

# PENGARUH PENGGUNAAN TIANG BOR DAN TIANG PANCANG TERHADAP BESARNYA PENURUNAN KONSOLIDASI PADA TANAH LEMPUNG

**Isnaniati**

Jurusan Teknik Sipil ,Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No.59 Surabaya, Telp 031-3811966  
Email: [isnaanto@yahoo.com](mailto:isnaanto@yahoo.com)

## Abstrak

*Tanah lempung umumnya mempunyai tanah keras yang letaknya jauh dibawah permukaan tanah . Bangunan yang didirikan diatas tanah lempung harus dikontrol terhadap besarnya penurunan konsolidasi, karena penurunan pada tanah ini proses pemampatannya membutuhkan waktu yang sangat lama dan besar. Pondasi tiang pancang dan tiang bor merupakan pondasi yang umum dipakai pada tanah lempung dan kedua pondasi ini mempunyai daya dukung friction yang berbeda sehingga perlu ditinjau pengaruhnya terhadap besarnya penurunan konsolidasi. Penelitian ini membahas tentang pengaruh tiang bor dan tiang pancang terhadap besarnya daya dukung ijin, jumlah tiang dalam group pile dan besarnya penurunan konsolidasi . Perhitungan memakai metode perhitungan berdasarkan data boring dan SPT yang ditulis oleh Meyerhoff dengan menggunakan dua data borlog(sample tanah daerah Surabaya Barat dari LAB MEKTAN ITS) dan diameter tiang 0,3 sd 0,6 m. Dari hasil perhitungan yang disajikan dalam bentuk grafik didapatkan , secara umum besar pemampatan pada derajad konsolidasi 90% diperoleh besar penurunan konsolidasi pada tiang pancang lebih besar dari besar penurunan pada tiang bor dengan perbedaan penurunan antara 0,03 sd 0,04 m.*

**Kata kunci:** daya dukung friction; group pile; SPT ; tiang bor ; tiang pancang

## Pendahuluan

Tanah lempung umumnya mempunyai tanah keras yang letaknya jauh dibawah permukaan tanah . Bangunan yang didirikan diatas tanah lempung harus dikontrol terhadap besarnya penurunan konsolidasi, karena penurunan pada tanah ini proses pemampatannya membutuhkan waktu yang sangat lama dan besar. Pondasi tiang pancang dan tiang bor merupakan pondasi yang umum dipakai pada tanah lempung dan kedua pondasi ini mempunyai daya dukung friction yang berbeda sehingga perlu ditinjau pengaruhnya terhadap besarnya penurunan konsolidasi. Penurunan atau pemampatan merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan pondasi terutama pondasi yang diletakkan diatas tanah lempung. Karena apabila hal ini tidak diperhatikan akan berakibat kegagalan struktur. Adapun syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pondasi adalah :

1. Dapat menjamin kedudukan konstruksi terhadap semua gaya yang bekerja padanya.
2. Tanah pendukungnya kuat sehingga tidak terjadi kehancuran geser.
3. Besarnya settlement atau penurunan dan differensial settlement masih dalam batas yang diijinkan.

Pondasi tiang adalah salah satu pondasi yang dapat digunakan untuk jenis tanah lempung. Menurut cara pelaksanaannya, pondasi tiang dilaksanakan dalam beberapa cara diantaranya dengan pengeboran tanah terlebih dahulu kemudian pengecoran yang disebut tiang bor, dan dengan cara pemancangan yang disebut tiang pancang (tiang precast). Untuk menentukan daya dukung tiang banyak rumusan statis, tetapi tidak semua rumusan memberikan hasil yang sama. Dalam penelitian ini akan dibahas perbandingan penggunaan pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor dengan menggunakan perhitungan N-SPT pada tanah daerah Surabaya Barat.

Tujuan dari penelitian tentang penggunaan pondasi tiang bor dan pondasi tiang pancang pada tanah lempung ini adalah sbb:

1. Mendapatkan besarnya daya dukung tanah yang paling besar antara antara pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor.
2. Mendapatkan jumlah tiang yang paling sedikit antara pondasi tiang dan pondasi tiang bor.

### Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang biasanya digunakan untuk mentransfer beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang dalam dimana dapat di capai daya dukung yang lebih baik. Dan dapat pula untuk digunakan menahan gaya angkat akibat gaya apung air tanah, menahan gaya lateral.

### Metode Konstruksi Pondasi Tiang Pancang

Cara pemancangan tiang sangat berpengaruh terhadap perilaku tiang. Pemancangan tiang umumnya mengikuti langkah berikut :

- Penentuan lokasi titik dimana tiang akan dipancang
- Pengangkatan tiang
- Pemeriksaan kelurusan tiang
- Pemukulan tiang dengan palu (hammer) atau cara hidrolik

### Keuntungan dan kerugian Pondasi Tiang Pancang

#### Keuntungan

- Bahan tiang dapat diperiksa sebelum pemancangan
- Prosedur pemancangan tidak dipengaruhi oleh air tanah
- Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam
- Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granuler

#### Kerugian

- Penggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah
- Tiang kadang-kadang rusak akibat pemancangan
- Pemancangan sulit, bila diameter tiang terlalu besar.
- Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan disekitarnya.
- Penulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada saat pengangkatan dan pemancangan tiang

### Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Daya dukung pondasi tiang pancang ditentukan oleh kemampuan material tiang untuk menahan beban (kapasitas struktural) atau daya dukung tanah dengan daya dukung terkecil yang lebih menentukan. Daya dukung pondasi tiang pancang dapat dihitung secara statis klasik, berdasarkan korelasi langsung dengan uji lapangan (in-situ test), dengan formula dinamik, (dari rekaman pemancangan), analisis perambatan gelombang, berdasarkan hasil pendongkrakan hidrolik, dan dengan pengujian dilapangan.

### Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Uji SPT :

Untuk jenis tanah dan jenis tiang yang berbeda, Meyerhoff (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang sebagai berikut :

$$Q_{ult} = 40 \cdot N_b \cdot A_p + 0.2 \cdot N \cdot A_s \quad (1)$$

Dimana :

- $Q_{ult}$  : daya dukung ultimit pondasi tiang pancang (ton)
- $N_b$  : nilai  $N_{SPT}$  pada elevasi dasar tiang
- $A_p$  : luas penampang dasar tiang ( $m^2$ )
- $A_s$  : luas selimut tiang ( $m^2$ )
- $N$  : nilai  $N_{SPT}$  rata-rata sepanjang tiang

Harga batas  $N_b$  sebesar 40 sedangkan harga batas  $0.2N$  adalah 10 ton/ $m^2$ .

### Faktor Koreksi

Harga  $N$  dibawah muka air harus dikoreksi menjadi  $N'$  berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0.5 (N - 15) \quad (2)$$

Dimana ,

$N$ : Jumlah pukulan kenyataan dilapangan dibawah muka air tanah.

### Daya Dukung Ijin Tiang ( $Q_{ijin}$ )

Menentukan daya dukung ijin tiang ( $Q_{ijin}$  ) dilakukan dengan membagi daya dukung ultimit dengan faktor keamanan ( Tomlinson) sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (3)$$

Nilai angka keamanan (SF), untuk pondasi adalah 2 s/d 4 (menurut beberapa ahli) sedangkan untuk tiang pancang min 2.5 (Tomlinson), hal ini dilakukan untuk mengantisipasi adanya variasi lapisan tanah.

### **Pondasi Tiang Bor (Bored Pile)**

Pondasi tiang bor adalah pondasi yang dipasang kedalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Kemajuan-kemajuan telah diperoleh terhadap informasi mengenai perilaku pondasi tiang bor dengan adanya instrumentasi pada tiang bor yang diuji. Pondasi tiang bor mempunyai karakteristik khusus karena cara pelaksanaannya yang dapat mengakibatkan perbedaan perilakunya di bawah pembebanan dibandingkan dengan tiang pancang.

### **Penggunaan Pondasi Tiang Bor**

Kedalaman dan diameter dari tiang bor dapat divariasikan dengan mudah, maka jenis pondasi ini dapat dipakai untuk beban ringan maupun untuk struktur berat seperti bangunan bertingkat tinggi dan jembatan. Pemakaian tiang bor semakin luas, diantaranya :

- a. Pondasi jembatan
- b. Pondasi menara tinggi.
- c. Pondasi fasilitas dok
- d. Pondasi bangunan ringan pada tanah lunak.
- e. Sebagai barisan tiang atau soldier piles untuk meningkatkan stabilitas lereng atau sebagai dinding penahan tanah .
- f. Pondasi bangunan tinggi dan struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar, dan lain-lain.

### **Keuntungan dan kerugian**

#### **Keuntungan**

1. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
4. Tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran diujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak.
5. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

#### **Kerugian**

1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir

### **Daya Dukung Pondasi Tiang Bor.**

Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Berdasarkan Uji SPT :

Tiang bor merupakan tiang dengan desakan tanah yang kecil. Untuk jenis tanah dan jenis tiang yang berbeda, Meyerhoff (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang bor diambil separuh dari daya dukung selimut tiang pancang sehingga besarnya daya dukung ultimit untuk tiang bor sbb: sebagai berikut :

$$Q_{ult} = 40 \cdot N_b \cdot A_p + 0.1 \cdot N \cdot A_s \quad (4)$$

Dimana,

$Q_{ult}$ : daya dukung ultimit pondasi tiang bor (ton)

$N_b$  : nilai  $N_{SPT}$  pada elevasi dasar tiang

$A_p$  : luas penampang dasar tiang ( $m^2$ )

$A_s$  : luas selimut tiang ( $m^2$ )

$N$  : nilai  $N_{SPT}$  rata-rata sepanjang tiang

Harga batas  $N_b$  sebesar 40 sedangkan harga batas  $0.2N$  adalah  $10 \text{ ton}/m^2$ .

### **Faktor Koreksi**

Harga  $N$  dibawah muka air harus dikoreksi menjadi  $N'$  berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0.5 (N - 15) \quad (5)$$

Dimana :

$N$  = Jumlah pukulan kenyataan dilapangan untuk dibawah muka air tanah.

### Daya Dukung Ijin Tiang ( Qijin )

Penentuan daya dukung tiang ijin ( Qijin ) dilakukan dengan membagi daya dukung ultimit dengan faktor keamanan seperti telah ditentukan atau dengan menggunakan anjuran Tomlinson sebagai berikut

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (6)$$

Nilai angka keamanan untuk pondasi dalam menurut beberapa ahli berkisar antara 2 sampai dengan 4. Sedangkan Tomlinson merekomendasikan angka keamanan minimal untuk tiang pancang adalah 2.5, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi adanya variasi lapisan tanah.

### Kelompok Tiang

Meskipun pada tiang yang menerima beban ringan dapat digunakan pondasi tiang tunggal untuk memikul beban kolom atau beban struktur, namun pada umumnya banyak digunakan kelompok tiang. Pada sistem kelompok tiang, baik pada ujung maupun pada keliling tiang akan terjadi overlapping pada daerah yang mengalami tegangan-tegangan akibat beban kerja struktur

Berdasarkan pada perhitungan, maka daya dukung tanah oleh Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L, disyaratkan :

$$S \geq 2,5 \cdot D$$

$$S \leq 3 \cdot D$$

Dimana:

S : Jarak antar tiang dalam kelompok (m)

D : Diameter tiang (m)

### Kelompok Tiang Yang Menerima Beban Normal dan Momen Yang Bekerja Pada Dua arah.

Untuk kelompok tiang dengan kondisi seperti diatas akan menerima beban maximum sbb :

$$Q_{max} = \frac{\Sigma V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\Sigma Y^2} \quad (7)$$

$$\Sigma V = V_1 + V_2 \quad (8)$$

$$V_2 = \text{Luas poer} \times t \times \gamma_{\text{beton}} \quad (9)$$

$$n = \frac{\Sigma V}{Q_{ijin}} \quad (10)$$

Dimana :

Q<sub>max</sub> : Beban max yang diterima oleh tiang pancang (ton)

ΣV : Jumlah total beban normal (ton)

V<sub>1</sub> : Beban luar / vertikal yang bekerja (ton)

V<sub>2</sub> : Berat poer (ton)

n : Banyaknya tiang dalam dalam kelompok (pile group)

Q<sub>ijin</sub> : Daya dukung ijin satu tiang (ton)

M<sub>y</sub> : Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y (ton.m)

M<sub>x</sub> : Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x (ton.m)

X<sub>max</sub> : Absis terjauh tiang terhadap titik berat ke kelompok tiang (m)

Y<sub>max</sub> : Ordinat terjauh tiang terhadap titik berat ke kelompok tiang (m)

ΣX<sup>2</sup> : Jumlah kuadrat absis-absis tiang (m<sup>2</sup>)

ΣY<sup>2</sup> : Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang (m<sup>2</sup>)

### Effisiensi Kelompok Tiang (η)

Untuk menentukan jumlah effisiensi kelompok tiang berdasarkan (AASHO).

$$\eta = 1 - \frac{\phi}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right\} \quad (11)$$

Dimana :

m: Jumlah baris

n: Jumlah tiang dalam satu baris

φ: arctan D/S (derajat)

D : Diameter Tiang (m)

S : Jarak antar tiang (jarak as tiang – as tiang )

### Kontrol Beban Maksimum Terhadap Daya Dukung Ijin Tiang

$$\frac{Q_{\max}}{\eta} \leq Q_{\text{ijin}} \quad (12)$$

Dimana :

$Q_{\max}$  : beban maksimum yang diterima oleh tiang pancang (ton)

$Q_{\text{ijin}}$  : Daya dukung ijin satu tiang (ton)

$\eta$  : Effisiensi tiang

### Penurunan Tiang

Penambahan beban diatas suatu permukaan tanah akan dapat menyebabkan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Penurunan pondasi tiang pada tanah kohesif terdiri atas dua komponen, yaitu :

- Penurunan seketika/segera (immediate settlement) adalah penurunan akibat deformasi tanahtanpa adanya perubahan kadar air.
- Penurunan konsolidasi (Consolidation settlement) adalah penurunan yang terjadi akibat hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat keluarnya air pori dari dalam tanah. Penurunan ini merupakan deformasi sebagai fungsi waktu.

Penurunan konsolidasi dalam kelompok tiang group dianalisa oleh Terzaghi, dengan anggapan sebagai berikut :

- Kelompok tiang mendekati sebagai blok.
- Beban ditransfer ke suatu "equivalent shallow foundation" pada suatu kedalaman.
- Penurunan ditentukan oleh lapisan tanah di bawah "equivalent shallow foundation".

Tahapan Perhitungan Penurunan Konsolidasi untuk Tanah Normally Consolidation :

- Menghitung besarnya penambahan beban ( $\Delta\sigma$ )

$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{(B+z).(L+z)} \quad (13)$$

Dimana :

$\Delta\sigma$  : Peningkatan tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja (ton/m<sup>2</sup>)

P : Beban luar yang bekerja (ton)

A : Luas penyebaran (m<sup>2</sup>)

B : Lebar poer arah sumbu x (m)

L : Lebar poer arah sumbu y (m)

z: Kedalaman penyebaran teganganyang semakin mengecil (m).

- Tegangan efektif awal ( $\sigma_v'$ ) setiap lapisan tanah

$$(\sigma_v') = (h_1 + z) \cdot (\gamma_{\text{tanah}} - \gamma_{\text{air}}) \quad (14)$$

$$(\sigma_v') = (h_1 + \frac{1}{2} \cdot H_1) (\gamma_{\text{tanah}} - \gamma_{\text{air}}). \quad (15)$$

Dimana :

$\sigma_v'$  : Tegangan efektif awal (ton/m<sup>2</sup>)

$h_1$ : Tebal setiap lapisan tanah (m)

$H_1$ : Tebal setiap lapisan tanah saat mulai penyebaran tegangan (m)

$\gamma_{\text{tanah}}$ : Berat jenis tanah (1 ton/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{\text{air}}$ : Berat jenis air = 1 ton/m<sup>3</sup>

- Penurunan konsolidasi ( $S_c$ )

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, digunakan persamaan:

$$S_c = \Sigma \left[ C_c \frac{H_1}{1 + e_o} \cdot \log \frac{\sigma_v' + \Delta\sigma}{\sigma_v'} \right] \quad (16)$$

Dimana:

$S_c$  : Penurunan konsolidasi pada derajat konsolidasi (U)90%.....m

$C_c$  : Compression index

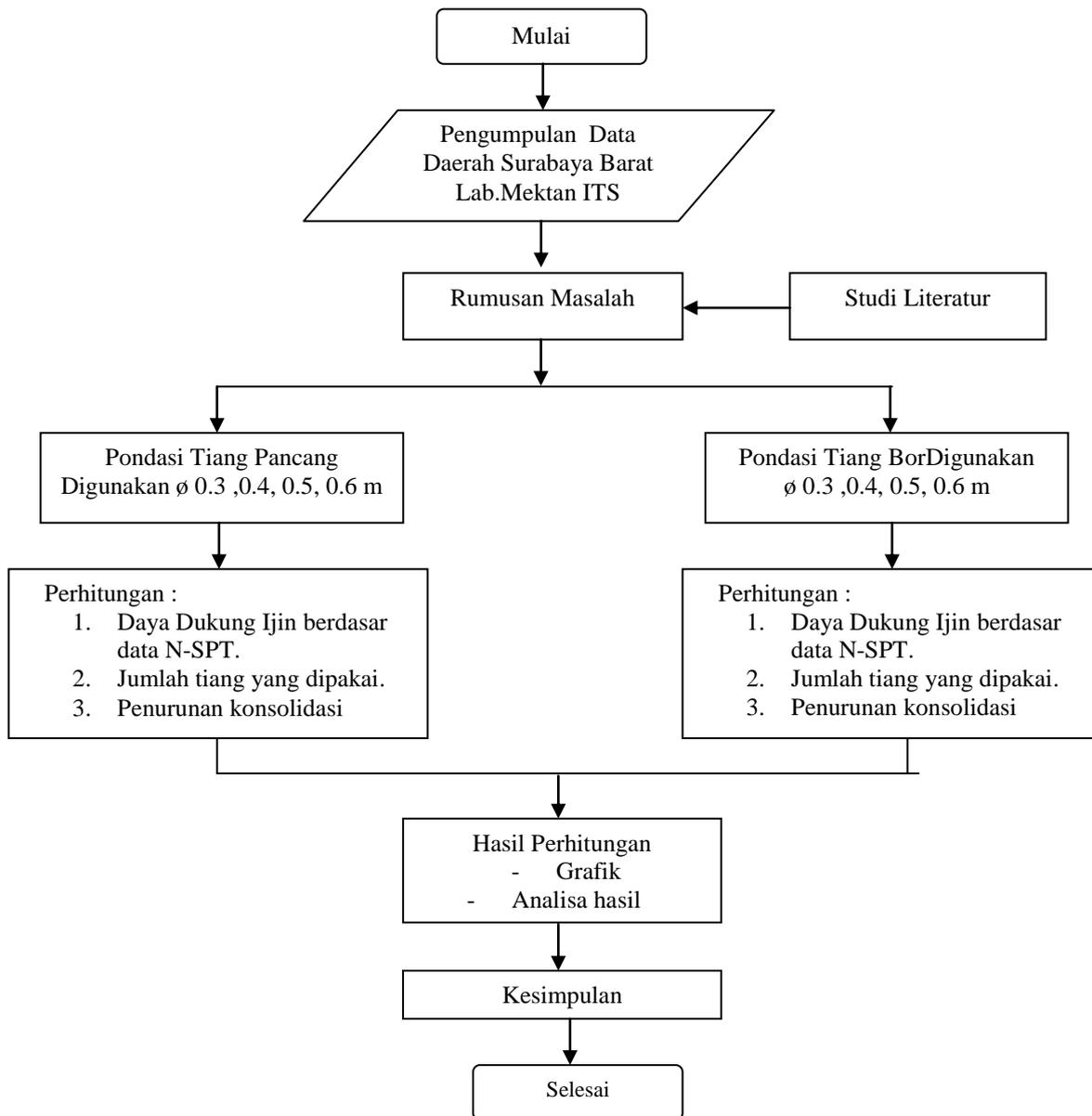
$e_o$ : angka pori awal

$\sigma_v'$ : Tegangan efektif awal (ton/m<sup>2</sup>)

$\Delta\sigma$  : peningkatan tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja (ton/m<sup>2</sup>)

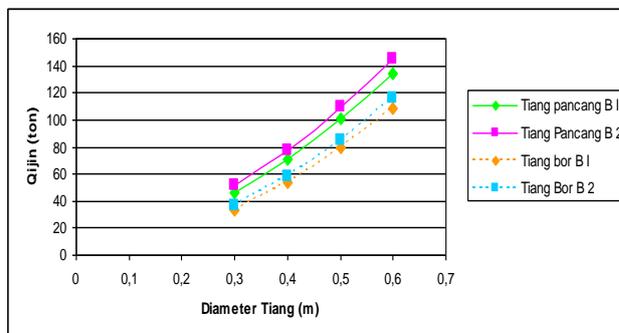
### Metodologi

Untuk memilih pondasi yang paling tepat antara pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor pada tanah lempung, pada penelitian ini digunakan variasi diameter penampang tiang 0.3m, 0.4m, 0.5m, dan 0.6m serta borlog I dan II dengan data sample tanah daerah Surabaya Barat yang diambil dari LAB MEKTAN ITS dengan urutan metodologi seperti ditunjukkan dalam flowchart sebagai berikut:



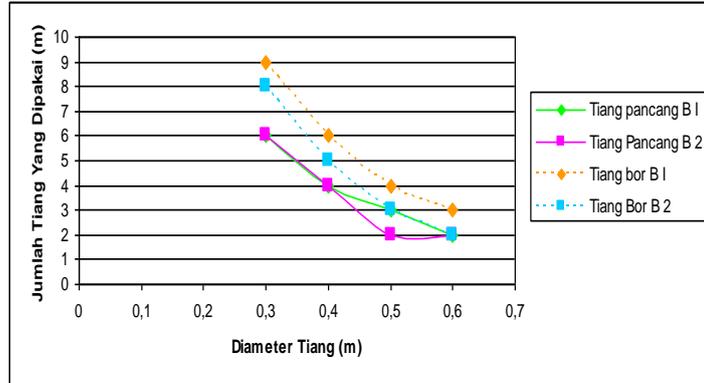
Gambar 1. Alur penelitian

**Analisis dan Pembahasan**



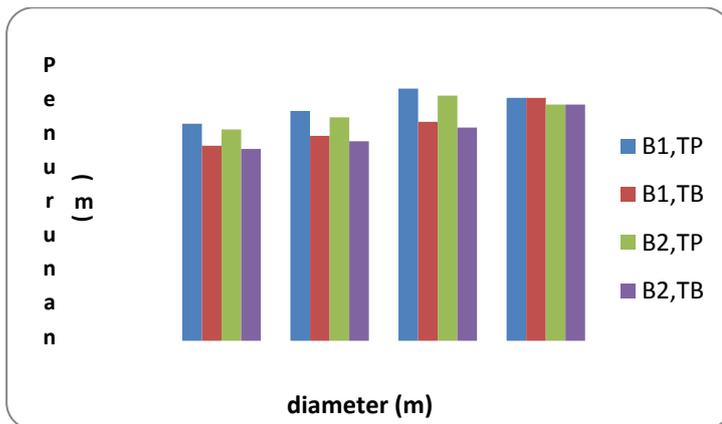
Gambar 2. Grafik hubungan antar diameter tiang Vs Qijin

Pada Gambar2. Terlihat bahwa pada semua diameter yang sama (  $D= 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 \text{ m}$  ), besarnya daya dukung ijin ( $Q_{ijin}$ ) pada tiang pancang BI & BII (Borlog I & Borlog II)  $>$   $Q_{ijin}$  pada tiang bor (BI & BII), hal ini dikarenakan pada tiang pancang besarnya gesekan selimut tiang/ friction ( $f_s$ ) 2 kali lebih besar dari gesekan selimut tiang pada tiang bor.



Gambar 3. Grafik hubungan antara diameter tiang Vs Jumlah tiang yang dipakai

Pada Gambar 3, terlihat bahwa pada semua diameter yang sama (  $D= 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 \text{ m}$  ), jumlah tiang pada tiang pancang pada (BI & BII)  $<$  dari jumlah tiang pada tiang bor (BI & BII) , hal ini dikarenakan besarnya  $Q_{ijin}$  pada tiang pancang  $>$   $Q_{ijin}$  pada tiang bor.



Gbr 4. Grafik hubungan antara diameter tiang Vs Penurunan Konsolidasi

Pada Gambar 4 tampak secara umum pada semua diameter yang sama borlog (B1 & B2) penurunan konsolidasi pada tiang pancang  $>$  penurunan konsolidasi pada tiang bor, hal ini dikarenakan jumlah tiang pada tiang pancang  $<$  jumlah tiang pada tiang bor , sehingga ukuran pile cap pada tiang pancang  $<$  ukuran pile cap pada tiang bor. Hal ini juga berakibat pada penambahan tegangan ( $\Delta\sigma$ ) pada tiang pancang  $>$   $\Delta\sigma$  pada tiang bor , sehingga berakibat penurunan konsolidasi pada ( $S_c$ ) pada tiang pancang  $>$   $S_c$  pada tiang bor.

**Kesimpulan**

1. Besarnya daya dukung ijin tiang pancang sekitar 1,5 kali lebih besar dari daya dukung ijin tiang bor .
2. Jumlah tiang dalam satu grup pada tiang pancang sekitar 0,71 kali lebih kecil dari jumlah tiang pada tiang bor.
3. Besarnya penurunan konsolidasi pada derajat konsolidasi 90% umumnya untuk tiang pancang lebih besar dari besar penurunan pada tiang bor dengan perbedaan penurunan 0,03 sd 0,04 meter.

**Daftar Pustaka**

- Bowles, Joseph. E, 1986, "*Foundation Analysis and Design*", McGraw-Hill, Inc, New York.
- Das, Braja M, 1998, "*Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*", Diterjemahkan oleh Noor Endah B. Mochtar, dan Indrasurya, Penerbit Erlangga Jakarta, jilid 1&2.
- Das, Braja M, 1980, "*Advanced Soil Mechanics*", Mc.Graw – Book Company New York.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003 "*Teknik Fondasi II.*" Edisi Kedua, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- LH, Shirley. 1994. "*Geoteknik dan Mekanika Tanah.*" Penerbit Nova, Bandung.
- Nakazawa, Kazuto et al, 1980, "*Mekanika dan Teknik Pondasi*", Diterjemahkan oleh Taulu .L, Penerbit PT.Pradnya Paramita.
- Raharjo, Paulus P, 2003, "Penyelidikan Tanah untuk Desain dan Analisis Pondasi Dalam", *Proceeding Seminar Geoteknik*, Testana Engineering Surabaya, pp. 1-22
- Wahyudi, Herman. 1999. "*Daya Dukung Pondasi Dalam*". Penerbit Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Wahyudi, Herman. 2005. "Pengaruh Pemancangan Tiang Pondasi Pada Lapisan Tanah Lempung di Sekitarnya". *Proceedings Seminar Nasional Geoteknik*, Universitas Parahyangan, Bandung.