KORELASI PENENTUAN DAYA DUKUNG TIANG CARA EMPIRIK (CPT) DENGAN PILE DRIVEN ANALYSIS (PDA) DI KOTA PEKANBARU

Muhamad Yusa
Jurusan Teknik Sipil FT UNRI, email: yusa@unri.ac.id

Nugroho SA
Jurusan Teknik Sipil FT UNRI, email: nug_sa@unri.ac.id

Abstract
Axial bearing capacity of pile foundation can be estimated empirically from cone penetration test (CPT). Actual capacity of foundation can be obtained from static load test or pile driving analyzer (PDA). This research evaluated pile bearing capacity calculated by method of Schmertman (1978), de Reuter & Beringen (1979) and Bustamente & Gianeselli (1982) with PDA results at several location in Pekanbaru, that have been analyzed by Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP). Determination of coefficient correlation was carried statistically using Pearson Product Moment. Result showed that Schmertman method is best to estimate skin friction capacity with coefficient of correlation is 0.968. Those three methods gave good estimation of ultimate bearing capacity with coefficient of correlation between 0.957-0.974.

Keywords:
cone penetration test, pile driving analysis, pile bearing capacity.

PENDAHULUAN

Kapasitas daya dukung pondasi tiang dapat diperkirakan dari uji laboratorium dan atau analisis empirik dengan menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Pengujian langsung di lapangan yaitu, *static load test* dan *Pile Driving Analyzer* (PDA).

Titi dan Abu-Farsakh [1,8] melakukan penelitian pada enam puluh (60) tiang dengan dimensi yang berbeda serta bersumber dari proyek yang berbeda di Lousiana, penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil hitungan metode-metode analisis tiang dengan hasil *static load test*. Sehingga diperoleh tiga metode yang hasilnya mendekati hasil pengujian *static load test* yaitu, metode Schmertmann (1978), de Ruiter dan Beringen(1979), Bustamante dan Gianeselli(1982). Horvitz et al [3] melakukan studi pada beberapa pondasi tiang yang diuji sehingga mencapai keruntuhan (*failure*) dan menyatakan bahwa terdapat korelasi yang baik antara hasil perhitungan analitis dengan beban keruntuhan (ultimit) dari pondasi tiang. Perhitungan analitis yang dimaksud adalah metode yang diusulkan oleh Schmertmann dan Nottingham (1975). Briaud [2] melakukan evaluasi terhadap sembilan puluh delapan (98) uji pembebanan tiang dengan menggunakan beberapa cara daya dukung yang diturunkan dari data CPT. Hasil penelitian Briaud memberikan kesimpulan metode yang terbaik adalah metode Bustamante et al, Schmertmann dan Nottingham.

Pengujian PDA memerlukan waktu, tempat dan biaya relatif sedikit dibandingkan dengan *static load test*. Daya dukung pondasi tiang menggunakan PDA memberikan korelasi yang baik, apabila dibandingkan dengan hasil *static load test* [4, 9]. Untuk menentukan nilai tahanan ujung, tahanan kulit dan penurunan, hasil PDA diolah dengan *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP).

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan daya dukung pondasi tiang (ujung, kulit, dan *ultimate*) yang dihitung dengan analisis empirik dari data CPT menggunakan metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, Bustamante dan Gianeselli terhadap hasil PDA di beberapa lokasi di Pekanbaru, yang telah diolah dengan CAPWAP. Hasil perbandingan dinyatakan dalam koefisien korelasi.

METODE

Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data CPT

Dalam menghitung daya dukung tiang menggunakan data CPT ada sejumlah metode yang dapat digunakan antara lain metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, serta Bustamante dan Gianeselli yang memberikan hasil perhitungan daya dukung tiang yang berbeda-beda untuk itu diperlukan evaluasi ketiga metode tersebut sehingga didapat metode yang memberikan nilai daya dukung tiang yang mendekati nilai sesungguhnya.

Secara umum rumus daya dukung yaitu:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad \text{.....[1]}$$

$Qu = (q_b \times A_b) + (f \times A_s)$ .....[2]

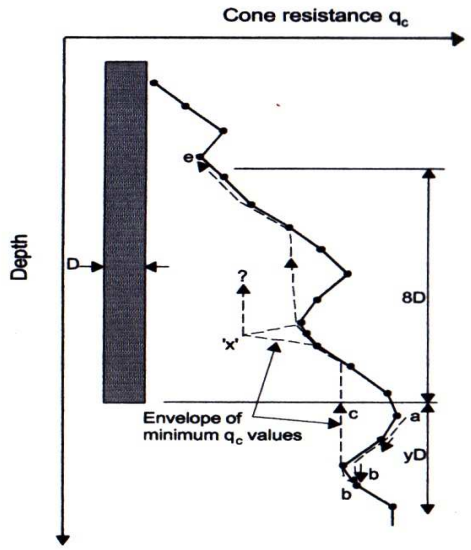
dengan :
Q_u = daya dukung *ultimate*, ton,
Q_b = tahanan ujung, ton,
Q_s = tahanan kulit, ton,
q_b = tahanan unit ujung tiang, kg/cm²,
A_b = luas ujung tiang, cm²,
f = hambatan lekat, kg/cm²,
A_s = luas selimut tiang, cm².

Metode Schmertmann
Schmertmann memberikan persamaan untuk menghitung daya dukung tiang sebagai berikut

$$Q_{ult} = \frac{(q_{c1} + q_{c2})}{2} A_b + \alpha \left(\sum_{y=0}^{8D} \frac{y}{8D} f_s A_s + \sum_{y=8D}^{L} f_s A_s \right) [3]$$

dimana :
q_{c1}= nilai tahanan kerucut minimum rata-rata dengan rentang (0,7 – 4) D di bawah ujung tiang, kg/ cm²
q_{c2} = nilai tahanan kerucut rata-rata 8D di atas ujung tiang, kg/ cm²
D = diameter tiang, cm.
q_{c2} = q_c rata-rata pada 8D gunakan yang minimum (c-e) abaikan jalur arah `Z` pada tanah pasir, pakai jalur `Z` tersebut pada tanah lempung (*clay*).
α = faktor koreksi
D = diameter tiang, cm,
y = jarak dimana tahanan dibawah tiang yang dihitung = 4D, cm

Langkah-langkah dalam menentukan q_{c1} dan q_{c2} dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Menentukan q_c berdasarkan metode Schmertmann

Metode de Ruiter dan Beringen
De Ruiter dan Beringen memberikan persamaan untuk menghitung daya dukung yang mana membedakan perhitungan untuk tanah lempung dengan tanah pasir, yaitu :

Tanah Lempung

$$Q_u = A_b \left(N_c \frac{q_c(\text{tip})}{N_k}\right) + A_s \left(\beta \frac{q_c(tip)}{N_k}\right) \text{.....[4]}$$

Tanah Pasir

$$Q_u = A_b \frac{(q_{c1} + q_{c2})}{2} + A_s f \text{ .....[5]}$$

$$f = \frac{q_c(side)}{300} \; ; f = \frac{q_c(side)}{400} \; ; \; f = 1.20\,(kg/cm^2) \text{ .[6]}$$

Nilai f yang dipakai adalah nilai f yang minimum dari persamaan [6]

dengan :
Q_b = tahanan ujung, ton,
A_b = luas ujung tiang, kg/ cm²,
N_c = faktor daya dukung = 9,
q_c (tip) = nilai tahanan kerucut rata-rata yang hitungannya sama dengan metode Schmertmann,
N_k = *cone factor* = 15 – 20.
β = *adhesion factor*, β = 1 untuk *normally* konsolidasi, β = 0,5 untuk *over* konsolidasi,
q_c (*side*)= nilai tahanan kerucut rata-rata sepanjang lapisan tanah.

Metode Bustamante dan Gianeselli (Metode LCPC)
Pada metode Bustamante dan Gianeselli nilai unit tahanan ujung (q_b) dan unit tahanan kulit (q_s) hanya diperoleh dari nilai tahanan kerucut (q_c).
$q_b = k_b \times q_{eq}$ .....[7]

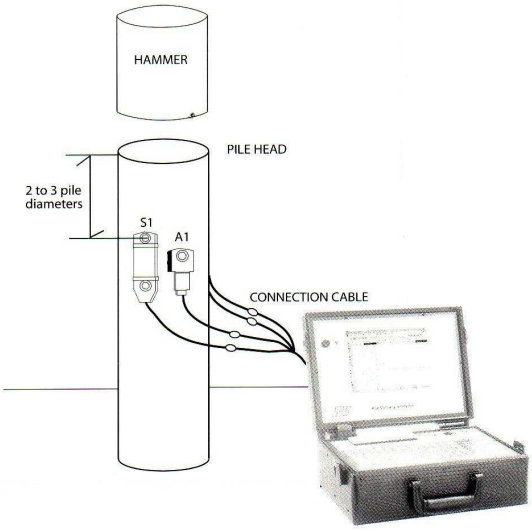
dimana :
q_b = tahanan unit ujung tiang,
k_b = faktor daya dukung, yang nilainya 0,15 – 0,6. Nilai k_b tergantung pada jenis tanah dan cara pemancangan tiang, nilai k_b dapat dilihat pada Tabel 1.
q_{eq} = perlawanan ujung kerucut rata-rata ekivalen di sekitar ujung tiang.

Tabel .1. Faktor daya dukung LCPC (kb)

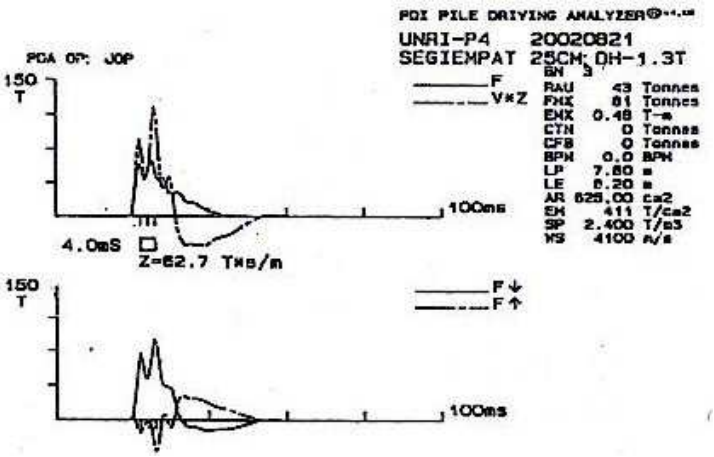
Tipe Tanah	Tiang Bor	Tiang Dipancang
Lempung – Lanau	0,375	0,6
Pasir – Kerikil	0,15	0,375

Pile Driving Analyzer

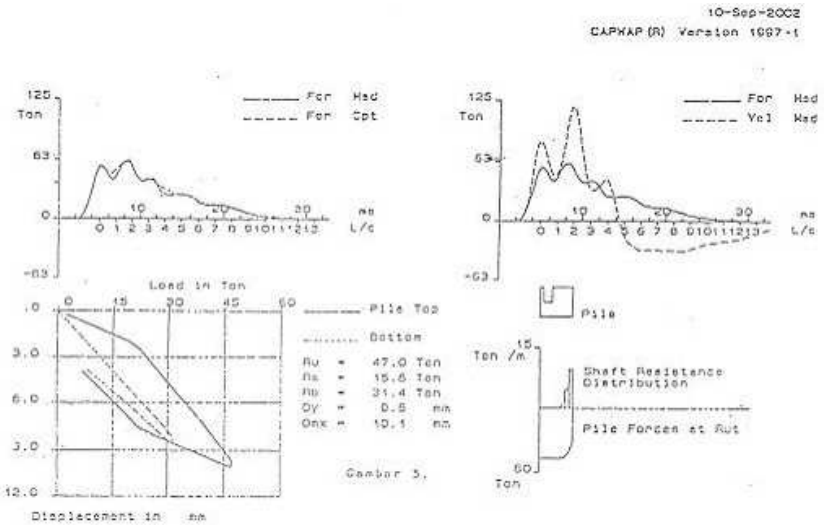
PDA adalah suatu sistem yang terdiri dari suatu perangkat elektronik komputer dan dilengkapi dengan sensor *accelerometer* dan s*train transducer* (Gambar 2). PDA didasarkan pada analisis data hasil rekaman getaran gelombang yang terjadi pada waktu tiang dipukul dengan palu pancang. Regangan dan percepatan gelombang akibat *impact* alat pancang diukur dengan menggunakan *strain transducer* dan *accelerometer*. Hasil pengukuran regangan dan percepatan diperlukan untuk mempekirakan daya dukung tiang dengan menggunakan teori gelombang satu dimensi. Prosedur pengujian dilakukan sesuai ASTM D 4945-96. Tiang yang diuji sudah keadaan terpancang, pengujian dilakukan dengan *restrike* atau *redrive*. *Restrike* dihentikan setelah diperoleh kualitas rekaman yang cukup baik dan energi pukulan relatif yang cukup tinggi. Analisis lanjutan dengan menggunakan CAPWAP.



Gambar 2 Pile Driving Analyzer



Gambar 3 Keluaran PDA



Gambar 4. Hasil CAPWAP

Keluaran hasil dari pengujian tiang (*output*) PDA adalah :Jumlah pukulan (BN); Daya dukung tiang (RSU); Gaya tekan maksimum (FMX); Energi maksimum yang ditransfer (EMX); Nilai keruntuhan (BTA); Jumlah pukulan permenit (BPM); Panjang tiang tertanam (LP); Panjang tiang di bawah *instrument* (LE).Contoh hasil PDA dapat dilihat pada gambar 3. Analisis menggunakan CAPWAP akan menghasilkan :Daya dukung (Ru); Gaya ujung (Rb); Gaya gesek (Rs); *Displacement* (DMX) seperti terlihat pada Gambar 4.

Analisis Data

Dari data pengujian CPT dapat dicari nilai tahanan ujung (Q_b) dan tahanan kulit (Q_s) serta tahanan *ultimate* (Q_u) dicari menggunakan metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, Bustamante dan Gianeselli. Setelah diperoleh hasil perhitungan daya dukung dari metode-metode tersebut, selanjutnya data diolah dengan perhitungan statistik.

Korelasi adalah salah satu teknik statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel atau lebih. Pada evaluasi ini terdiri dari dua variabel yaitu, hasil PDA sebagai variabel X dan hasil perhitungan dari data CPT sebagai variabel Y. Jika nilai koefisien korelasi (r) cukup dekat dengan +1 atau –1 terdapat hubungan yang kuat antara X dan Y.Ukuran korelasi yang dipakai adalah sebagai berikut [6,7]:

- $0{,}70 \le r \le 1$ (baik plus atau minus) menunjukkan adanya derajat kedekatan yang tinggi.
- $0{,}4 \le r < 0{,}7$ (baik plus atau minus) menunjukkan hubungan yang sedang.
- $0{,}2 \le r < 0{,}4$ (baik plus atau minus) menunjukkan adanya korelasi yang rendah.
- $r < 0{,}20$ (baik plus atau minus) berarti dapat diabaikan.

Cara menghitung koefisien korelasi adalah sebagai berikut :

$$r_{x,y} = \frac{N\left(\sum XY\right) - \left(\sum X\right)\left(\sum Y\right)}{\sqrt{\left[N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2\right]\left[N\sum Y^2 - \left(\sum Y\right)^2\right]}} \quad [8]$$

dimana :

$r_{x,y}$ = koefisien korelasi X terhadapY

N = jumlah data,

X = hasil PDA yang telah dianalisis dengan CAPWAP,

Y = hasil perhitungan metoda Schmermann, de Ruiter, LCPC

Data CPT dan PDA

Pengumpulkan data hasil CPT dan PDA diperoleh dari proyek-proyek di Kota Pekanbaru yang mengadakan uji CPT dan PDA. Penentuan lokasi CPT dan PDA yang berdekatan, jika pengujian CPT dan PDA tidak pada titik yang sama maka ditentukan titik pengujian yang saling berdekatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekap hasil PDA dan hasil perhitungan tahanan ujung tiang (Q_b), tahanan kulit (Q_s), berdasarkan metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, Bustamante dan Gianeselli dapat dilihat pada Tabel 3.

Perbandingan antara nilai kapasitas daya dukung ujung tiang (Qb), kulit (Qs), dan ultimit dari hasil PDA dengan metode Schmertmann, de Riuter & Beringen, dan Bosemente & Gianeselli dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Data pengujian CPT dan PDA pada beberapa proyek di Pekanbaru

PROYEK	Pengujian		Dimensi tiang (cm)				Keterangan
	CPT	PDA	L (m)	△	□	○	
Institut Teknologi Riau	3	3	11.00			35	
			11.00			35	
			11.00			35	
RSUD Pekanbaru	2	2	23.10			60	
			22.50			60	
PT Dewi Sartika	2	2	8.00	22.25			Lokasi agak jauh
			8.00	22.25			
F Kedokteran UNRI	1	1	7.80		7.80		
PT EBS Pekanbaru	4	4	9.64			30	
			8.70			30	
			9.80			30	
			9.10			30	

Tabel 3 Rekap hasil PDA dan ketiga metode pembanding

No	PROYEK	PDA		Schmermann		De Reuter		Bustamente	
		Qb	Qs	Qb	Qs	Qb	Qs	Qb	Qs
1	ITR Sondir1	24	22,5	56,07	36,89	56,07	22,24	25,35	67,74
2	ITR Sondir2	27,9	37	49,17	38,36	49,17	28,32	20,04	84,84
3	ITR Sondir4	22,6	52,4	59,46	34,15	59,46	10,11	27,14	72,53
4	RSUD Sondir1	64,2	141,2	152,7	259,3	152,7	151,5	20,96	282,1
5	RSUD Sondir2	112,5	106,2	170,5	217,5	170,5	162,4	37,09	355,1
6	Sartika Sondir1	10	19,9	6,32	10,7	6,32	8,96	5,63	21,11
7	Sartika Sondir2	23	9,8	10,18	9,45	10,18	18,15	7,14	20,72
8	FK UNRI	31,4	15,6	109,07	32,28	109,07	19,25	44,5	44,3
9	PT EBS Sondir6	68,9	12	71,66	23,56	71,66	21,89	38,42	62,7
10	PT EBS Sondir7	70,7	10	110,19	16,13	110,19	15,51	41,07	37,44
11	PT EBS Sondir8	63,8	10,9	91,87	23,51	91,87	22,47	32,17	64,72
12	PT EBS Sondir9	66,7	14,7	99,36	16,88	99,36	29,27	38,81	69,78

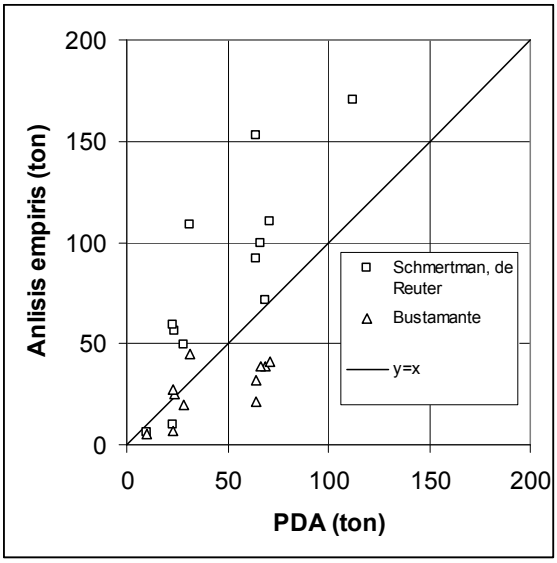
Tabel 4 Perbandingan hasil perhitungan daya dukung dengan PDA dengan beberapa metode

No	Proyek	Schmertmann			De Riuter&Beringen			Bosemente&Gianselli		
		Qb	Qs	Qu	Qb	Qs	Qu	Qb	Qs	Qu
1	ITR Sondir1	0.43	0.61	0.50	0.43	1.01	0.59	0.95	0.33	0.50
2	ITR Sondir2	0.57	0.96	0.74	0.57	1.31	0.84	1.39	0.44	0.62
3	ITR Sondir4	0.38	1.53	0.80	0.38	5.18	1.08	0.83	0.72	0.75
4	RSUD Sondir1	0.42	0.54	0.50	0.42	0.93	0.68	3.06	0.50	0.68
5	RSUD Sondir2	0.66	0.49	0.56	0.66	0.65	0.66	3.03	0.30	0.56
6	Hotel Sartika S1	1.58	1.86	1.76	1.58	2.22	1.96	1.78	0.94	1.12
7	Hotel Sartika S2	2.26	1.04	1.65	2.26	0.54	1.16	3.22	0.47	1.18
8	FK UNRI S1	0.29	0.48	0.33	0.29	0.81	0.34	0.71	0.35	0.53
9	PT EBF Sondir6	0.96	0.51	0.55	0.96	0.55	0.86	1.79	0.19	0.80
10	PT EBF Sondir7	0.64	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64	1.72	0.27	1.03
11	PT EBF Sondir8	0.69	0.46	0.65	0.69	0.49	0.65	1.98	0.17	0.65
12	PT EBF Sondir9	0.67	0.87	0.70	0.67	0.50	0.63	1.72	0.21	0.75

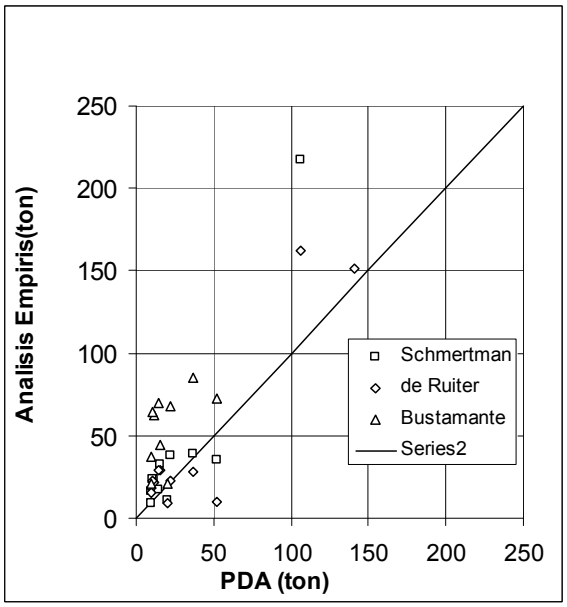
Secara umum, besar daya dukung pondasi tiang pada pengujian PDA (Qb, Qs, Qu) lebih kecil hasilnya dibanding dengan tiga metode hasil analisis empirik (Tabel 4), kecuali untuk lokasi Hotel Sartika. Kemungkinan ini disebabkan karena jarak titik sondir dengan pengujian PDA agak jauh. Jadi pengujian dengan PDA akan menghasilkan faktor aman yang lebih besar jika dibandingkan analisa empirik.

Nilai korelasi dan perbandingan tahanan ujung (Qb) hasil PDA dengan metode Schmertman, de Ruiter & Beringen, Bustamente & Gianiselli berturut-turut adalah 0,829 ; 0,829 ; 0,610. Tahanan kulit (Qs) adalah 0,968 ; 0,914 ; 0,916 dan tahanan ultimate (Qu) adalah 0,968 ; 0,957 ; 0,974.

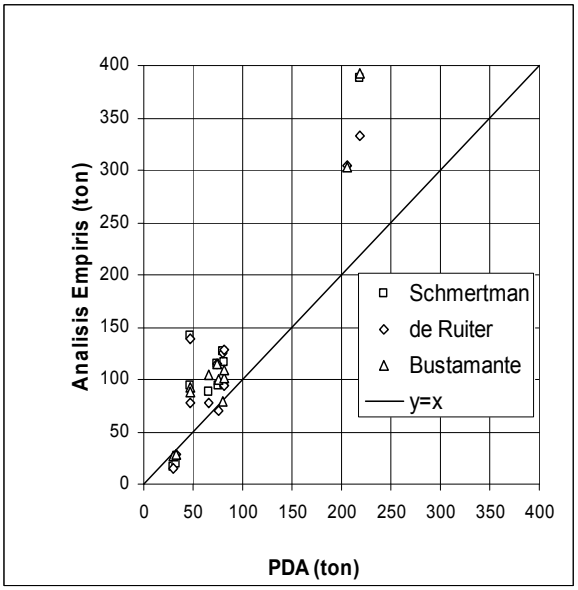
Untuk memperkirakan tahanan ujung, yaitu kekuatan tiang terkonsentrasi diujung (*end bearing point*) cara Schmerman dan Bustamante & Beringen paling mendekati hasil PDA dengan nilai korelasi 0,829. Sedangkan untuk tahanan kulit, kekuatan tiang terkonsentrasi pada kulit (*skin friction pile*) cara Schmertmann paling baik dengan nilai korelasi 0,968. Untuk daya dukung ultimate ketiga cara dapat dipakai dengan nilai korelasi antara 0,957 – 0,974.



Gambar 5. Perbandingan Qb dari PDA dan analisis data CPT



Gambar 6. Perbandingan Qs dari data PDA dan analisis data CPT



Gambar 7. Perbandingan Qult dari PDA dan analisis data CPT

SIMPULAN

Untuk menghitung tahanan ujung (Q_b) metode Schmertmann, metode de Ruiter dan Beringen baik digunakan karena nilai korelasinya dengan hasil PDA adalah 0,829 menunjukkan adanya derajat kedekatan yang tinggi.

Untuk menghitung tahanan kulit (Q_s) disarankan menggunakan metode Schmertmann, karena nilai korelasinya dengan hasil PDA adalah 0,968 yang menunjukkan nilai korelasi yang tinggi dibanding dengan dua metode yang lain.

Hasil perhitungan daya dukung ultimate (Q_u) menggunakan metode Schmertmann, metode de Ruiter dan Beringen, metode Bustamante dan Gianeselli (LCPC) mendekati hasil yang sama dimana nilai berkisar 0,957-9,974

Untuk penelitian selanjutnya jumlah data yang dievaluasi perlu ditambah untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Selain itu analisis empiris perlu dibuat dalam sebuah pemograman komputer untuk mempercepat proses perhitungan.

REFERENSI

Abu-Farsakh, M. Y. & Titi, H., ; Assessment of Direct Cone Penetration Test Methods for Predicting the Ultimate Capacity of Friction Driven Pile. *Journal of Geotechnical and geoenvironmental Engineering.* 130: 935-944. 2004

Briaud., ; Evaluation of Cone Penetration Test Methods using 98 pile load test. *Proceed-*

ing, First International Symposium on Penetration Testing. Florida. 1988.

Horvitz, G.E, et al. ; Comparison of Predicted and Observed Pile Capacity. Cone Penetration Testing and Experience. Ed. GM Norris and T.D. Holtz. ASCE. 1981.

Likins, G. & Rausche, F. ;Correlation of CAPWAP with Static Load Tests [online]. Orlando: University of Florida. Available at: <URL: http//www. ltrc.lsu.edu/pdf/ CAWAP.pdf.> [Accessed 23 November 2004]. 1996.

Rausche, F. et al. ; Dynamic Determination of Pile Capacity. *Journal of Geotechnical Engineering*. 3: 367-383,1985.

Sudjana.; Teknik Analisis Regresi dan Korelasi Bagi Para Peneliti. Bandung: PT Tarsito Bandung, 2002.

Sulaiman, W.; Statistik Non- Parametrik Contoh Kasus dan Pemecahannya dengan SPSS. Yogyakarta: Penerbit Andi Yogyakarta, 2003.

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

Zacheus, I.; Pengujian Dinamis Daya Dukung Fondasi Tiang dengan Pile Driving Analyzer (PDA). Makalah dalam Seminar Nasional dan Short Course Perkembangan Perencanaan Struktur Bangunan Bertingkat Banyak di Indonesia. Ujung Pandang, 4-6 Maret 1991.