

ANALISA PERILAKU DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL DENGAN RUMUS STATIK DAN MODEL FISIK PADA TANAH PASIR

Izzet Hekmatyar, Ikhsan Fauzy, Indrastono DA^{*)}, Kresno Wikan Sadono^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Untuk menunjang pertumbuhan ekonomi, perlu adanya pembangunan infrastruktur yang signifikan. Pembangunan infrastruktur sangat erat hubungannya dengan konstruksi bangunan sipil. Semakin besar suatu bangunan sipil maka dibutuhkan pondasi yang kuat pula untuk mendukung struktur di atasnya. Untuk konstruksi gedung, jembatan, dan bangunan lain yang memiliki elevasi yang tinggi, biasanya menggunakan struktur pondasi berupa pondasi tiang. Pondasi tiang yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang pancang dan pondasi bored pile. Sebuah pondasi tiang akan memiliki sebuah daya dukung sebagai akibat dari beban struktur di atasnya. Daya dukung tiang dibagi menjadi dua yaitu daya dukung tiang ujung dan daya dukung tiang friksi. Nilai daya dukung tiang ujung dan daya dukung friksi tersebut nantinya dijumlahkan sehingga diperoleh daya dukung ultimate tiang. Pada kenyataannya, hasil perhitungan rumus empiris dan hasil kenyataan di lapangan masih belum sama persis. Dari permasalahan diatas maka dilakukan penelitian dengan membandingkan hasil perhitungan di lapangan dengan hasil pengujian dengan skala kecil di laboratorium. Dari penelitian tersebut diharapkan dapat memperoleh suatu rumusan perbandingan dari hasil perhitungan dan pekerjaan tiang pancang di lapangan sehingga kedepannya untuk merancang pondasi tiang pancang dihasilkan hasil yang valid.

Kata kunci : Pondasi Tiang, Daya Dukung Pondasi Tiang, Perhitungan dan Pemodelan Pondasi Tiang

ABSTRACT

To support economic growth, we need a significant infrastructure development. Infrastructure development is closely related to the construction of civil buildings. The bigger the building is, the stronger the foundation that we need to support the structure on it. For the construction of buildings, bridges, and other buildings that have a high elevation, pile foundation is usually used. The type of piles that normally used are displacement pile and bored pile. A pile foundation will have a bearing capacity of the pile as a result of structural loads on it. Bearing capacity of the pile itself is divided into two: end-point bearing capacity and frictional bearing capacity. The sum of both of it, is needed to obtain the ultimate bearing capacity of the pile. In the reality, the empirical formula results is always not the same as the actual results in the field. From the problem above, the research was needed to compare the calculation results with the results of small scale field testing in the laboratory. From these researches, it was expected to derive a

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

comparison formula between them. So that in the future, the design of the pile foundation really produced a valid result.

Keywords : *Pile Foundation, Bearing Capacity of Pile Foundation, Empirical Formula Calculation and Analytical Modelling of Pile Foundation*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang, dengan berbagai aktivitas untuk memajukan perekonomian Indonesia. Salah satu faktor yang mendukung perkembangan perekonomian adalah dalam hal pembangunan infrastruktur. Banyak bangunan-bangunan besar yang dibangun. Seperti gedung-gedung tinggi, jembatan dengan bentang yang panjang, bendungan. Bangunan besar tersebut memerlukan pondasi yang kuat untuk menopang bangunan agar tetap kokoh. Salah satu pondasi yang digunakan untuk struktur bangunan yang masif adalah pondasi tiang pancang.

Tiang pancang merupakan pondasi berupa susunan tiang, terbuat dari beton, baja, maupun kayu yang dimasukkan atau dipancang ke dalam tanah dengan kedalaman tertentu untuk memperoleh daya dukung tanah yang diinginkan sesuai desain. Penggunaan pondasi tiang pancang tergantung pada jenis dan kondisi tanah yang berada di sekitar bangunan. Tanah di sekitar bangunan bisa berupa lempung (*clay*) ataupun pasir (*sand*) yang perlu diselidiki terlebih dahulu melalui pengujian laboratorium.

Kenyataan di lapangan menunjukkan hasil perhitungan yang didapat pada teori para ahli belum sesuai dengan kondisi di lapangan. Perlu adanya validasi atau koreksi antara perhitungan desain dengan kondisi di lapangan. Salah satu cara yang digunakan untuk memvalidasi hasil perhitungan harus menggunakan pengujian langsung skala 1:1. Pengujian langsung di lapangan bisa dilakukan dengan cara PDA (*Pile Driving Analyzer*) Test dan *Static Loading Test*. Namun, biaya yang diperlukan untuk melakukan PDA Test dan *Loading Test* masih sangat mahal. Hal inilah yang menjadi hambatan bagi kontraktor dalam pengecekan daya dukung tiang pancang.

Untuk itu diperlukan penelitian mengenai permodelan tiang pancang dengan skala tertentu untuk mendapatkan daya dukung tiang sesuai dengan perhitungan. Dengan adanya permodelan berskala ini, diharapkan bisa menemukan angka validasi untuk mengoreksi hasil perhitungan dengan hasil pengujian. Jadi tidak diperlukan model skala 1:1 yang memerlukan biaya yang besar, sehingga akan menghemat pengeluaran proyek.

TINJAUAN TEORI

Dalam penelitian ini dilakukan dua analisis daya dukung, yaitu dengan pengujian model tiang dan analisa daya dukung dengan metode analitis. Untuk pengujian model, dibutuhkan interpretasi data dengan beberapa metode, yaitu:

1. Metode Davisson

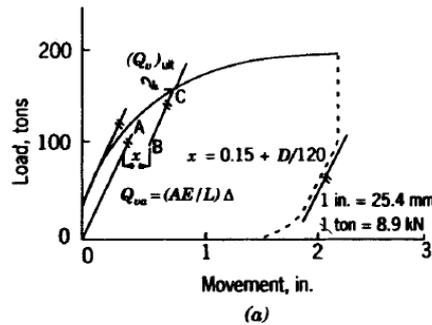
- Gambarkan kurva beban terhadap penurunan.
- Hitung penurunan elastis dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{S_e}{Q} = \frac{L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- S_e = Penurunan elastis
- Q = Beban yang diberikan
- L = Panjang tiang
- A_p = Luas penampang tiang
- E_p = Modulus elastisitas tiang

- c. Tarik garis OA seperti pada gambar dibawah berdasarkan persamaan penurunan elastis.

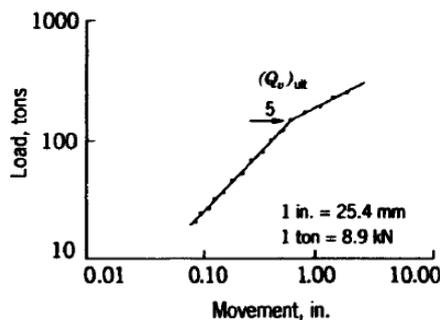


Gambar 1. Metode Davisson (Prakash,1990)

- d. Tarik garis BC yang sejajar dengan garis OA dengan jarak x, dimana x adalah:
 $x = 0,15 + D/120$ (2)
 Dengan D adalah diameter tiang dalam satuan inch.
- e. Perpotongan antara kurva beban-penurunan dengan garis BC merupakan daya dukung *ultimate*.

2. Metode De Beer

- a. Plot beban dan penurunan dalam skala logaritmik.
- b. Nilai-nilai tersebut nantinya akan membentuk dua garis lurus.
- c. Perpotongan dua garis lurus ini yang bisa kita ambil sebagai daya dukung ultimit dari tiang.

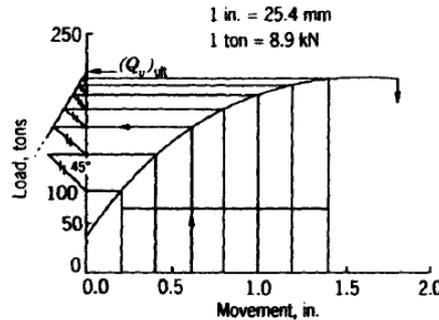


Gambar 2. Metode De Beer (Prakash,1990)

3. Metode Mazurkiewicz

- a. Gambarkan kurva beban terhadap penurunan.
- b. Tentukan beberapa titik pada sumbu penurunan yang telah ditentukan hingga memotong kurva dan tarik garis sejajar sumbu penurunan hingga memotong sumbu beban.

- c. Dari perpotongan setiap beban tersebut, tarik garis yang membentuk sudut 45° terhadap garis perpotongan berikutnya, dan seterusnya.
- d. Tarik garis lurus yang mewakili titik-titik yang terbentuk. Perpotongan garis lurus ini dengan sumbu beban merupakan daya dukung ultimit dari tiang.



Gambar 3. Metode Mazurkiewicz (Prakash,1990)

Sementara untuk analisa daya dukung dengan metode analitis terbagi dua, yaitu untuk *point bearing capacity* dan *friction bearing capacity*. Dari hasil keduanya kemudian dijumlahkan sehingga didapat nilai daya dukung *ultimate*-nya. Berikut ini adalah metode-metode yang digunakan:

- **Point Bearing Capacity (Qp)**

1. **Meyerhof**

Meyerhof (1963) menyarankan persamaan daya dukung untuk tiang pancang pada tanah pasir yaitu:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \dots\dots\dots (3)$$

Namun nilai Qp tidak boleh melebihi $A_p \cdot q_1$, sehingga

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \leq A_p \cdot q_1 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana

$$q_1 = 0,5 \cdot p_a \cdot N_q^* \tan \phi' \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

- Q_p = Kapasitas dukung tiang (kN)
- A_p = Luas penampang tiang (m^2)
- q_p = Tegangan efektif tanah pada ujung tiang terkoreksi (kN/m^2)
- q' = Tegangan efektif tanah pada ujung tiang (kN/m^2)
- N_q^* = Faktor kapasitas dukung tiang Meyerhof
- q_1 = Batas tahanan ujung tiang (kN)
- P_a = Tekanan atmosfer (= 100 kN/m^2)
- ϕ' = Sudut geser tanah efektif ($^\circ$)

2. **Vesic**

Vesic (1977) menyarankan persamaan daya dukung untuk tiang pancang, yaitu:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot \bar{\sigma}'_o \cdot N_{\sigma}^* \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma'_o = \gamma \cdot z \dots\dots\dots (7)$$

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{\sigma'_{o-z=0} + \sigma'_{o-z=h}}{2} \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{E_s}{P_a} = m \dots\dots\dots (9)$$

dengan:

- $\bar{\sigma}'_o$ = Tegangan efektif tanah rata-rata (kN/m²)
- γ = Berat volume tanah (kN/m³)
- z = Kedalaman tiang (m)
- N^*_σ = Faktor kapasitas dukung tiang Vesic
- E_s = Modulus elastisitas tanah
- m = 100-200 (*Loose Soil*),
200-500 (*Medium Dense Soil*)
200-500 (*Dense Soil*)

3. Coyle-Castello

Coyle dan Castello (1981) memberikan persamaan untuk menghitung daya dukung tiang pancang pada pasir yaitu:

$$Q_p = q' \cdot N^*_q \cdot A_p \dots\dots\dots (10)$$

dengan:

- q' = Tegangan efektif tanah pada ujung tiang (kN/m²)
- N^*_q = Faktor kapasitas dukung tiang Coyle-Castello
- A_p = Luas penampang tiang (m²)

- **Friction Bearing Capacity (Qs)**

1. Coyle-Castello

$$Q_s = f_{av} \cdot p \cdot L = (K \cdot \bar{\sigma}'_o \tan \delta') \cdot p \cdot L \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

- p = Keliling penampang tiang (m)
- L = Kedalaman tiang (m)
- K = Koefisien tegangan tanah efektif
- $\bar{\sigma}'_o$ = Tegangan overburden efektif rata-rata (kN/m²)
- δ' = Sudut friksi tanah = $0,8\phi'$ (°)

- **Ultimate Bearing Capacity (Qu)**

Persamaan kapasitas daya dukung ultimit tiang adalah sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (12)$$

dimana:

- Q_u = Kapasitas dukung *ultimate*
- Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang
- Q_s = Kapasitas gesekan tiang

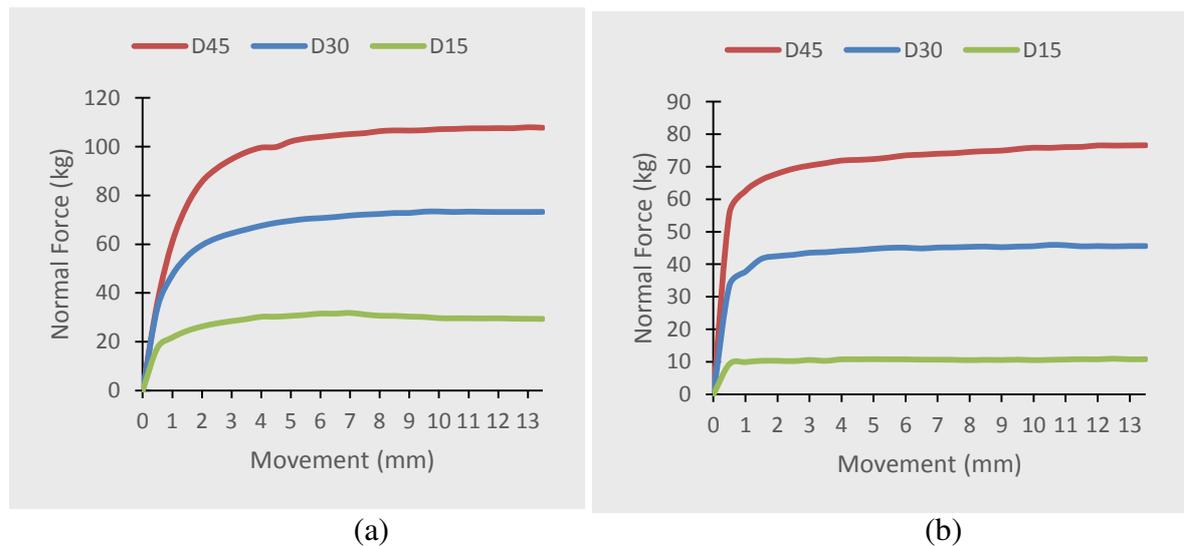
METODOLOGI PENELITIAN

Di dalam penelitian ini, akan dibandingkan hasil pengujian model tiang tunggal dengan perhitungan analitis. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dengan sebagai berikut:

1. Pembuatan model tiang silinder yang terbuat dari besi dan kayu.
2. Melakukan pengujian *density* dan sudut geser tanah.
3. Melakukan pengujian daya dukung model tiang dengan *Triaxial Compression Apparatus*.
4. Menginterpretasikan data hasil pengujian model tiang.
5. Menghitung nilai daya dukung model tiang dengan metode analitis.
6. Mengkomparasi nilai interpretasi hasil pengujian dengan hasil perhitungan analitis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum memulai pengujian model tiang, dilakukan pengujian *density* dan *direct shear*. Dari kedua pengujian tersebut didapat nilai $\gamma_s = 1,512 \text{ gr/cm}^3$, $\phi = 39^\circ$ dan $c = 0$. Setelahnya, barulah dapat dilakukan pengujian pada model tiang tunggal. Urutan pengujiannya dimulai dari model tiang besi terbesar sampai ke yang terkecil, kemudian dilanjutkan dengan model tiang kayudengan urutan yang sama. Dari hasil pengujian model tiang didapatkan grafik beban-penurunan seperti Gambar 4. Grafik-grafik tersebut perlu diinterpretasikan hasilnya menggunakan beberapa metode yang kemudian diambil nilai rata-ratanya. Metode yang digunakan adalah metode Davisson, De Beer dan Mazurkiewicz. Nilai rata-rata yang didapat juga harus dikoreksi dengan berat sendiri dari model tiang tersebut. Dari hasil interpretasi ini akan didapat nilai daya dukung *ultimate* untuk model tiang yang diuji. Hasil interpretasinya dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.



Gambar 4. Grafik Beban-Penurunan Pengujian Model Tiang (a) Kayu dan (b) Besi

Tabel 1. Interpretasi Data Hasil Pengujian (1)

No	Diameter Tiang (Cm)	Tiang Kayu			Tiang Besi			Rerata Kayu (Kg)	Rerata Besi (Kg)
		Davisson (Kg)	Mazurkiewicz (Kg)	De Beer (Kg)	Davisson (Kg)	Mazurkiewicz (Kg)	De Beer (Kg)		
1	1,5	30,2	31	32	10,7	10,9	10,8	31,07	10,8
2	3	67,8	71	71	44,1	45	45,1	69,93	44,73
3	4,5	100	102	99	72,2	74,2	71,8	100,33	72,73

Tabel 2. Interpretasi Data Hasil Pengujian (2)

No.	Diameter Tiang (Cm)	Berat Tiang (Kg)		Rata-Rata		Daya Dukung Akhir	
		Kayu	Besi	Kayu	Besi	Kayu	Besi
1	1,5	0,039	0,457	31,07	10,8	31,031	10,343
2	3	0,112	1,616	69,93	44,73	69,818	43,114
3	4,5	0,255	3,786	100,33	72,73	100,075	68,944

Dari tabel diatas bisa dilihat bahwa nilai daya dukung model tiang kayu lebih besar daripada tiang besi. Selanjutnya perlu diperhitungkan pula nilai deformasi dari tiap-tiap model tiang yang diuji. Nilai deformasi diambil saat tiang mencapai nilai daya dukung *ultimate*-nya. Berikut adalah tabel nilai deformasi dari hasil pengujian:

Tabel 3. Deformasi Model Tiang

No.	Diameter Tiang (Cm)	Δk (Cm)	Δb (Cm)	δk	δb
				$\Delta k / D$ (%)	$\Delta b / D$ (%)
1	1,5	0,54	0,39	36	26
2	3	0,49	0,47	16,3	15,6
3	4,5	0,39	0,49	8,6	10,9

Jika dibandingkan antara nilai deformasi model tiang kayu dengan besi, bisa diketahui bahwa nilai deformasi kayu lebih besar dari besi. Yang berbeda hanya untuk model tiang diameter 4,5 cm. Hal ini bisa terjadi karena kemampuan tiang belum seluruhnya termobilisasi. Dapat dilihat bahwa untuk nilai δk tiang kayu diameter 4,5cm berada di luar *range* minimum yang disyaratkan yaitu 10%.

Tahapan berikutnya adalah menganalisa nilai daya dukung tiang dengan metode analitis. Untuk daya dukung ujung digunakan metode Meyerhof, Vesic dan Coyle-Castello. Sedangkan untuk daya dukung friksi dihitung dengan menggunakan metode Coyle-Castello saja. Hasil perhitungan ini nantinya dikoreksi pula dengan berat sendiri dari model tiangnya. Berikut adalah hasil analisa dengan metode analitis:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Metode Analitis (1)

No.	Diameter Tiang (Cm)	Point Bearing (Qp)			Friction (Qs)			Ultimate (QuA) (Kg)	
		Meyerhof (Kg)	Vesic (Kg)	Coyle Castello (Kg)	Qpa (Kg)	QSA (Kg)	QSB (Kg)		QsA (Kg)
1	1,5	22	31,7	7,6	20,4	0,7	7,3	4	24,4
2	3	88,4	127	27,2	80,9	1,44	21,36	11,4	92,3
3	4,5	199	285	58	180	2,15	34,93	18,5	198,5

Tabel 5. Hasil Perhitungan Metode Analitis (2)

No.	Diameter Tiang (Cm)	Berat Tiang (Kg)		QuA (Kg)	QuA -Wk (Kg)	QuA -Wb (Kg)
		Kayu (Wk)	Besi (Wb)			
1	1,5	0,039	0,457	24,4	24,361	23,943
2	3	0,112	1,616	92,3	92,118	90,684
3	4,5	0,255	3,786	198,5	198,245	194,714

Tabel 6. Komparasi Nilai Daya Dukung Tiang

No.	Diameter Tiang (Cm)	Tiang Kayu		Tiang Besi	
		Analitis (Kg)	Model Tiang (Kg)	Analitis (Kg)	Model Tiang (Kg)
1	1,5	24,361	31,031	23,943	10,343
2	3	92,118	69,818	90,684	43,114
3	4,5	198,245	100,075	194,714	68,944

Setelah dilakukan komparasi dapat dilihat bahwa nilai daya dukung model tiang memiliki nilai yang berbeda dibandingkan dengan metode analitis. Model tiang yang paling mendekati nilai daya dukung metode analitis adalah model tiang kayu, walaupun perbedaannya cukup besar. Perbedaan ini terjadi karena nilai daya dukung metode analitis diambil dari nilai rata-rata dari berbagai metode. Yang dimana metode-metode tersebut menghasilkan nilai yang berbeda pula.

Untuk mengontrol hasil pengujian yang telah dilakukan, maka perlu dilakukan perbandingan terhadap *range* daya dukung metode analitis. Hasil perhitungan *range* daya dukung bisa dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 7. Perhitungan *Range* Daya Dukung Metode Analitis (1)

No.	Diameter Tiang (Cm)	Point Bearing (Qp)					Friction (QsAv) (Kg)	QuA	
		Meyerhoff (Kg)	Vesic (Kg)	Coyle Castello (Kg)	Min (Kg)	Max (Kg)		Min (Kg)	Max (Kg)
1	1,5	22	31,7	7,6	7,6	31,7	4	11,4	35,7
2	3	88,4	127	27,2	27,2	127	11,4	38,6	138,4
3	4,5	199	285	58	58	285	18,5	49,4	296,4

Tabel 8. Perhitungan *Range* Daya Dukung Metode Analitis (2)

No.	Diameter Tiang (Cm)	Berat Tiang (Kg)		QuA Min (Kg)	QuA Max (Kg)	Tiang Kayu		Tiang Besi	
		Kayu (Wk)	Besi (Wb)			QuA Min (Kg)	QuA Max (Kg)	QuA Min (Kg)	QuA Max (Kg)
		1	1,5	0,039	0,457	11,4	35,7	11,361	35,661
2	3	0,112	1,616	38,6	138,4	38,488	138,288	36,984	136,784
3	4,5	0,255	3,786	49,4	296,4	49,145	296,145	45,614	292,614

Tabel 9. Komparasi Hasil Pengujian Terhadap *Range* Perhitungan Analitis

No.	Diameter Tiang (Cm)	Tiang Kayu			Tiang Besi		
		QuA min (Kg)	QuA max (Kg)	Model Tiang (Kg)	QuA min (Kg)	QuA max (Kg)	Model Tiang (Kg)
1	1,5	11,361	35,661	31,031	10,943	35,243	10,343
2	3	38,488	138,288	69,818	36,984	136,784	43,114
3	4,5	49,145	296,145	100,075	45,614	292,614	68,944

Hasil komparasi diatas menunjukkan bahwa hampir semua nilai daya dukung hasil pengujian masuk kedalam *range* metode analitis. Walaupun untuk model tiang besi diameter 1,5cm nilainya berada dibawah range minimum. Namun karena perbedaannya tidak begitu besar maka pengujian masih dianggap valid. Oleh karena itu, hasil pengujian keseluruhan masih bisa diterima.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian model tiang tunggal dapat disimpulkan bahwa material kayu memiliki tahanan dukung lebih besar dibandingkan material besi. Untuk nilai penurunannya pun, material kayu lebih besar daripada material besi, kecuali untuk tiang diameter 4,5 cm. Hal ini dikarenakan tahanan dukung model tiang kayu diameter 4,5 cm belum termobilisasi sepenuhnya. Jika kita memperhitungkan Q_u sebagai nilai rata-rata dari metode-metode yang digunakan, maka nilai daya dukung yang didapat dari hasil pengujian menunjukkan nilai yang berbeda dengan hasil metode analitis. Model tiang tunggal yang memiliki nilai daya dukung paling mendekati daya dukung metode analitis adalah tiang kayu. Jika kita memperhitungkan Q_u sebagai *range*, maka nilai daya dukung yang didapat dari hasil pengujian masih masuk ke dalam *range* metode analitis, kecuali untuk model tiang besi diameter 1,5cm. Tapi secara keseluruhan hasil pengujian masih bisa diterima.

SARAN

Melihat hasil yang didapat maka untuk pengujian selanjutnya disarankan mengubah urutan pengujian model tiang untuk mengetahui apakah nilai daya dukung masih sama atau tidak. Kemudian untuk material model tiang yang berbeda sebaiknya digunakan bak uji yang berbeda pula. Pengecekan kepadatan tanah juga sebaiknya dilakukan per *layer*, bukan hanya di awal. Untuk metode pemancangan model tiang juga harus disamakan agar nilai daya dukung yang didapat lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, R., F., 2004. *Craig's Soil Mechanics*, 7th Edition, Spon Press, New York.
- Das, Braja M., 2007. *Principles of Geotechnical Engineering*, 6th Edition, Thomson, United States.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006. *Mekanika Tanah 1*, Edisi ke-4, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2002. *Mekanika Tanah 2*, Edisi ke-3, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Prakash, Shamsheer dan Hari D. Sharma, 1990. *Pile Foundation in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa, 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Edisi ke-7, Pradnya Paramita, Jakarta.