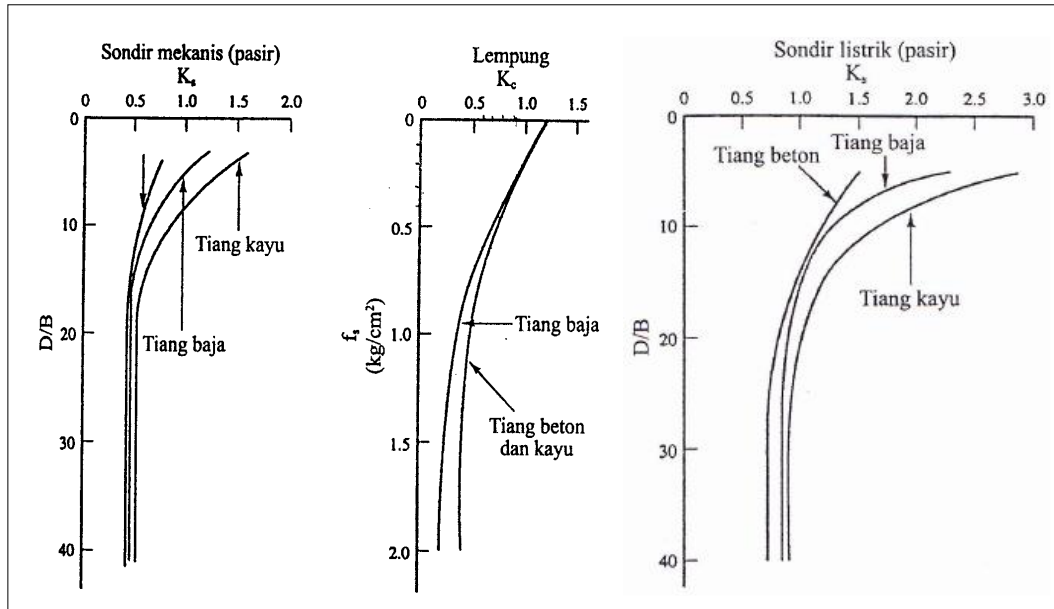
$$f_s = q_{ca}^{(side)} / 300 \quad (10a)$$

$$f_s = q_{ca}^{(side)} / 400 \quad (10b)$$

$$f_s = 1,2 \text{ kg/cm}^2 \quad (10c)$$

dengan

$\alpha$  : adhesion factor dengan  $\alpha = 1$  untuk konsolidasi normal  $\alpha = 0,5$  untuk konsolidasi berlebihan



Gambar 2. Faktor koreksi gesekan selimut tiang pada sondir mekanis dan listrik (Rahardjo, 2005)

$q_{ca}^{(side)}$  : nilai tahanan kerucut rata-rata sepanjang tiang

$\omega$  : koefisien korelasi yang tergantung OCR (rasio konsolidasi berlebihan) (lihat Tabel 1).

Nilai  $f_s$  diambil yang terkecil dari Persamaan (10).

#### 2.4 Metode Bustamante dan Gianeselli (Metode Perancis), 1982

Persamaan daya dukung ujung tiang untuk kondisi tanah lempung dan pasir,

$$Q_b = k_b q_{eq}^{(tip)} A_b \quad (11)$$

dengan

$k_b$  : faktor daya dukung ujung tiang yang nilainya 0,15–0,60 tergantung

tipis tipe tanah, tipe tiang dan cara pemancangan tiang (lihat Tabel 2)

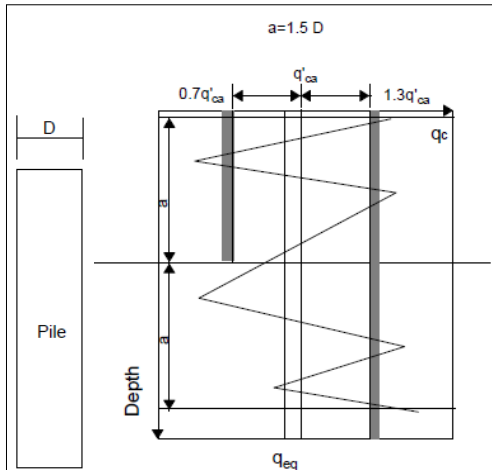
Tabel 1. Faktor  $\omega$

Kondisi tanah	Faktor $\omega$
Pasir terkonsolidasi normal (OCR = 1)	1
Pasir mengandung banyak kerikil kasar (OCR = 2–4)	0,67
Kerikil halus (OCR = 6–10)	0,50

Tabel 2. Nilai  $k_b$  untuk metode Bustamante dan Gianeselli

Tipe tanah	Tiang bor	Tiang pancang
Lempung – Lanau	0,375	0,60
Pasir – Kerikil	0,15	0,375
Kapur	0,20	0,40

Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Cone Penetration Test (CPT) dan Pile Driven Analyzer (PDA) pada Tanah Lunak di Kota Pontianak (Vivi Bachtiar)



Gambar 3. Cara menghitung  $q_{eq}$  pada metode Bustamante dan Ganeselli

$q_{eq}^{(tip)}$ : nilai tahanan kerucut rata-rata ekuivalen ujung tiang.

Persamaan daya dukung selimut tiang untuk kondisi tanah lempung dan pasir,

$$Q_s = A_s q_{eq}^{(side)} / k_s \quad (12)$$

dengan

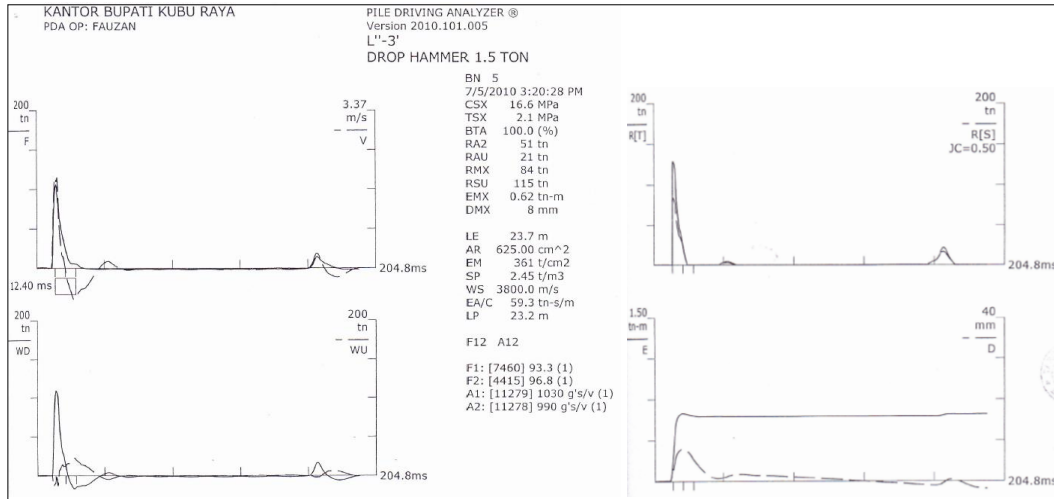
Tabel 3. Tipe tiang untuk metode Bustamante dan Ganeselli

Kategori	Tipe tiang
I A	<i>Plain bored piles</i>
	<i>Mud bored piles</i>
	<i>Hollow auger bored piles</i>
	<i>Cast screwed piles</i>
	<i>Type I micropiles</i>
	<i>Piers</i>
I B	<i>Barrettes</i>
	<i>Cased bored piles</i>
	<i>Driven cast piles (concrete or metal shaft)</i>
II A	<i>Driven precast piles</i>
	<i>Prestressed tubular piles</i>
II B	<i>Jacked concrete piles</i>
	<i>Driven metal piles</i>
III A	<i>Jacked metal piles</i>
	<i>Driven grouted piles</i>
III B	<i>Driven rammed piles</i>
	<i>Big pressure grouted piles with diameter greater than 250 mm</i>
	<i>Type II micropiles</i>

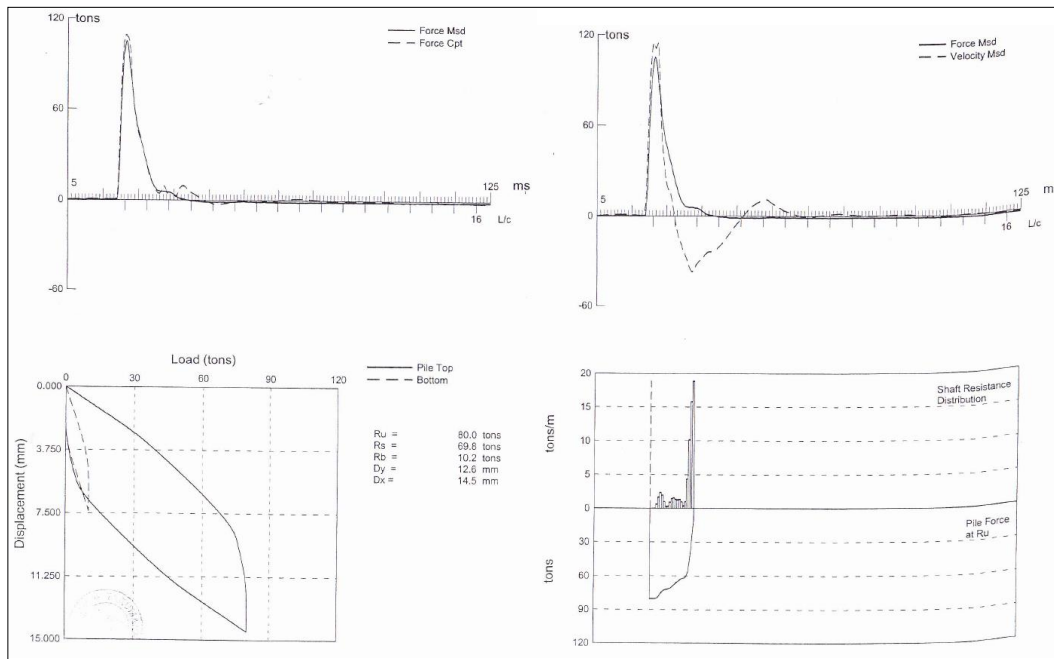
$q_{eq}^{(side)}$ : nilai tahanan kerucut rata-rata ekuivalen sepanjang tiang



Gambar 4. PDA



Gambar 5. Output PDA



Gambar 6. Hasil CAPWAP

$k_s$  : faktor daya dukung selimut tiang yang nilainya 30–150 tergantung pada tipe tanah, tipe tiang dan

cara pemancangan tiang (lihat Tabel 3 dan Tabel 4).

Cara menghitung  $q_{eq}^{(tip)}$  sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai  $k_s$  untuk metode Bustamante dan Gianeselli

Tipe tanah	$q_c$ ( $10^5$ Pa)	$k_s$				Nilai maksimum $f_s$ ( $10^5$ Pa)					
		I		II		I		II		III	
		I A	I B	II A	II B	I A	I B	II A	II B	III A	III B
<i>Soft clay and mud</i>	< 10	30	30	30	30	0,15	0,15	0,15	0,15	0,35	-
<i>Moderately compact clay</i>	10–50	40	80	40	80	(0,80) 0,35	(0,80) 0,35	(0,80) 0,35	0,35	0,80	> 1,20
<i>Silt and loose sand</i>	$\leq 50$	60	150	60	120	0,35	0,35	0,35	0,35	0,80	-
<i>Compact to stiff clay and compact silt</i>	> 50	60	120	60	120	(0,80) 0,35	(0,80) 0,35	(0,80) 0,35	0,35	0,80	$\geq 2,00$
<i>Soft chalk</i>	$\leq 50$	100	120	100	120	0,35	0,35	0,35	0,35	0,80	-
<i>Moderately compact sand and gravel</i>	50–120	100	120	100	120	(1,20) 0,80	(0,80) 0,35	(1,20) 0,80	0,80	1,20	$\geq 2,00$
<i>Weathered to fragmented chalk</i>	> 50	60	80	60	80	(1,50) 1,20	(1,20) 0,80	(1,50) 1,20	1,20	1,50	$\geq 2,00$
<i>Compact to very compact sand and gravel</i>	> 120	150	300	150	200	(1,50) 1,20	(1,20) 0,80	(1,50) 1,20	1,20	1,50	$\geq 2,00$

- 1) Dihitung nilai tahanan kerucut rata-rata ( $q_{ca}$ ) di ujung tiang dimulai dari  $1,5D$  di bawah dasar tiang sampai dengan  $1,5D$  di atas dasar tiang dengan  $D$  adalah diameter tiang.
- 2) Dieliminasi nilai  $q_c$  di daerah yang lebih besar dari  $1,3q_{ca}$  dan lebih kecil dari  $0,7q_{ca}$  (lihat Gambar 3).
- 3) Dihitung nilai tahanan kerucut rata-rata ekuivalen ujung tiang ( $q_{eq}^{(tip)}$ ) dengan merata-ratakan nilai tahanan kerucut ( $q_c$ ) yang berada di daerah yang telah dibatasi (lihat Gambar 3).

## 2.5 PDA

PDA merupakan pengujian dinamis yang dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dukung ultimit tiang dan dianalisis dengan *case method* (CAPWAP) berdasarkan teori gelombang satu dimensi.

Gelombang ini didapat dengan memberikan tumbukan (*impact*) pada tiang uji sehingga menghasilkan gelombang yang sesuai dengan kebutuhan pengujian.

PDA merupakan suatu sistem perangkat elektronik komputer yang dilengkapi dengan sensor *accelerometer* dan *strain transducer* (lihat Gambar 4). Keluaran hasil (*output*) dari pengujian tiang PDA adalah jumlah BN (pukulan), RSU (daya dukung tiang), FMX (gaya tekan maksimum), EMX (energi maksimum yang ditransfer), BTA (nilai keruntuhan), BPM (jumlah pukulan per menit), LP (panjang tiang tertanam), dan LE (panjang tiang di bawah instrumen). Analisis menggunakan CAPWAP akan menghasilkan  $R_u$  (daya dukung),  $R_b$  (gaya ujung),  $R_s$  (gaya gesek), dan DMX (*displacement*) seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tiang pancang yang akan diuji PDA diberi beberapa kali tumbukan. Penumbukan dihentikan jika telah diperoleh mutu rekaman pada komputer yang cukup baik dan energi tumbukan yang relatif cukup tinggi. Untuk mendapatkan kualitas rekaman yang baik tergantung beberapa faktor, antara lain pemasangan instrumen terpasang cukup kuat pada tiang beton, sistem elektronik komputer dan efisiensi *hammer* yang dipergunakan. Pada saat pengujian secara berkala dilakukan pengecekan/pengencangan baut-baut instrumen. Dilakukan beberapa tumbukan sesuai kebutuhan, jika telah didapatkan nilai energi tumbukan yang relatif tinggi maka tumbukan dihentikan. Nilai energi tumbukan tergantung nilai efisiensi *hammer* yang dipakai. Semua pengujian dinamis dilaksanakan sesuai dengan ketentuan ASTM D 4945-96.

### 3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data CPT dan PDA (Tabel 5) diperoleh dari tiga lokasi proyek di Kota Pontianak. Hasil perhitungan  $Q_b$  dan  $Q_s$  berdasarkan hasil PDA, metode Schmertmann-Nottingham, de Ruyter dan Beringen, Bustamante dan Ganeselli dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 dan Gambar 7 s.d. Gambar 10.

Secara umum daya dukung fondasi tiang pancang dari hasil pengujian PDA relatif lebih kecil dibandingkan dengan ketiga metode dari hasil perhitungan berdasarkan data CPT. Sehingga hasil pengujian PDA akan menghasilkan faktor aman yang lebih besar jika dibandingkan dengan analisis berdasarkan data CPT. Yang mendekati hasil pengujian PDA berdasarkan analisis CAPWAP untuk daya dukung ujung tiang menggunakan

Tabel 5. Data pengujian CPT dan PDA pada beberapa proyek di Kota Pontianak

Proyek	Pengujian		Dimensi tiang	
	CPT	PDA	Panjang tiang terpancang (m)	Penampang persegi (cm)
RSUD Soedarso	2	2	23,00	20 × 20
RSUD Soedarso	2	2	17,00	25 × 25
Hotel Mercure	1	1	26,30	20 × 20
Kantor Bupati Kubu Raya	2	2	23,20	25 × 25

Tabel 6. Rekapitulasi hasil PDA dan *output* CAPWAP

No	Proyek	Dimensi tiang yang terpancang		PDA	CAPWAP		
		Penampang persegi	Panjang (m)	$Q_u$ (kN)	$Q_b$ (kN)	$Q_s$ (kN)	$Q_u$ (kN)
1	RSUD Data 1	20 × 20 cm	23.00	470.00	16.00	477.00	493.00
2	RSUD Data 2	20 × 20 cm	23.00	440.00	65.00	373.00	437.00
3	RSUD Data 3	25 × 25 cm	17.00	410.00	46.00	391.00	437.00
4	RSUD Data 4	25 × 25 cm	17.00	390.00	110.00	319.00	429.00
5	Hotel Data 1	20 × 20 cm	26.30	600.00	93.00	507.00	600.00
6	Kantor KKR Data 1	25 × 25 cm	23.20	600.00	42.00	642.00	684.00
7	Kantor KKR Data 2	25 × 25 cm	23.20	840.00	102.00	698.00	800.00



*Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Cone Penetration Test (CPT) dan Pile Driven Analyzer (PDA) pada Tanah Lunak di Kota Pontianak (Vivi Bachtiar)*

Tabel 7. Rekapitulasi hasil perhitungan dari data CPT

No	Proyek	Dimensi tiang yang terpancang		Schmertmann-Nottingham			de Ruiter & Beringen			Bustamante & Gianeselli		
		Penampang persegi	Panjang (m)	Q <sub>b</sub> (kN)	Q <sub>s</sub> (kN)	Q <sub>u</sub> (kN)	Q <sub>b</sub> (kN)	Q <sub>s</sub> (kN)	Q <sub>u</sub> (kN)	Q <sub>b</sub> (kN)	Q <sub>s</sub> (kN)	Q <sub>u</sub> (kN)
1	RSUD Sondir 1	20×20 cm	23.00	280.00	418.60	698.60	126.00	1249.14	1375.14	168.00	832.76	1000.76
2	RSUD Sondir 2	20×20 cm	23.00	232.00	300.64	532.64	104.40	1090.72	1195.12	139.20	727.14	866.34
3	RSUD Sondir 3	25×25 cm	17.00	31.25	231.28	262.53	14.06	301.95	316.01	22.50	201.30	223.80
4	RSUD Sondir 4	25×25 cm	17.00	44.27	288.26	332.54	19.92	298.98	318.90	26.25	199.32	225.57
5	HOTEL Sondir 1	20×20 cm	26.30	74.67	271.66	346.33	33.60	368.60	402.20	44.16	368.60	412.76
6	Kantor KKR Data 1	25×25 cm	23.20	170.66	452.04	622.70	76.80	500.04	576.84	113.25	500.04	613.29
7	Kantor KKR Data 2	25×25 cm	23.20	194.10	373.26	567.36	87.35	588.33	675.67	122.93	588.33	711.25

ketiga metode yang telah dianalisis di atas sedangkan untuk daya dukung selimut tiang menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham.

Hasil pengujian PDA berdasarkan analisis CAPWAP untuk daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data CPT bervariasi. Hal ini disebabkan karena jarak titik sondir dengan pengujian PDA agak jauh.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan analisis dari data CPT menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham, de Ruiter dan Beringen, Bustamante dan Gianeselli dengan hasil PDA dan hasil perhitungan CAPWAP menunjukkan hasil yang mendekati. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik maka diperlukan jumlah data CPT yang lebih banyak lagi.

#### Daftar Pustaka

Briaud. 1988. "Evaluation of Cone Penetration Test Methods using 98

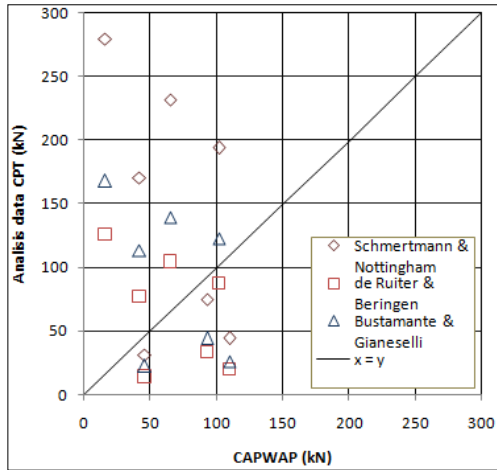
Pile Load Test". *Proceeding. First International Symposium on Penetration Testing*. Florida.

Bustamante, M. & Gianeselli, L. 1982. "Pile Bearing Capacity Prediction by Means of Static Penetrometer CPT". *Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing*. Amsterdam. 24–27 May 1982, Page. 493-500.

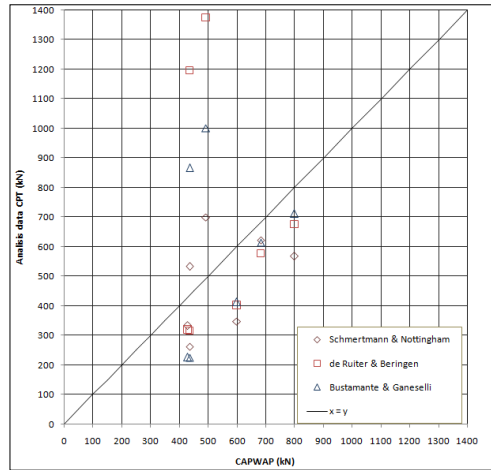
Horvits, G. E, et. al. 1981. *Comparison of Predicted and Observed Pile Capacity*. Cone Penetration and Experience. Edition G.M. Norris and T.D. Holtz. ASCE.

Rahardjo, Paulus P. 2005. *Manual Pondasi Tiang*. Edisi 3. Bandung: Geotechnical Engineering Center.

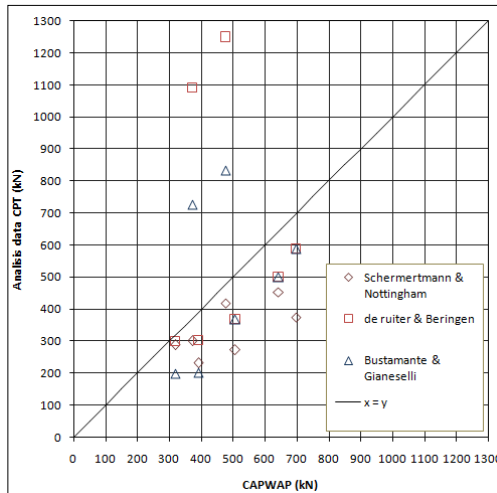
Titi, H. H & Abu-Farsakh, M. Y. 1999. *Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test Data*. Louisiana. Available at: <http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/Pile-CPT-Final-Report.pdf> [Accessed 7 March 2003].



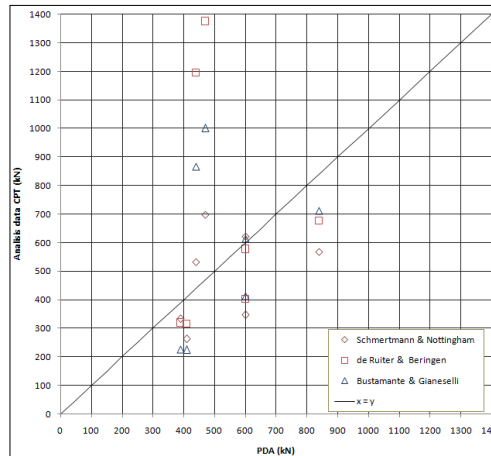
Gambar 7. Hasil  $Q_b$  dari CAPWAP dan data CPT



Gambar 9. Hasil  $Q_u$  dari CAPWAP dan data CPT



Gambar 8. Hasil  $Q_s$  dari CAPWAP dan data CPT



Gambar 10. Hasil  $Q_u$  dari hasil PDA dan data CPT