

## **CONFINING PRESSURE TIANG MERUNCING PADA TANAH LEMPUNG DENGAN VARIASI OVERBURDEN**

Oleh:

Heru Dwi Jatmoko

Dosen Tetap Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Purworejo

Email: heru\_dj@yahoo.com

**ABSTRAK:** Keruncingan tiang adalah parameter yang belum banyak dipelajari terhadap peningkatan kapasitas dukungnya. Perilaku distribusi gaya yang terjadi disepanjang tiang merupakan satu hal yang penting. Penelitian dilakukan dengan tiang berukuran kecil berbentuk meruncing dan seragam sebagai pembandingan. Ukuran tiang meruncing diameter atas 5 cm dan bawah 4 cm sedang untuk tiang seragam berdiameter luar 4,5 cm masing-masing dengan panjang efektif 20 cm serta ketebalan tiang 0,3 cm. Sebagai batasan tanah uji pengujian dilakukan di dalam mould dengan diameter 30 cm. Untuk mengetahui perilaku distribusi gaya maka dipasang strain gauge pada tiang dan mould dengan 3 posisi. Media tanah digunakan tanah asli, lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (CH) yang diambil dari Desa Kedung Sari, Sentolo, Kulonprogo, DIY, yang dijenuhkan pada berat volume kering,  $\gamma_d = 10,9 \text{ kN/m}^3$  dan kadar air,  $w = 52\%$ . Untuk mengkondisikan kedalaman tiang tanah diberikan tekanan vertikal,  $\sigma_v$  sebesar  $163 \text{ kN/m}^2$ ,  $326 \text{ kN/m}^2$  dan  $489 \text{ kN/m}^2$ . Setelah tiang diposisikan dan tanah dimasukkan dalam mould pengujian geser dilakukan sampai runtuh. Analisa dilakukan tentang perilaku distribusi gaya dan displacement Hasil pengujian menunjukkan dengan bertambahnya takanan vertikal, confining pressure akan naik, pada tiang seragam diperoleh tekanan confining pressure lebih besar dari tiang meruncing. Saat uji geser (P) akan terjadi peningkatan confining pressure, walaupun pada awalnya cofining pressure pada tiang meruncing lebih kecil namun dengan bertambahnya gaya gesek (P) akan terjadi peningkatan lebih besar sehingga melebihi confining pressure pada tiang seragam, hal ini terjadi karena proses pemampatan akibat keruncingan tiang.

**Kata Kunci:** Confining pressure, overburden, Tanah Kohesif, Tiang Meruncing

**ABSTRACT:** Sharped Pile is parameters that have not been much studied for capacity building supports. Distribution behaviors that occur along the pile type is one thing that is important. Research conducted with small pillar shaped tapered and uniform as a comparison. Pole top diameter size tapered 5 cm and bottom 4 cm are uniform in diameter out to a pole 4,5 cm each with the effective length of 20 cm and a thickness of 0.3 cm pole as a limitation of land test test done in the mould with a diameter of 30 cm. to know the distribution behavior of strain gauge force then mounted on poles and mould with 3 position. Media land used the original land, an organic clays with high plasticity (CH) taken from the village of Paul Sari, Sentolo, Kulon Progo, DIY, which saturated on weight dry volume,  $\gamma_d = 10,9 \text{ kN/m}^3$  and water content,  $w = 52\%$ . To condition of depth pile, soil given pressure vertically  $\sigma_v$  as  $163 \text{ kN/m}^2$ ;  $326 \text{ kN/m}^2$  and  $489 \text{ kN/m}^2$ . After Pile on position, has to be included in the land and mould retractable testing be performed up to come tumbling down. Do analysis about the behavior of the distribution of styles and displacement test results showing pressure increasing with the vertical axis, confining pressure will go up, obtained by pressure on the gallows uniform confining pressure greater than Sharped Pile. When the Shear observation (P) there will be increasing confining pressure, although initially cofining pressure on the sharped pile smaller but with the extension of the Friction Forced (P) there will

*be increasing bigger and exceed confining pressure on the Pile of Uniform, this happens because the process of solid sharpening due to the sharpened pile.*

**Keyword:** *Confining pressure, overburden, cohesive soil, Sharpened Pile*

## LATAR BELAKANG

Kapasitas dukung dukung fondasi tiang berasal dari dua tinjauan yang berbeda yaitu tahanan ujung tiang (*point bearing piles*) dan tahanan gesek tiang-tanah (*friction piles*). Fondasi tiang dengan tekanan *overburden* pada tanah sekitar akan mengakibatkan *confining pressure* pada tiang yang bekerja kearah lateral. Akibat *overburden* juga akan mengakibatkan tahanan ujung meningkat. Dari dua komponen ini fondasi tiang akan mempunyai kapasitas dukung tiang lebih tinggi.

Suwono (2004) melaporkan bahwa koefisien gesek tanah kelempungan terhadap sesuatu permukaan bahan mempunyai hubungan yang unik dengan index plastisitas tanahnya. Penentuan hambatan lekat tanah terhadap suatu tiang fondasi berdasarkan koefisien gesek akan lebih mendekati nilai sebenarnya bilamana diketahui riwayat tegangan tanah serta *index properties*-nya.

Supardi (2006) hasil pengujian yang dilakukan pada pasir dengan gradasi buruk diperoleh hasil bahwa akibat diameter tiang yang meruncing, *F<sub>w</sub>* tidak terus bertambah dengan bertambahnya tekanan *overburden*, nilai *F<sub>w</sub>* dengan tekanan *overburden* 180 kN/m<sup>2</sup>, 360 kN/m<sup>2</sup> dan 540 kN/m<sup>2</sup> berkisar antara 1,21 - 1,58. Kenaikan tahanan gesek satuan pada tiang dipengaruhi oleh penambahan tekanan lateral (*confining pressure*).

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang mempunyai ukuran kurang dari 0,002 mm (=2 mikron) (Das, 1995). Hal ini disebabkan karena terjadinya proses kimiawi yang mengubah susunan mineral batuan asalnya yang disebabkan oleh air yang mengandung asam atau *alkali*, *oksigen* dan *karbondioksida*. Ditinjau dari segi mineralnya lempung didefinisikan sebagai tanah yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila tanah tersebut dicampur dengan air. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari *silika tetrahedra* dan *aluminium oktahedra*. *Silika* dan *aluminium* secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi *isomorf*.

## TINJAUAN PUTAKA

Menurut Hardiyatmo (2002d) fondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan apabila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Fondasi tiang juga dapat digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk menahan gaya-gaya lateral yang diakibatkan oleh gaya-gaya horisontal.

Susunan tanah terdiri atas butiran padat dan rongga pori. Pada tanah tak jenuh rongga pori akan terisi air dan udara, sedangkan tanah dalam keadaan jenuh maka seluruh pori - pori tanah akan terisi oleh air. Dua kondisi ini

akan mempunyai perilaku yang sangat berbeda pada tanah lempung.

Derajat kejenuhan ( $S$ ) didefinisikan sebagai parameter tanah untuk mengukur tingkat kejenuhan dimana pengendali utama dari derajat kejenuhan ini adalah kadar air ( $w$ ) dan berat volume kering tanah ( $\gamma_d$ ). Tanah jenuh sempurna dapat didefinisikan sebagai kondisi batas maksimum ( $S=1$ ) seluruh rongga tanah telah terisi oleh air. Pada kondisi ini berat volume dalam keadaan *zero air void* ( $\gamma_{sav}$ ) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma_{sav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s} \quad (1)$$

### 1) Sifat mekanis tanah

Tahanan gesek satuan adalah gaya yang mampu ditahan oleh satu satuan luas bidang kontak, sebagai reaksi terhadap beban kerja aksial ( $P$ ) yang ditahan :

- 1) Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- 2) Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Mohr (1910) dalam Das (1995) mengatakan keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan

tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \quad (2.2)$$

dengan :

$\tau$  : tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*)

$\sigma$  : tegangan normal pada saat kondisi runtuh atau gagal (*failure*)

Kekuatan geser tanah ( $\tau$ ) disuatu titik pada suatu bidang tertentu dikemukakan oleh Coulomb (1776) dalam Hardiyatmo (2002a) sebagai :

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \alpha \quad (2.3)$$

dengan :

$\tau$  : kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  : kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\alpha$  : sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek *internal* (...°)

$\sigma$  : tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)

### 2) Sifat – sifat tanah lempung dipadatkan

Salah satu pengaruh dari pemadatan tanah adalah terjadinya perubahan sifat – sifat fisis tanah kuat geser, permeabilitas dan berat volume tanah kering. Secara teknis sifat - sifat tanah lempung setelah pemadatan tergantung dari cara atau usaha pemadatan, jenis tanah dan kadar airnya. Pemadatan pada tanah lempung yang dilakukan menunjukkan bahwa pemadatan pada sisi kering optimum susunan tanah tidak akan tergantung pada macam pemadatannya. (Seed dan Chan, 1959). Pemadatan pada kadar air basah optimum

akan mempengaruhi susunan, kuat geser serta sifat kemampatan.

### 3) Fondasi tiang pada tanah lempung

Kapasitas dukung *ultimate* fondasi tiang pada tanah *kohesif* adalah jumlah tahanan gesek dinding dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek tiang tergantung dari bahan dan bentuk tiang. Umumnya bila tanah homogen tahanan gesek dinding tiang yang berupa *adhesi* antara dinding tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya.

Perhitungan kapasitas dukung tiang pada tanah lempung dilakukan pada tinjauan analisis tegangan total atau digunakan kuat geser *undrainasi* (*cu*) dengan  $\phi_u = 0$ . Parameter kuat geser tanah dapat diperoleh dari uji tri aksial atau uji tekan bebas.

### 4) Tahanan gesek dinding ultimit

Tinjauan kapasitas gesek tiang pada tanah kohesif maka persamaan tahanan gesek tiang adalah :

$$Q_s = c_d \cdot A_s \quad (2.4)$$

Dengan,

$Q_s$  = tahanan gesek dinding ultimit (kN)

$c_d$  = adhesi antara dinding dan tanah disekitar tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$A_s$  = luas selimut tiang (m<sup>2</sup>)

Adhesi antara dinding tiang dan tanah didefinisikan sebagai :

$$c_d = a_d \cdot c_u \quad (2.5)$$

Dengan  $a_d$  adalah factor *adhesi* dan  $c_u$  adalah kohesi tak terdrainasi.

### 5) Faktor Keruncingan Dan Kapasitas Dukung Tiang

Keruncingan pada tiang akan dapat meningkatkan kapasitas dukung tiang, hal ini terjadi karena sebagian luas tampang tiang yang terdistribusikan menjadi tahanan gesek tiang. Penelitian yang telah dilakukan akibat keruncingan pada tiang maka akan meningkatkan daya dukung tiang sebesar  $F_w = 1,2$  dibandingkan dengan tiang yang polos pada tanah kohesif (Simons dan Menzies, 1977) dalam Hardiyatmo (2002d), sehingga persamaan tahanan gesek ultimit tiang untuk tiang dengan diameter tidak seragam (meruncing), adalah :

$$Q_s = F_w \cdot a_d \cdot c_u \cdot A_s \quad (2.6)$$

Dengan,

$F_w$  = Faktor pengali terhadap tahanan gesek tiang meruncing, yang besarnya 1 untuk tiang berdiameter seragam dan 1,2 untuk tiang berdiameter meruncing.

Faktor *adhesi* antar tiang pancang dengan tanah (*ad*) kondisinya pada tanah lempung lunak akan mendekati 1, namun untuk lempung kaku diperoleh nilai yang berbeda – beda tergantung dari celah yang terbentuk saat pemancangan tiang. Hal tersebut berdasar dari penelitian yang telah dilakukan oleh Peck (1958) Woodward, Nordlund, Boitona (1961) dalam Hardiyatmo (2002d). Pada tanah lempung lunak dan lanau lunak sangat sensitif terhadap pengaruh perubahan bentuk akibat pemancangan tiang. Sehingga tergantung dari tingkat sensitifitas lempung maka kuat gesernya akan turun pada daerah disekitar tiang berkibat pada menurunnya tahanan gesek tiang Hardiyatmo (2002d).

## METODE PENELITIAN

### A. Bahan

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan bahan sebagai berikut:

- 1). Tanah lempung hitam diambil dari Desa Kedung Sari, Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 2). Fondasi tiang baja mini dengan ketebalan 3 mm, diameter 5 cm pada ujung atas dan 4 cm pada ujung bawah serta dengan tinggi *interface* 20 cm.
- 3). Fondasi tiang baja mini dengan ketebalan 3 mm, diameter seragam 4,5 cm dengan tinggi *interface* 20 cm.
- 4). Bahan baja yang digunakan adalah baja mutu Bj-41.
- 5). Air dari laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada

### B. Alat

Dalam penelitian ini, semua pengujian dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Adapun peralatan yang digunakan adalah :

#### 1. Alat Utama

Tiang sebagai model fondasi terdiri dari pipa diameter seragam 45 mm dan pipa meruncing dengan sudut keruncingan 1,900 . Panjang model tiang fondasi 300 mm dengan panjang efektif 200 mm yang dibuat dari baja dengan mutu bahan yang sama dengan *mould*. Gambar 1 tipikal bentuk tiang yang dipergunakan dalam penelitian.



**Gambar 1.** Tipikal bentuk tiang seragam dantiang meruncing

#### 2. Strain Gauge

Untuk mengukur regangan yang terjadi pada model fondasi tiang skala kecil dan *mould* akibat gaya yang bekerja, maka dapat dipakai suatu *transducer* yang disebut *strain gauge*. *Strain gauge* dipasang pada sisi luar *mould* 3 (tiga) buah arah radial, dan 3 (tiga) buah arah vertikal dan radial pada sisi dalam disepanjang tiang yang ditempatkan dengan jarak 50 mm dari posisi *strain gauge* satu dengan yang lain .

#### 3. Strain Indicator

Untuk membaca respon regangan pada saat pengujian, *strain gauges* yang telah dipasang pada model yang diuji perlu dihubungkan secara benar melalui kabel – kabel khusus ke *strain indicator* yang didalamnya telah dilengkapi dengan *Wheasthone Bridge System* dan perlengkapan elektrik tambahan sehingga nilai regangan yang terukur pada *strain gauges* langsung dapat dibaca melalui layar pada *strain indicator* tersebut secara digital.

#### 4. Load cell dan tranducer

Gaya yang berupa beban yang bekerja pada model diukur dengan secara langsung pada posisinya dengan menggunakan *load cell* yang

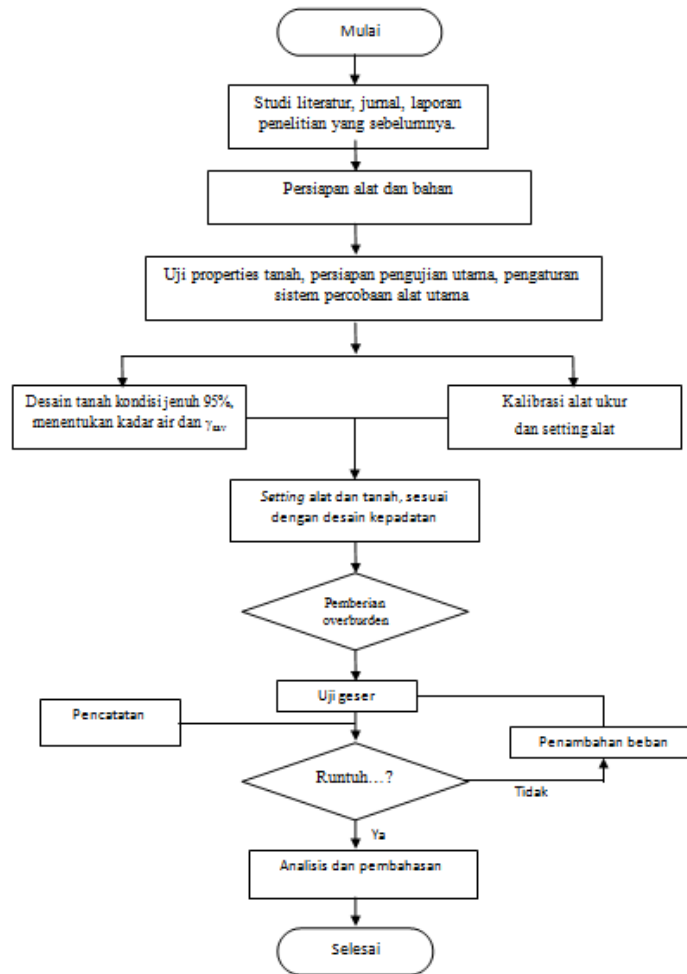
dibaca pada *transducer*. Alat ukur gaya / beban ini terdiri dari sebuah *silinder* terbuat dari bahan logam yang didindingnya dipasang *strain gauges* sedemikian rupa membentuk *sircuit full bridge* dalam *system Wheatstone Bridge*-nya. Secara skematis tampak luar *load cells* dan *transducernya* disajikan dalam Gambar 2



**Gambar 2.** *Load cell* dan *transducer* untuk pengukuran gaya

### C. Tahapan Penelitian

Seluruh rangkaian kegiatan penelitian ini dilakukan seperti bagan alir pada **Gambar 3**,



Gambar 3. Bagan alir kegiatan Penelitian

### Pengujian Utama

- a) Pemberian *overburden* pada muka tanah dilakukan dengan cara tekanan *hydraulic jack*. Tekanan *hydraulic jack* yang diberikan untuk masing-masing penggeseran adalah 11,417 kN; 22,834 kN dan 34,251 kN beban tersebut akan mengakibatkan tekanan kurang lebih sebesar 163,099 kN/m<sup>2</sup>; 326,198 kN/m<sup>2</sup> dan 489,297 kN/m<sup>2</sup>.
- b) Pembacaan *load cell* pada *strain control system* akan diperoleh nilai dan dikonversikan ke gaya yang diperlukan untuk setiap penggeseran tertentu.

Pembacaan dilakukan pada penggeseran sampai dengan terjadi keruntuhan atau termobilisasi sebesar 5 mm (Bjerrum, 1977) dalam Jamin (2005) dipilih yang lebih dulu terjadi.

- c) Pengujian penggeseran model fondasi tiang dengan media tanah. Penggeseran dilaksanakan dengan cara kedua yaitu *stress control* yaitu memberikan beban dengan berat secara bertahap dari kecil ke besar, dengan *interval* pembebanan 10 kg.
- d) Langkah selanjutnya adalah penyambungan kabel penghubung *strain*

*gauge* ke *strain indicator* dan penyambungan *load cell* ke *transducer* untuk pembacaan oleh beban *hidraulic jack*.

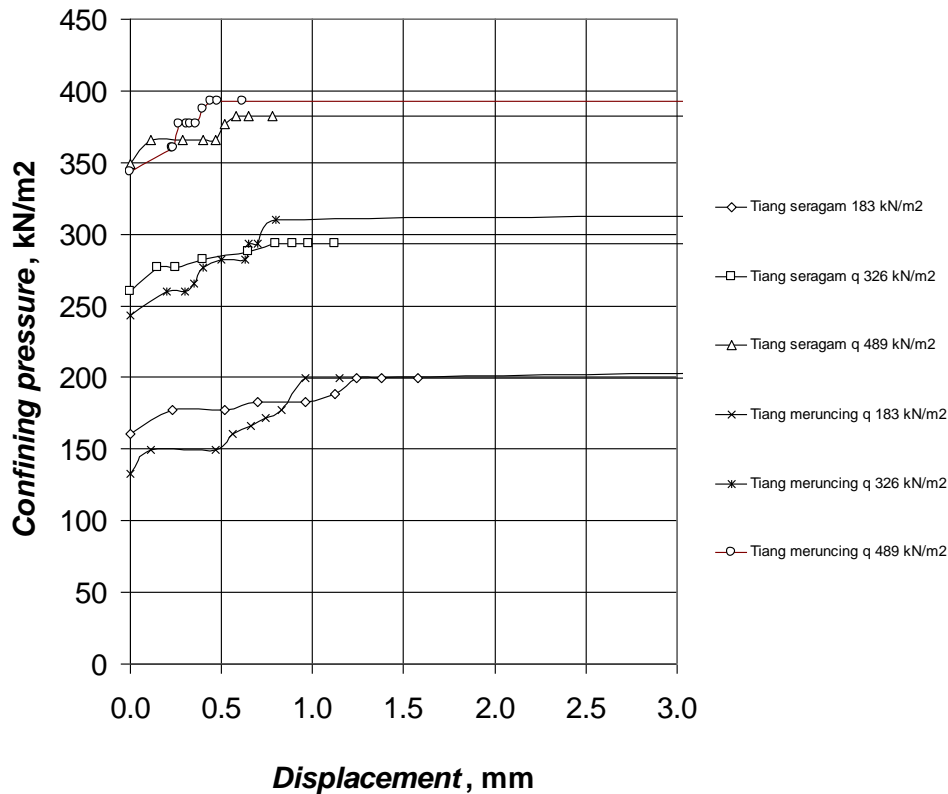
- e) Tahapan pemberian beban geser (*stress controlled*) dilakukan dengan selisih penambahan beban sebesar 10 kg, sampai kondisi runtuh atau termobilisasi sebesar 5 mm (Bjerreum, 1977) dalam Jamin (2005). Pada setiap penambahan beban geser untuk mengetahui perilaku *confining*

*pressure*, maka dilakukan pembacaan melalui *strain indicator*.

- f) Pencatatan besar tegangan dari pembacaan pada *transducer* untuk kemudian dilakukan analisa

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pencatatan pendataan kemudian dinyatakan dalam bentuk grafik yang menghubungkan korelasi antara besarnya penurunan (*displacement*) dan besarnya *confining pressure*. Diperoleh hasil sebagai berikut seperti terlihat pada gambar 4.



**Gambar 4.** Perbandingan *displacement* dan *confining pressure* pada tiang seragam dan meruncing saat uji gesek dengan tekanan *overburden* 163 kN/m<sup>2</sup>, 326 kN/m<sup>2</sup> dan 489 kN/m<sup>2</sup>.

Perilaku distribusi gaya pada tiang saat beban (*P*) bekerja dapat dilihat pada Gambar.4 hubungan antara *displacement* dan *confining*

*pressure* yang terjadi pada tiang. Pada tiang diameter seragam maupun meruncing dengan bertambahnya *displacement* tiang akibat



beban kerja ( $P$ ) maka *confining pressure* akan semakin bertambah.

Pada kondisi mula mula sebelum adanya beban kerja ( $P$ ), tekanan *confining pressure* pada tiang diameter meruncing lebih kecil dari pada tiang diameter seragam, tetapi dengan bertambahnya beban kerja ( $P$ ) terlihat bahwa *confining pressure* pada tiang meruncing meningkat hingga melebihi *confining pressure* pada tiang diameter seragam. Fenomena ini terjadi karena selama proses pembebanan ( $P$ ) terjadi perlawanan arah lateral tanah pada tiang sejalan dengan mampatnya tanah.

## KESIMPULAN

1. *Confining pressure* tiang meruncing pada awalnya lebih kecil dari pada tiang seragam, tetapi dengan bertambahnya beban terlihat bahwa *confining pressure* pada tiang meruncing menjadi lebih besar dari pada tiang seragam. Hal ini dimungkinkan terjadi karena adanya proses pemampatan oleh tiang meruncing sehingga tekanan air pori pada tanah akan semakin tinggi sejalan dengan bertambahnya beban aksial.
2. Tanah disekitar tiang fondasi dengan bentuk meruncing akan memadat sehingga mengakibatkan tekanan lateral ke arah tiang semakin besar.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdrabbo, F.M, and Abouseeda, H.M., EI-Wakil A-Z., 2001, Testing of Pile in Laboratory using O-Cell, 5th International Conference on Deep

Foundation Practice incorporation Piletalk:4-6 April 2001, Singapore.

Abdrabbo, F.M., and Gaaver, K.E., 2001, Experimental Study of Skin Friction of Bored Piles Soeketed into Cemented Sand, 5th International Conference on Deep Foundation Practice Incorporation Piletalk: 4-6 April 2001, Singapore.

Anonim, 2003, Annual Book of ASTM Standards, section 4, Volume 04 08, Philadelphia, USA.

Bowles, J.E., 1991, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Edisi Kedua,

Brosur Polcon, Polcon Material Baru Untuk Konstruksi serta Perawatan Jalan Jembatan dan Bangunan, PT. Cita Dimensi Kotrindo, Jakarta.

Bowles, J.E., 1997, Foundation Analysis and Design, 14th Edition, Mc Graw Hill Book Company. New York.

Coduto, D.P., 1994, Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall International, Inc.

Chen, F.H., 1975, Foundation on Expansive Soils, Development in Geotechnical Engineering, Elsevier Scientific Publication Company, New York.

Das, B.M., 1995, Principles of Foundation Engineering, Third Edition, PWS Publishing Co, 20 Park Plaza, Boston, MA 02116.

Hardiyatmo, H.C., 1999, Perilaku Fondasi Cakar Ayam pada Model di Laboratorium Kontribusi Untuk Perancangan, Proceeding Seminar Nasional Geoteknik, 1999, Jurusan

- Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H.C., 2002a, Mekanika Tanah I, Edisi ketiga, Gadjah Mada University Press, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2002b, Mekanika Tanah II, Edisi ketiga, Gadjah Mada University Press, Bulaksumur Yogyakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2002c, Teknik Fondasi I, Edisi kedua, Beta Offset, Perum Seturan FT-UGM Seturan, Yogyakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2002d, Teknik Fondasi II, Edisi kedua, Beta Offset, Perum Seturan, FT-UGM Seturan, Yogyakarta, Indonesia.
- Jamin, M, 2005, Pengaruh Tekanan Overburden Terhadap Tahanan Gesek Dinding Tiang Pada Tanah Pasir, Tesis, Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kusrin, 2002, Perilaku Tiang Tunggal Mendukung Beban Lateral Dalam Tanah Granuler Pada Uji Laboratorium, Seminar Penelitian Tugas Akhir, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Mitchell, J.K., 1993, Fundamentals of Soil Behavior, second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Supardi, 2006, Studi Eksperimental Distribusi Gesek Dinding Tiang Meruncing Pada Tanah Granuler Di Laboratorium, Tesis, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suwono, 2004, Koefisien Geek Tanah Kelampungan Berdasarkan Indeks Platisitasnya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya
- Seed H.D. and C. K. Chan, 1959, Struktur and Strength Characteristics Of Compacted Clays, Journal of Soil Mechanics and Foundation Devision, ASCE, Vol 85, No SM5, PP 87 – 128.