

4. Bapak Ir. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi bimbingan, saran dan pengarahan dalam tugas akhir.
5. Bapak Ir. Harbi Hadi, MT, selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberi saran dan pengarahan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
7. Sdr. Hariambaning Samodra L. dan Dicki Purnawibawa, Mas Eko, Kholid atas bantuannya selama proses penulisan tugas akhir ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya, serta bagi penulis pada khususnya. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, *Amien*.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juli 1999

Penulis

1.6 Metodologi

Metodologi yang digunakan adalah studi literatur, dengan cara menghitung serta menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kapasitas tarik (*pullout resistance*) antara kelompok tiang pancang (*pile group*) dengan tiang bor tunggal dengan pembesaran ujung (*single belled pier*).

Secara garis besar, metodologi penelitian yang akan di laksanakan adalah sebagai berikut ini.

1. Mengumpulkan data tanah (data laboratorium) yaitu tanah pasir, lempung dan tanah campuran pasir,
2. Mengumpulkan buku-buku literatur dan menelaahnya sebagai penunjang dan landasan teori dari tugas akhir ini,
3. Perencanaan tiang terhadap beban kolom yang sama, untuk masing-masing jenis tiang pada masing-masing data tanah,
4. Perhitungan kapasitas tarik dari hasil perencanaan pada langkah ke-3,
5. Analisa terhadap hasil yang didapat dari langkah ke-4.

1.7 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dipakai adalah:

1. Analisis berdasarkan metode statis yaitu data laboratorium pada perhitungan kapasitasnya,
2. Kedalaman tiang berdasarkan data sondir dan dipakai seragam yaitu 15 m,
3. Pondasi tiang yang akan dibandingkan adalah pondasi tiang, yaitu kelompok tiang pancang (*pile group*) dan bor tunggal dengan pembesaran ujung (*single belled pier*),

4. Tiang yang digunakan tiang lurus (tidak ada sudut inklinasi tiang),
5. Kedua jenis tiang tersebut didesain dengan beban desak yang sama, yaitu sebesar 200 ton,
6. Tidak terdapat beban dinamis,
7. Pemakaian tiang pancang kelompok menggunakan spasi (as-as tiang) lebih dari 3 x diameter tiang, sehingga tidak memperhitungkan adanya efisiensi tiang,
8. Data tanah digunakan adalah dari daerah Semarang untuk tanah lempung, Yogyakarta untuk tanah pasir dan Jakarta untuk tanah berlapis pasir-lempung.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Kondisi tanah dasar pondasi umumnya mempunyai karakteristik yang sangat bervariasi. Berbagai parameter yang mempengaruhi karakteristik tanah misalnya pengaruh muka air tanah yang mengakibatkan berat volume antara tanah yang terendam air berbeda dengan tanah yang tidak terendam air, meskipun jenis tanahnya sama. Jenis tanah juga berpengaruh seperti antara tanah lempung dengan tanah pasir yang mempunyai karakteristik fisik dan mekanik berlainan, sehingga memberikan nilai daya dukung tanah yang berbeda-beda pula. (Suryolelono, 1994).

Pondasi tiang digolongkan berdasarkan: material, cara pelaksanaan, dan lain sebagainya. Berdasarkan cara pelaksanaannya, pemasangan tiang dibedakan menjadi dua yaitu : tiang pancang pracetak dan tiang yang dicor di tempat. (Nakazawa & Suyono, 1980).

Pembuatan tiang dengan cara dicor di tempat (*cast in place*) yang sering disebut juga *bored pile* adalah suatu cara yang mana tiang dicetak menurut lubang pada tanah yang berbentuk seperti tiang, kemudian ke dalam lubang tersebut dituangkan adukan beton. (Nakazawa & Suyono, 1980)

Pada umumnya di lapangan dijumpai jenis tiang yang merupakan kombinasi antara ketiga hal tersebut. Keadaan tersebut disebabkan karena jenis tanah merupakan campuran atau kombinasi antara ketiganya. (Suryolelono, 1994)

2. **Bahan Tiang.** Besarnya beban yang bekerja akan menentukan bahan yang digunakan untuk pembuatan tiang. Berbagai jenis tiang didasarkan pada bahan pembentuknya adalah sebagai berikut ini.

a. Tiang kayu

Umumnya tiang kayu digunakan untuk pekerjaan sementara, karena umurnya terbatas (mudah lapuk). Tiang kayu apabila dipakai di daerah dengan muka air tanah tinggi maka tiang akan berfungsi sebagai tiang permanen.

Tiang pancang kayu digunakan biasanya berdiameter 15-25 cm dan panjang terbatas antara 6-8 m. Daya dukung tiang umumnya tidak begitu besar sesuai dengan klasifikasi jenis kayu yang digunakan yaitu berkisar antara 0,15-0,25 kN. Dalam pelaksanaan pemancangan, bagian kepala tiang maupun ujung tiang diberi perkuatan agar tidak mudah hancur pada waktu dipancang.

b. Tiang Baja

Tiang baja umumnya digunakan dengan bentuk tampang profil H, WF atau pipa, baik berlubang maupun tertutup ujung-ujungnya.

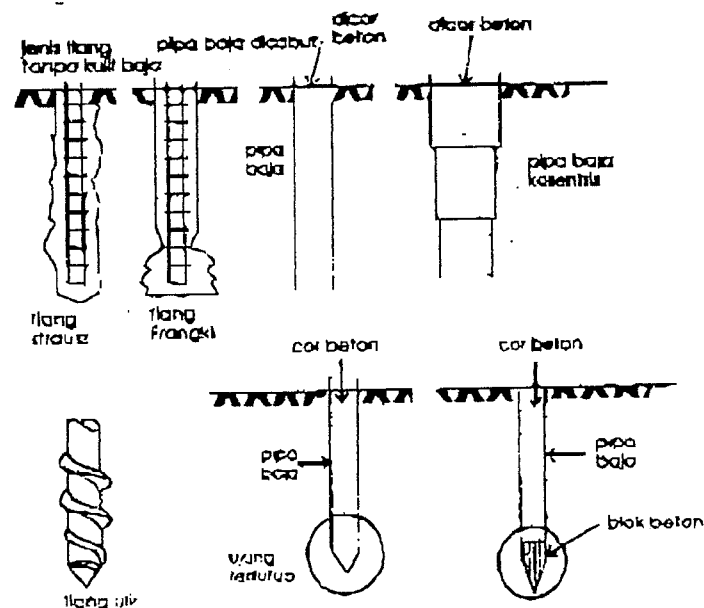
Tiang baja mempunyai banyak keuntungan, antara lain:

- Mudah dipancang, karena tiang mempunyai luas tampang yang kecil

- Pipa baja dengan ujung terbuka dipancang ke dalam tanah. Tanah di dalam pipa dikeluarkan dengan alat bor, dikeruk atau semprotan air dan udara, baru setelah itu dilakukan pengecoran.
- Pipa baja dengan ujung tertutup dipancang ke dalam tanah.
- Bentuk tutup dapat berupa kerucut yang menjadi satu dengan pipa baja atau blok beton yang bekerja sebagai tutup pipa baja di ujungnya. Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan baru dilakukan pengecoran.

3) Tiang ulir

Jenis tiang tersebut sebenarnya sebagai tiang baja, hanya saja dibagian ujung diberi ulir untuk memudahkan di dalam pelaksanaan pemancangan.



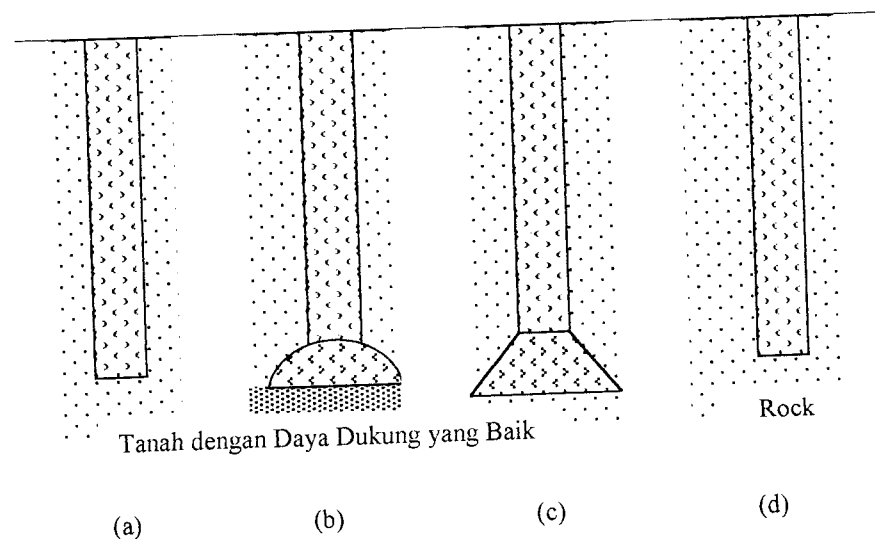
Gambar 3.5 Berbagai Jenis Tiang Pancang Berdasar Cara Pembuatan Tiang Di Tempat (*Cast In Place*)

2. Tiang Bor dengan Pembesaran Ujung (*Belled/Underreamed Pile*)

Tiang tersebut terdiri dari badan tiang (*shaft*) dengan ujung yang membesar. Ujung tiang yang membesar tersebut terletak pada tanah dengan daya dukung yang baik. Ujung tiang dapat berupa kubah (*dome*) ataupun bersudut (*angle*). Besar sudut tiangnya antara $30-45^\circ$ dengan arah vertikal, berdasarkan spesifikasi yang ada di lapangan. Di wilayah Amerika Serikat, perhitungan kapasitasnya dengan anggapan seluruh beban didukung oleh ujungnya, sedangkan di wilayah Eropa memperhitungkan gesekan kulit dan tahanan ujungnya. (Gambar 3.6.b)

3. Tiang Lurus dengan Ujung Menembus Lapisan Cadas (*Rock*)

Tiang tersebut perhitungan kapasitasnya dengan anggapan seluruh beban didukung oleh gesekan kulit dan tahanan ujungnya, dengan hitungan khusus. (Gambar 3.6.c)



Gambar 3.6 Macam Tiang Bor Berdasarkan Desain Bentuknya dalam Transfer Beban

Tiang bor juga memiliki beberapa kekurangan (Das,1990), antara lain :

1. Pekerjaan pembetonannya memerlukan pengawasan yang ketat,
2. Pekerjaan pembuatan tiang bor biasanya ditunda apabila saat cuaca buruk,
3. Pengangkatan tanah pada pembuatan lubang bornya dapat mengakibatkan longgarnya tanah (*lose*) yang bisa membahayakan struktur di dekatnya.

3.4 Daya Dukung Tiang Pancang

3.4.1 Perubahan Sifat Tanah pada Proses Konstruksi Tiang Pancang

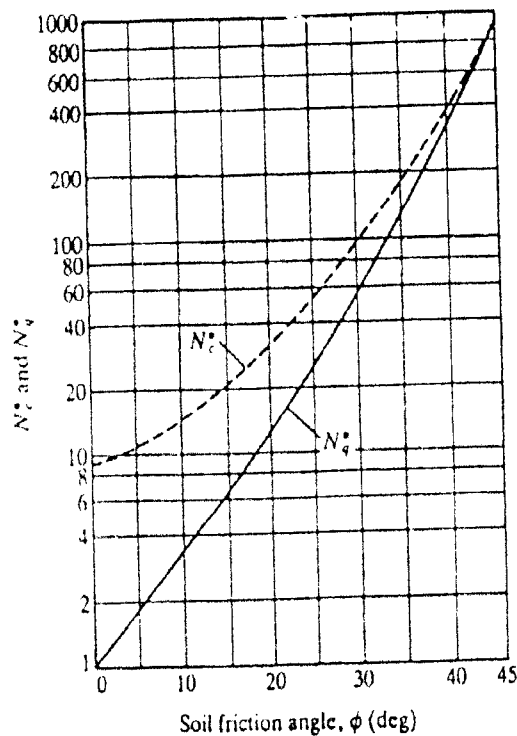
Prinsip analisis daya dukung tiang, terutama pada metode statis, pada dasarnya sama dengan analisis daya dukung pada pondasi telapak atau dangkal. Akan tetapi analisis daya dukung pada tiang lebih sulit, yang disebabkan terjadinya perubahan sifat-sifat tanah (*soil properties*) akibat proses pemancangan tiang. Contoh/sampel tanah tak terganggu (*undisturbed*) yang diambil, tidak lagi mencerminkan keadaan serta perilakunya pada saat pasca-konstruksi. (Coduto,1994). Perubahan-perubahan yang terjadi tersebut, secara singkat adalah :

1. Perubahan pada Tanah Kohesif

a. Distorsi (Perubahan),

Saat tiang dipancarkan, tanah di bawah ujung tiang bergerak menyingkir. Pergerakan tersebut menyebabkan distorsi (perubahan) dari sudut geser tanah dan tekanannya.

Ada beberapa metode untuk penentuan dari unit tahanan ujung (q_p) berdasarkan faktor daya dukungnya (N_c^* dan N_q^*), diantaranya metode Meyerhof, metode Vesic, metode Janbu. Salah satu yang akan dipakai adalah: Metode Meyerhof karena metode tersebut dianggap cukup sederhana dan banyak dipakai. Penentuan nilai faktor daya dukung tanah (N_c^* dan N_q^*) pada metode Meyerhof didapat dari gambar berikut :



Gambar 3.10 Grafik Variasi Nilai (N_c^* dan N_q^*) Terhadap Nilai ϕ (After Meyerhof,1976)

(sumber : Braja.M.Das,1990)

- **Metode Meyerhof**

Unit tahanan ujung (q_p) tiang pada pasir secara umum meningkat sebanding dengan meningkatnya kedalaman penetrasinya (L_b).

Koreksi panjang kontak pada tiang pancang adalah sebesar 1,5 m dari permukaan tanah. Panjang kontak terkoreksi (L_c) adalah perhitungan panjang tiang dengan memperhatikan zona pengaruh perubahan cuaca (*the zone of seasonal variation*) ataupun zona lemah lain yang diperkirakan tidak memberikan kontribusi terhadap tahanan gesek (Q_s). Zona perubahan cuaca tergantung dari kondisi setempat. Asumsi yang biasa digunakan adalah hingga kedalaman 1,5 m dari muka tanah, sehingga $L_c =$ kedalaman tiang dari permukaan dikurangi 1,5 m = $L - 1,5$ m. (Prakash & Sharma, 1989)

Das, 1990, memberikan rumus kapasitas tarik netto tiang pancang tunggal pada lempung adalah :

$$P_u = L \cdot p \cdot \alpha' \cdot C_u \quad (3.44)$$

Dengan $L =$ Panjang tiang ;

$p =$ Perimeter / keliling tiang tunggal

$\alpha' =$ koefisien adhesi untuk tarik

$$= 0,715 - 0,0191 \cdot c_u \rightarrow (\text{untuk } c_u \leq 27 \text{ kN/m}^2)$$

$$= 0,2 \rightarrow (\text{untuk } c_u > 27 \text{ kN/m}^2)$$

$c_u =$ Cohesion Undrained tanah lempung

3.6.2. Kapasitas Tarik Tiang Pancang Kelompok

1. Pada Tanah Pasir (*sand*)

untuk perhitungan kapasitas tarik tiang kelompok, digunakan nilai terkecil dari persamaan berikut :

$$\bullet (P_g)_{all} = n \cdot P_{all} ; \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tiang.} \quad (3.45)$$

2. Pada Tanah Lempung (*Clay*)

Perhitungan kapasitas tarik tiang kelompok, digunakan nilai terkecil dari

$$(P_g)_{all} = \frac{1}{FS} [2(\bar{b} + \bar{l})L_e \cdot c_u] + W \quad (3.53)$$

persamaan berikut :

- $(P_g)_{all} = n \cdot P_{all}$; dengan n adalah jumlah tiang. (3.52)
- Tahanan tarik dari blok tanah di dalam kelompok tiang

$$W_s = (b_g \times l_g) L_e \cdot \gamma' \quad (3.53)$$

dengan:

W_s = Berat tanah

L_e = Kedalaman dengan memperhatikan pengaruh cuaca = 1,5 m

γ' = berat unit tanah efektif

$b_g ; l_g$ = lebar kelompok tiang.

3.6.3 Kapasitas Tarik Tiang Bor Tunggal

1. Pada Tanah Pasir

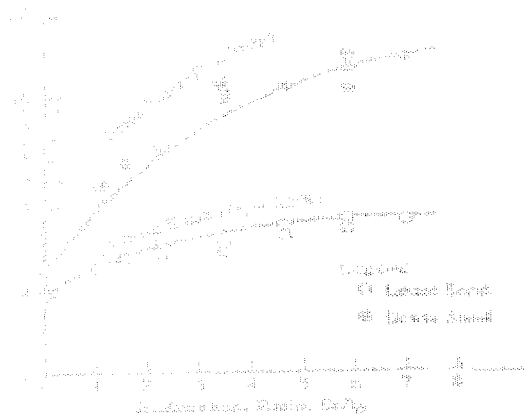
Kapasitas tarik tiang *netto* adalah :

$$P_{au \text{ netto}} = P_{au \text{ gross}} - W_f \quad (3.55)$$

W_f = Berat Pondasi

Banyak metode yang digunakan untuk menghitung kapasitas tarik tiang bor pada tanah pasir terutama pada tiang bor dengan pembesaran ujung. Perhitungan tarik tiang bor lurus pada pasir sama dengan perhitungan pada tiang pancang, namun pada tiang bor dengan pembesaran ujung berbeda. Perbedaannya adalah pada tiang bor dengan pembesaran ujung

- (Coduto,1994), dari grafik berikut :



Gambar 3.21 Nilai *Breakout factor* (B_q) pada Pasir

Sumber :Coduto,1990

$$B_q = 2(L/D_b - 0,5) \leq 9 \text{ (pada lempung)} \quad (3.57)$$

Kapasitas tarik (P_{au}) tiang bor dengan pembesaran ujung pada pasir adalah berdasarkan rasio diameter-kedalaman (Das,1990), :

- a. $(L/D_b) \leq (L/D_b)_{critic} \rightarrow$ pondasi dangkal, maka :

$$P_{au} = B_q \cdot A_b \cdot \gamma \cdot L + W \quad (3.58)$$

dengan : A_b = luas tampang ujung

faktor $(B_q \cdot A_b \cdot \gamma \cdot L) = P_{ub} \rightarrow$ kontribusi pembesaran ujung

- b. $(L/D_b) \geq (L/D_b)_{critic} \rightarrow$ pondasi dalam, *local failure*, maka :

$$P_{au} = 0,9 \cdot W_f + P_{ub} + \left(\frac{\int_{L=0}^{L=L_{cr}} A_s \cdot k \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta}{F} \right) \quad (3.59)$$

dengan : D_s = diameter badan (*shaft*)

σ_v' = tegangan vertikal efektif tanah

δ = friksi tanah-tiang

keterangan tabel :

- Dalam penentuan Nilai σ_v' , ($h_2 \gamma_2$) yang pada tanah pasir dikalikan $\frac{1}{2}$ dikarenakan tebal lapisan tersebut kurang dari $L'=11,25$ m. Hal tersebut apabila dilihat pada gambar 4.8, mempunyai bentuk segitiga.
- Lapisan atas (0~1,5m) diabaikan gesekannya
- Lapisan pada ujung yang diabaikan gesekannya sebesar $= h_{bell} + D_s = 1 + 0,75 = 1,75$ m, Jadi sepanjang kedalaman 13,5 ~ 15 m. Diasumsikan $h_{bell}=1$ m.

4.5.3 Perhitungan Kapasitas Tarik Tiang Bor Tunggal pada Tanah Pasir

Perhitungan kapasitas tarik tiang bor tunggal dengan pembesaran ujung pada pasir berdasarkan persamaan (3.59) :

$$P_{au} = 0,9 W_f + P_{ub} + Q_s \text{ pasir}$$

$$P_{au} = 0,9 W_f + \left(\frac{\int_{L=0}^{L=L_w} A_s \cdot k \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta}{F} + \frac{P_{ub}}{F} \right)$$

Cek $(L/D_b)_{cr}$:

Gambar (3.22) \rightarrow Tanah pasir lepas, dari tabel (3.8) diperoleh $D_r = 20$

%, maka dari gambar (3.21) diperoleh $(L/D_b)_{critis} = 6$

Jadi $L_{cr} = 6 \cdot D_b = 6 \cdot 2,8 = 16,8,4$ m, seluruh lapisan pasir $L=15$ m $< L_{cr}$

Tabel 4.4 Tabel Hitungan Gesekan Kulit Tanah
Pasir Homogen Tiang Bor $D_s = 0,75$ m

		Depth (m)	Tebal (m)	γ (kN/m ³)	ϕ	q' (=h. γ)	q' kum	σ_v'	Fs	As	Qs
1	Pasir	0~1,5	1,5	17,19	29,58	25,785	25,79	-	-	-	-
2	Pasir	1,5~2	0,5	17,19	29,58	8,595	34,38	30,08	8,65	1,18	10,19
3	Pasir	2~2,5	0,5	9,22	29,58	4,61	38,99	36,69	10,54	1,18	12,42
4	Pasir	2,5~9,4	6,9	9,52	30,71	65,69	104,68	71,83	20,88	16,256	339,40
5	Pasir	9,4~15	5,6	9,52	30,71	53,31	-	-	-	-	-

Total Qs = 362,01 kN

Chek L/D_b :

Gambar (3.22) → Tanah pasir lepas, dari tabel (3.8) diperoleh

$D_r = 20$ %, maka dari gambar (3.22) diperoleh

$$(L/D_b)_{\text{critis}} = 6 > (L/D_b) = (15/2,8) = 5,3$$

→ *shallow foundation*, gesekan kulit diabaikan (bab .3.6.3. sub1)

Jadi besarnya kapasitas tarik dihitung dengan persamaan 3.57, dan angka aman $F = 1,5.2,5 = 3,75$:

$$\begin{aligned}
 P_{au} &= 0,9 Wf + \left(\frac{\int_{L=0}^{L=L_u} As \cdot k \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta}{F} + \frac{P_{ub}}{F} \right) \\
 &= 0,9.207,82 + 0 + (2848,46 / 3,75) \\
 &= 945,889 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Kontribusi Ujung Tiang terhadap Kapasitas Tarik (P_{ub})

Kontribusi ujung tiang terhadap kapasitas tarik dari (P_{ub}) dengan

$$\text{persamaan 3.59 : } P_{ub} = (S_u \cdot B_q + q')(\pi/4)(D_b^2 - D_s^2)$$

Dengan $S_u = \text{Undrained shear strength tanah di atasnya} = 42 \text{ kN/m}^2$

$B_q = \text{break out factor}$ dengan persamaan 3.55

$$= 2(L/D_b - 0,5) \leq 9 \text{ (pada lempung)}$$

$$= 2(15/2,8 - 0,5) = 9 \rightarrow \text{dipakai} = 9$$

$q' = \text{tegangan efektif dengan mengabaikan sepanjang } 2 \cdot D_b$

($= 2 \cdot 2,8 = 5,6 \text{ m}$) dari ujung tiang.

sehingga q'_2 berubah menjadi :

$$= \Sigma h \cdot \gamma' = 1,25 \cdot 15,55 + 1 \cdot 5,3 + 6,9 \cdot 6,24 = 68,0235 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ub} = (42 \cdot 9 + 68,0235)(\pi/4)(2,8^2 - 0,75^2) = 2548,06 \text{ kN}$$

3. R = Faktor reduksi,

berlaku apabila rasio kedalaman- diameter ujung (L/D_b) < 6

$$R = (2 + \chi) / (3\chi) \quad (3.61)$$

$$\chi = (\alpha_{av} \cdot S_{u_{av}}) / q' > 1 \quad (3.62)$$

$\alpha' = \text{koefisien adhesi tiang bor untuk perhitungan tarik}$

$$\alpha' = 0,9 - 0,00625 \cdot C_u \rightarrow \text{(untuk } C_u \leq 80 \text{ kN/m}^2\text{)}$$

$$\alpha' = 0,4 \rightarrow \text{(untuk } C_u > 80 \text{ kN/m}^2\text{)}$$

$\alpha'_{av} = \text{rata-rata nilai } \alpha' \text{ sepanjang pondasi}$

$$= (1 \cdot 0,4 + 6,9 \cdot 0,75) / (1 + 6,9) = 0,724$$

$S_{u_{av}} = \text{rata-rata nilai } S_u \text{ sepanjang pondasi}$

$$= (1 \cdot 96 + 6,9 \cdot 42) / (1 + 6,9) = 50,16$$

Tabel (4.34) Kapasitas Tarik Tiang Bor Tunggal $D_s = 1.25$ m Pada Tanah Lempung

Keterangan: $D_s = 1.25$ m $15.D = 18.75$ m

No.	Tanah	Dalam	Tebal	γ (kN/m ³)	su (kN/m ²)	α	q' (kN/m ²)	$\Sigma q'$	As (m ²)	f_s	Q_s	ΣQ_s	pub (kN)	pau (kN)
1	lempung	0~1,25	1,25	15,55	-	-	19,4375	19,438	-	-	-	-	-	-
2	lempung	1,25~2,25	1	5,53	96	0,4	5,53	24,968	3,925	38,4	150,7	150,72	-	-
3	lempung	2,5~9,4	6,9	6,24	24	0,75	43,056	68,024	27,083	18	487,5	638,21	-	-
4	lempung	9,4~15	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1399,62	984,08

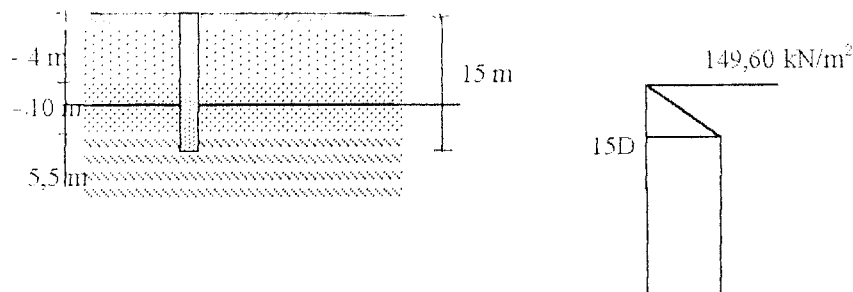
Tabel (4.35) Kapasitas Tarik Tiang Bor Tunggal $D_s = 1.50$ m Pada Tanah Lempung

Keterangan: $D_s = 1.50$ m $15.D = 22.5$ m

No.	Tanah	Dalam	Tebal	γ (kN/m ³)	su (kN/m ²)	α	q' (kN/m ²)	$\Sigma q'$	As (m ²)	f_s	Q_s	ΣQ_s	pub (kN)	pau (kN)
1	lempung	0~1,25	1,25	15,55	-	-	19,4375	19,438	-	-	-	-	-	-
2	lempung	1,25~2,25	1	5,53	96	0,4	5,53	24,968	4,71	38,4	180,9	180,86	-	-
3	lempung	2,5~9,4	6,9	6,24	24	0,75	43,056	68,024	32,499	18	585	765,85	-	-
4	lempung	9,4~15	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1246,34	1149,38

2. Daya dukung gesekan sepanjang badan tiang (*Skin Friction Pile*)

Lapisan tanah sampai dengan kedalaman 15 m terdiri atas tanah pasir dan tanah lempung (sesuai dengan gambar) maka rumus yang digunakan adalah rumus untuk tanah pasir dan tanah lempung sesuai dengan masing-masing lapisan. Perhitungan daya dukung gesek selimut (Q_s) pada tanah pasir dilakukan menjadi 2 bagian, karena nilai σ_v' untuk perhitungan daya dukung dianggap konstan setelah kedalaman $L' = 15.D$ (Meyerhoff).



Gambar 5.2. Pengambilan Nilai Tegangan Vertikal Efektif σ_v'

a) Lapisan 1 kedalaman 0-4 meter, merupakan lapisan lempung kelanauan.

Perhitungan untuk lapisan tanah 1 diperhitungkan setelah kedalaman 1,25 m (yaitu kedalaman pengaruh cuaca untuk tanah lempung) Berdasarkan substitusi persamaan (3.12) pada persamaan (3.11) daya dukung gesek selimut dapat dihitung :

Lapisan 1 mempunyai $\phi = 0$, maka :

$$S_u = c$$

$$S_u = 34 \text{ kN/m}^2$$

Dengan menggunakan metode α Untuk nilai $S_u = 34 \text{ kN/m}^2$, dari gambar (3.14) diperoleh $\alpha = 0,90$

maka tahanan friksinya:

luasannya dianggap sebagai bujur sangkar untuk σ_v' di bawah 15D:

$$\begin{aligned} f_{av} &= K \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta \\ &= (0,79 \cdot 162,8 \cdot \tan 9,6^\circ) \\ &= 21,77 \text{ kN} \end{aligned}$$

maka dari persamaan (3.11) nilai Q_s pada kedalaman (10,096-14 m) adalah:

$$\begin{aligned} Q_{s \text{ b3}} &= P.L. f_{av} \\ &= (\pi \cdot 0,4064) \cdot 3,904 \cdot 21,77 \\ &= 108,50 \text{ kN} \end{aligned}$$

c) Lapisan 3 kedalaman 14-15 meter, merupakan lapisan lanau lempung organik.

Berdasarkan substitusi persamaan (3.12) pada persamaan (3.11) daya dukung gesek selimut dapat dihitung :

Lapisan 3 mempunyai $\phi = 0$, maka :

$$\begin{aligned} S_u &= c \\ S_u &= 104,00 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan metode α untuk nilai $S_u = 104,00 \text{ kN/m}^2$, dari gambar(3.14) diperoleh

$$\alpha = 0,52$$

$$\begin{aligned} Q_{s \text{ c}} &= \alpha \cdot S_u \cdot A_p \\ &= 0,52 \cdot 104,00 \cdot 1,28 \\ &= 69,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

Setelah nilai di atas didapatkan, maka daya dukung ultimit dihitung dengan persamaan (3.1):

$$Q_{ult} = Q_p + Q_{s \text{ a}} + Q_{s \text{ b1}} + Q_{s \text{ b2}} + Q_{s \text{ b3}} + Q_{s \text{ c}}$$

$$= 121,68 + 107,46 + 41,5 + 16,9 + 108,5 + 69,06 = 465,5 \text{ kN}$$

diambil nilai SF = 2,5 (berdasarkan tabel (3.1)), sehingga Q_{all} didapatkan :

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_{ult} / SF \\ &= 465,5 / 2,5 \\ &= 186,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.3.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Nilai daya dukung untuk tiang kelompok didapatkan dari akumulasi daya dukung tiang tunggal sesuai dengan jumlah dalam satu kelompok. Beban yang bekerja (ΣQ_{all}) sebesar 200 t = 2000 kN. Untuk perhitungannya digunakan :

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{all} &= \Sigma \text{Tiang} \cdot Q_{all} \\ \Sigma \text{Tiang} &= 2000 / 186,2 \\ &= 10,74 \approx \text{dipakai 11 tiang} \end{aligned}$$

5.4 Perhitungan Kapasitas Tarik Tiang Pancang pada Tanah Campuran

Untuk menghitung kapasitas tarik pada tiang pancang kelompok dapat digunakan dua metode yaitu: 1) menjumlahkan kapasitas tarik dari masing-masing tiang pancang individual pada kelompok tiang, dan 2) tiang dengan memperhitungkan kontribusi berat efektif tanah.

Kedalaman tanah dari 0 – 4 m adalah lapisan tanah lempung, sementara tanah efektif (L_e) dimulai setelah kedalaman 1,25 m, sehingga $L_e = L - 1,25$. Untuk itu lapisan tanah 1 tidak diperhitungkan / diabaikan. Menurut Prakash

(1990) untuk perhitungan kapasitas tarik σ_v' dianggap konstan setelah kedalaman

$$15.D = 15 \cdot 0,4064 = 6,096 \text{ m}$$

Nilai FS untuk kapasitas tarik ditingkatkan 1,5, maka $FS_{nya} = 1,5 \cdot 2,5 = 3,75$

$$= (1/3.127,76.22,574 - 1/3.10,23,7,576).9,95$$

$$= 9312,15 \text{ kN}$$

$$P_{\text{uplift (All)}} = 9312,15 / (\text{SF}=3,75) = 2483,24 \text{ kN}$$

Nilai di atas masih ditambahkan dengan berat total *pile cap*

Dari metode a) dan metode b) dipilih yang terkecil (a) = 867,8 kN

Dengan perhitungan sesuai prosedur di atas, maka perhitungan untuk kapasitas tarik akan dilakukan untuk beberapa variasi sebagai berikut:

- Bentuk tiang yang divariasikan adalah bentuk bulat, segitiga, segiempat
- Diameter tiang yang divariasikan adalah 16", 20", dan 24"

Hasil perhitungan disusun dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Keterangan: Tiang Bulat D= 20"= 0,508 m Ap=0,203 m beban=2000kN Satuan: γ =kN/m³
 15.D= 7,52 m Wp= 73,08 kN P= 1,915 m Su=Ca= kN/m²

Tabel (5.2) Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Bentuk Bulat D= 20"= 0,508 m pada Tanah Campuran

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	Tanah	γ (kN/m ³)	$\bar{\sigma}'_v$ (kN/m ²)	ϕ / °	Tan δ	K	C (kN/m ²)	S_u (kN/m ²)	α	P.h (m ²)	n ^x q
0-1,25	1.250	1.250	lempung	16.40	-	-	-	1.00	34.00	34.00	0.90	-	-
1,25-4	2.750	4.000	lempung	16.40	45.10	-	-	1.00	34.00	34.00	0.90	4.40	-
4-8,5	4.500	8.500	pasir	14.00	108.10	12.00	0.17	0.79	-	-	-	7.20	4.50
8,5-11,52	3.020	11.520	pasir	9.95	138.15	12.00	0.17	0.79	-	-	-	4.83	4.50
11,52-14	2.480	14.000	pasir	9.95	162.83	12.00	0.17	0.79	-	-	-	3.97	4.50
14-15	1.000	15.000	lempung	7.02	169.85	-	-	1.00	104.00	104.00	0.52	1.60	-

Q _s (kN)	Q _p (kN)	Q _u (kN)	Q _u per lapis	Q _{al} (kN)	Jml tg
-	-	-	-	-	
134.64	62.12	196.76	258.88	103.55	
52.14	7.73	59.86	194.50	77.80	
44.72	7.73	52.44	239.22	95.69	
86.56	7.73	94.28	325.77	130.31	
86.53	190.01	276.54	594.59	237.83	8.41
				dipakai	9

Keterangan: Tiang Bulat D = 24" = 0,6096 m Ap = 0,292 m beban = 2000kN Satuan: $\gamma = \text{kN/m}^3$
 15D = 9,14m Wp = 105,12 kN P = 1,915 m Su = Ca = kN/m²

Tabel (5.3) Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Bentuk Bulat D = 24" = 0,6096 m pada Tanah Campuran

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	Tanah	γ (kN/m ³)	$\rho'v$ (kN/m ²)	ϕ	Tan δ	K	C (kN/m ²)	S_u (kN/m ²)	α	$p \cdot h$ (m ²)	$n \times q$
0-1,25	1,25	1,25	lempung	16,40	-	-	-	1,00	34,00	34,00	0,90	-	-
1,25-4	2,75	4,00	lempung	16,40	45,10	-	-	1,00	34,00	34,00	0,90	5,27	-
4-8,5	4,50	8,50	pasir	14,00	108,10	12,00	0,17	0,79	-	-	-	8,62	4,50
8,5-13,14	4,64	13,14	pasir	9,95	154,27	12,00	0,17	0,79	-	-	-	8,89	4,50
13,14-14	0,86	14,00	pasir	9,95	162,83	12,00	0,17	0,79	-	-	-	1,65	4,50
14-15	1,00	15,00	lempung	7,02	169,85	-	-	1,00	104,00	104,00	0,52	1,92	-

Q_s (kN)	Q_p (kN)	Q_u (kN)	Q_u per lapis	Q_{ult} (kN)	Jml tg
-	-	-	-	-	-
161,15	89,35	250,50	250,50	100,20	-
62,40	11,11	73,51	234,66	93,86	-
91,82	11,11	102,93	326,48	130,59	-
35,93	11,11	47,04	362,41	144,96	-
103,56	273,31	376,88	728,17	291,27	6,87
dipakai					7

Keterangan Tiang segiempat D = 16" = 0.4064 m $A_p = 0.165 \text{ m}^2$ beban = 2000 kN Satuan: $\gamma = \text{kN/m}^3$
 15 D = 6,096 m (pasir) $W_p = 59.4 \text{ kN}$ $P = 1.6256 \text{ m}$ $S_u = C_a = \text{kN/m}^2$

Tabel (S.7) Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Bentuk Segiempat D = 16" = 0.4064 m pada Tanah Campuran

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	Tanah	γ (kN/m ³)	$\sigma'v$ (kN/m ²)	ϕ	Tan δ	K	C (kN/m ²)	S_u (kN/m ²)	α	P.h (m ²)	n^*q
0-1,25	1.250	1.250	lempung	16.40	-	-	-	1.00	34.00	34.00	0.90	-	-
1,25-4	2.750	4.000	lempung	16.40	45.10	-	-	1.00	34.00	34.00	0.90	4.47	-
4-8,5	4.500	8.500	pasir	14.00	108.10	12.00	0.17	0.79	27.00	-	-	7.32	4.50
8,5-10,096	1.596	10.096	pasir	9.95	123.98	12.00	0.17	0.79	27.00	-	-	2.59	4.50
10,096-14	3.904	14.000	pasir	9.95	162.83	12.00	0.17	0.79	27.00	-	-	6.35	4.50
14-15	1.000	15.000	lempung	7.02	169.85	-	-	1.00	104.00	104.00	0.52	1.63	-

Q_s (kN)	Q_p (kN)	Q_u (kN)	Q_u per lapis	Q_{at} (kN)	Jml tg
-	-	-	-	-	-
136.79	50.49	187.28	187.28	74.91	
52.97	6.28	59.25	196.04	78.42	
21.55	6.28	27.83	217.59	87.04	
138.44	6.28	144.72	356.03	142.41	
87.91	154.44	242.35	592.10	236.84	8.444
				dipakai	9

jumlah tiang = 13

$\delta = 0.8 \cdot \phi$
beban = 2000kN

$A_p = 0,072 \text{ m}^2$
 $W_p = 25,92 \text{ kN}$

Keterangan: Tiang segitiga $D=16'' = 0,4064 \text{ m}$
 $P = 1,2192 \text{ m}$
15 D= 6,096m(pasir)

Tabel (5.13) Kapasitas Tarik Tiang Pancang Kelompok Bentuk Segitiga $D=16'' = 0,4064 \text{ m}$ pada Tanah Campuran

metode a

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	Tanah	γ (kN/m ³)	$\sigma'v$ (kN/m ²)	$\sigma'v \cdot h$	ϕ	Tan δ	Pall (kN)	P gall
0-1,25	1.250	1.250	lempung	16.40	-	-	-	-		
1,25-4	2.750	4.000	lempung	16.40	45.10	170.47				
4-8,5	4.500	8.500	pasir	14.00	63.00	278.96	12	0.141		
8,5-10,096	1.596	10.096	pasir	9.95	15.88	98.94	12	0.141		
10,096-14	3.904	14.000	pasir	9.95	38.84	484.02	12	0.141		
14-15	1.000	15.000	lempung	7.02	7.02	123.98	-	-		
					123.980	1,156.363			61.16	795.12

Metode b

Lg	bg	A1	A2	h2	h= h1+h2	Ws	P gall	terpakai
5.28	2.53	140.76	13.35	9.86	24.86	11,168.71	2,978.32	795.12

Keterangan: Tiang segiempat $D=20''=0,508\text{ m}$ $\delta=0,8\phi$ jumlah tiang =7
 $P=2,032\text{ m}$ $A_p=0,258\text{ m}$ $W_p=92,88\text{ kN}$ beban =2000kN $20b=10,16\text{ m}$ (pasir)
 $15D=7,52\text{m}$ (pasir)

Tabel (5.17) Kapasitas Tarik Tiang Pancang Kelompok Bentuk Segiempat $D=20''=0,508\text{ m}$ pada Tanah Campuran

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	Tanah	γ (kN/m ³)	$\sigma'v$ (kN/m ²)	$\sigma'v \cdot h$	ϕ	Tan δ	Pall (kN)	P gall	Metode a	
0-1,25	1.250	1.25	lempung	16.40	-	-	-	-				
1,25-4	2.750	4.00	lempung	16.40	45.10	189.95						
4-8,5	4.500	8.50	pasir	14.00	63.00	310.84	12	0.141				
8,5-11,52	3.020	11.52	pasir	9.95	30.05	208.60						
11,52-14	2.480	14.00	pasir	9.95	24.68	342.61	12	0.141				
14-15	1.000	15.00	lempung	7.02	7.02	138.15	-	-				
					138.149	1,190.2			153.3	1,073.3		

Metode b

Lg	bg	A1	A2	h2	h= h1+h2	Ws	P gall	terpakai
3.56	3.16	129.84	11.24	6.636	21.64	9,069.61	2,418.56	1,073.34

Keterangan: Tiang bulat D=16"

2.3Ks= 0.67 L' (m)= 6.096 Ap (m)= 0.13 P (m)= 1.277 Wp (kN)= 46.58

Tabel (S.28) Kapasitas Tarik Tiang Pancang Kelompok Bentuk Bulat D= 16" = 0.4064 m pada Tanah Pasir

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	tanah	γd (kN/m ³)	γb (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	φ	tanδ	σv' (kN/m ²)	σv'.Δl	Metode a		Metode b	
											Pall (kN)	Pgall	Pall (kN)	bg (m)
0-1,9	1.9	1.9	Pasir hls	15	17.8	9.4	29.6	0.4386	33.82	68.335				
1,9-2,5	0.6	2.5	Pasir hls	15	17.8	9.4	29.6	0.4386	5.64	21.58				
2,5-6,096	3.596	6.096	Pasir sdg	16.13	19.4	9.03	30.72	0.4573	32.47188	129.33				
6,096-15	8.904	15	Pasir sdg	16.13	19.4	9.03	30.72	0.4573	32.47188	640.48				
								Σσv' =	71.93188	859.73	136.287	954.01	2.51805	

Fs= 3.75 Jml tiang= 7 δ = 0,8.φ

lg (m)	A1(m ²)	A2(m ²)	h1(m)	h2(m)	h (m)	Ws (kN)	Pgall	Terpakai
2.8448	114.92231	7.1633612	15	5.308	20.308	6903.6338	1841	954.008

Keterangan: Tiang segitempat D=16" 2.3Ks= 0.67 L' (m)= 6.096 Ap (m)= 0.165 P (m)= 1.6256 Wp (kN)= 59.4

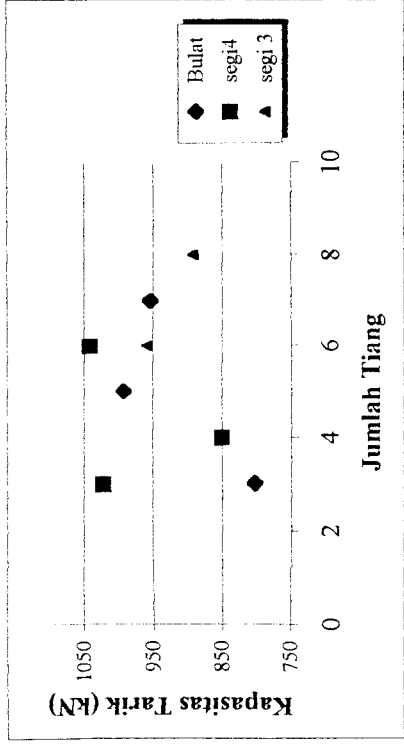
Tabel (5.3.4) Kapasitas Tarik Tiang Pancang Kelompok Bentuk Segitempat D= 16"= 0,4064 m pada Tanah Pasir

Kedalaman	h (m)	Σh (m)	tanah	γd (kN/m ³)	γb (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	φ	tanδ	σv' (kN/m ²)	σv'.ΔL	Metode a		Metode b	
											Pall (kN)	Pgall	Pall (kN)	Pgall
0-1,9	1.9	1.9	Pasir hls	15	17.8	9.4	29.6	0.4386	33.82	68.335				
1,9-2,5	0.6	2.5	Pasir hls	15	17.8	9.4	29.6	0.4386	5.64	21.58				
2,5-6,096	3.596	6.096	Pasir sdg	16.13	19.4	9.03	30.72	0.4573	32.47188	129.33				
6,096-15	8.904	15	Pasir sdg	16.13	19.4	9.03	30.72	0.4573	32.47188	640.48				
								Σσv'=	71.93188	859.73	173.5953	1041.6	1.6256	

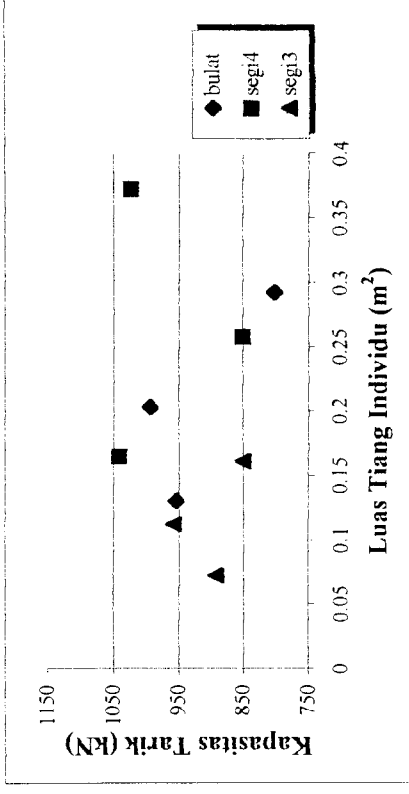
Fs= 3.75 Jml tiang= 6

δ = 0,8.φ

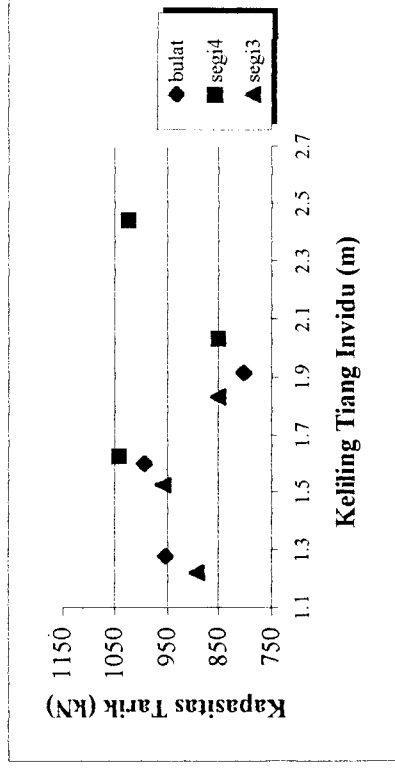
lg (m)	A1(m ²)	A2(m ²)	h1(m)	h2(m)	h (m)	Ws (kN)	Pgall	Terpakai
2.8448	105.208123	4.6245069	15	5.308	20.308	6350.9421	1693.6	1041.572



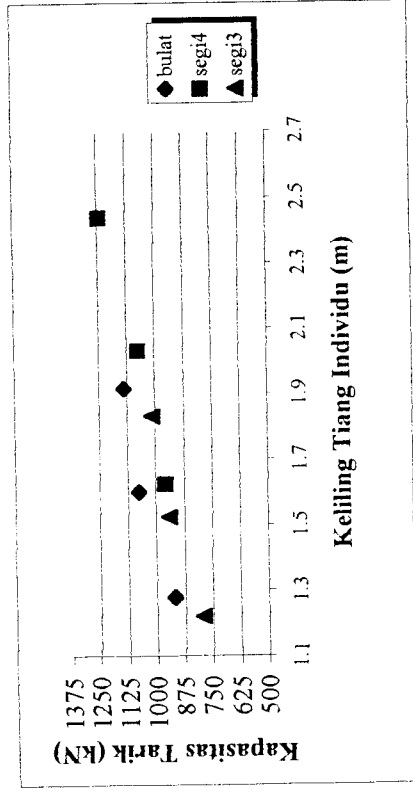
Gambar 6.8 Grafik Pengaruh Jumlah Tiang terhadap Kapasitas Tarik pada Tanah Lempung



Gambar 6.9 Grafik Pengaruh Luasan Tiang terhadap Kapasitas Tarik pada Tanah Lempung



Gambar 6.10 Grafik Pengaruh Keliling Tiang terhadap Kapasitas Tarik pada Tanah Lempung



Gambar 6.20 Grafik Pengaruh Keliling Tiang terhadap Kapasitas Tarik pada Tanah Campuran

5. Pemakaian angka keamanan (SF) yang tepat sangat diperlukan, yang mana hal tersebut bisa diperoleh dari rekomendasi yang terbaru dari praktisi.

DAFTAR PUSTAKA

- , 1987, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Bandung.
- , 1991, Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03), Penerbit Yayasan LPMB DPU, Bandung.
- , 1996, Penduan Praktikum Mekanika Tanah, Laboratorium Mekanika Tanah FTSP Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- AHMAD ANTONO, 1986, Teknologi Beton, Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- BOWLES J. E. 1983, 1991, Analisa dan Desain Pondasi (Jilid 1 dan 2) Penerbit Erlangga, Jakarta.
- BOWLES J.E., 1984, Physical and Geotechnical Properties of Soil, Mc Graw-Hill, Jepang
- CODUTO P. DONALD, 1994, Foundation Design: Principles and Practices, Penerbit Prentice Hall International, Inc. New Jersey, Amerika Serikat.
- DARUSLAN, 1994, Mekanika Tanah (Jilid I dan II), Penerbit KMTS UGM, Yogyakarta.
- DAS M. BRAJA, 1985, Advanced Soil Mechanics, Penerbit Mc Graw-Hill Book Co. Singapura.
- DAS M. BRAJA., 1990, Principles of Foundation Engineering, Penerbit PWS-KENT Publishing Company, Boston.

- DAS M. BRAJA., 1991, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) (Jilid 1 dan 2), Penerbit Erlangga, Jakarta.
- HARI CHISTADY H, 1996, Teknik Pondasi I, Penerbit Gramedia, Jakarta.
- ISTIMAWAN DIPOHUSODO, 1994, Struktur Beton Bertulang, Penerbit Gramedia, Jakarta.
- K. BASAH SURYOLELONO, 1994, Teknik Pondasi (Bagian I dan II), Penerbit Nafiri, Yogyakarta.
- NAKAZAWA KAZUTO, SUYONO SOSRODARSONO, 1980, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, P.T. Pradnya Paramita Jakarta.
- POULOS H.G., Davis. E. H., 1940, Pile Foundation Analysis Design, Penerbit John Willey and Sons, Inc, Canada.
- PRAKASH SHAMSHER, HARI D. SHARMA, 1989, Pile Foundation in Engineering Practice, Penerbit John Willey and Sons, Inc, Canada.
- SARJONO HS, 1988, Pondasi Tiang Pancang (Jilid 1 dan 2), Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.
- SUNGGONO, 1984, Mekanika Tanah, Penerbit Nova, Bandung.
- TERZAGHI K, PECK, 1994, Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa, Erlangga, Jakarta.
- WAYNE C. TENG, 1962, Foundation Design, Penerbit Prentice Hall of India.
- WESLEY LD, 1977, Mekanika Tanah, Badan Penerbit PU, Jakarta.

LAMPIRAN