

## PENGARUH PEMANCANGAN FONDASI TIANG PADA TANAH LEMPUNG JENUH TERHADAP TEKANAN AIR PORI

**Gumbert Maylda Pratama, Agus Darmawan Adi, Teuku Faisal Fathani**

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
e-mail: gumbert.m.p@gmail.com

**Abstract:** Installation of driving pile foundation is causing excess pore water pressure on saturated clay. Experimental study of driving pile installation effect on clayey silt is conducted at laboratory scale through pore water pressure value observation. The pore water pressure value was read using pressure transducers and head-meters, which has been installed at different depth of the soil sample. The experiment was carried out on two different soil samples. Sample 1 requires 146 strokes to fully drive, and Sample 2 requires 50 strokes. The pore water pressure value was affected by pile penetration depth. The pore water pressure at the bottom of the sample is higher than pore water pressure at the top of the sample. Excess pore water pressure at the sample with more stroke numbers is greater than the sample with less stroke numbers. Pore water pressure change values at Sample 1 are 0,04 kg/cm<sup>2</sup> at the top of the sample and 0,10 kg/cm<sup>2</sup> at the bottom, while at Sample 2 are 0,02 kg/cm<sup>2</sup> at the top of the sample and 0,06 kg/cm<sup>2</sup> at the bottom.

**Keywords:** driving pile, saturated clay, pore water pressure

**Abstrak:** Pemancangan fondasi tiang mengakibatkan perubahan tekanan air pori pada tanah lempung jenuh. Pengujian pengaruh pemancangan pada perubahan tekanan air pori dilakukan melalui studi eksperimental menggunakan tanah lanau lempungan di laboratorium, dengan pembacaan perubahan nilai tekanan air pori. Pembacaan tekanan air pori dilakukan dengan alat *pressure transducer* dan *head-meter* yang dipasang pada variasi kedalaman tanah. Pengujian dilakukan pada dua sampel tanah yang berbeda. Pada Sampel 1 dibutuhkan 146 kali pukulan hingga tiang mencapai kedalaman rencana, sedangkan pada Sampel 2 dibutuhkan 50 kali pukulan. Nilai tekanan air pori dipengaruhi oleh kedalaman penetrasi fondasi tiang pada saat pembacaan. Nilai perubahan tekanan air pori di bagian bawah lebih tinggi dibandingkan perubahan tekanan air pori yang terjadi di bagian atas. Perubahan tekanan air pori lebih besar terjadi pada sampel dengan jumlah pukulan yang lebih banyak. Pembacaan perubahan tekanan air pori pada Sampel 1 bagian atas sebesar 0,04 kg/cm<sup>2</sup> sedangkan bagian bawah sebesar 0,10 kg/cm<sup>2</sup>, pada Sampel 2 bagian atas sebesar 0,02 kg/cm<sup>2</sup> sedangkan bagian bawah sebesar 0,06 kg/cm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** tiang pancang, lempung jenuh, tekanan air pori

### PENDAHULUAN

Fondasi tiang merupakan salah satu jenis fondasi dalam yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya dari struktur bangunan ke lapisan tanah pendukung. Dalam perancangan fondasi sebagai pendukung bangunan, diperlukan analisis yang memadai terutama mengenai kapasitas dukung dari fondasi tiang. Analisis dukung tiang akan menentukan jumlah dan dimensi tiang yang akan digunakan dan secara langsung mempengaruhi besar biaya yang diperlukan dalam proses konstruksi.

Fondasi tiang dapat dipasang dengan teknik pemancangan atau pengeboran. Pemancangan pada fondasi tiang mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik tanah. Perubahan yang

terjadi akan dipengaruhi oleh jenis tiang, jumlah pukulan, dan terutama jenis dan kondisi tanah saat dipancang. Pemancangan fondasi tiang pada tanah kohesif jenuh air dapat mengakibatkan peningkatan tekanan air pori pada tanah di sekitar tiang.

Pada tanah lempung jenuh, tambahan tekanan mengakibatkan perubahan tekanan air pori pada tanah. Besar perubahan tekanan akan tergantung dari sejarah tegangan tanah dan kondisi pembebanan. Kondisi pembebanan, ditentukan oleh kecepatan pembebanan dan jenis tanah, terdiri dari dua macam, yaitu kondisi pembebanan terdrainase (*drained*) dan kondisi pembebanan tidak terdrainase (*undrained*).

Pemahaman yang baik mengenai pengaruh pemancangan fondasi tiang pada tanah, khususnya tanah lempung, akan memberikan gambaran kondisi tanah setelah pemancangan. Dengan mengetahui kondisi tanah lempung setelah pemancangan dapat dipahami kapasitas daya dukung pada tiang, dan karakteristik tanah lainnya yang penting dalam kegiatan perencanaan, sehingga dapat diperoleh konstruksi yang efisien dan sesuai.

Pengujian perubahan tekanan air pori dilakukan melalui uji skala laboratorium. Dilakukan perbandingan pembacaan perubahan tekanan air pori secara manual menggunakan *headmeter* dan secara otomatis menggunakan *pressure transducer*.

## TINJAUAN PUSTAKA

Dalam perancangan fondasi tiang, beban yang bekerja pada tiang secara umum dapat dibedakan menjadi beban aksial dan beban lateral, sedangkan beban torsional jarang menjadi perhatian dalam perancangan fondasi tiang (Coduto, 1994). Beban aksial merupakan beban yang bekerja sejajar sumbu tiang, sedangkan beban lateral adalah beban yang bekerja tegak lurus tiang.

Selama pemancangan tiang ke dalam tanah, volume tanah sebesar volume tiang yang masuk harus berpindah dengan proses *remoulding* butiran lempung di sekitar tiang. Perpindahan terjadi pada arah dengan tahanan yang paling rendah. Dari penelitian yang dirangkum, pemancangan tiang pada lempung mengakibatkan *remoulding* yang relatif tinggi pada zona 10 hingga 15 cm dari permukaan tiang. Zona ini dipengaruhi karakteristik tanah, dimensi tiang, dan metode pemancangan.

### Tekanan air pori pada tanah

Pada permasalahan yang terkait kuat geser tak terdrainase dari tanah, Skempton (1954) mendefinisikan perubahan tekanan air pori,  $\Delta u$ , yang muncul akibat perubahan tegangan utama ( $\Delta\sigma_1$  dan  $\Delta\sigma_3$ ) melalui persamaan:

$$\Delta u = B [\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (1)$$

dengan  $A$  dan  $B$  merupakan koefisien tekanan air pori. Koefisien ini dapat diukur secara eksperimen pada pengujian triaksial dengan kondisi tidak terdrainase.

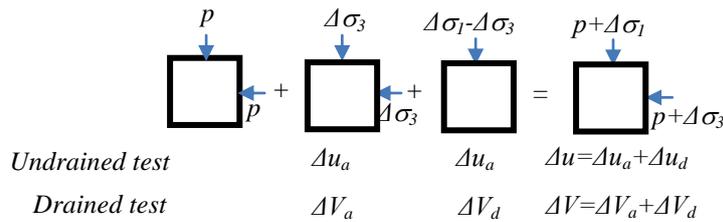
Bila tanah berada pada kondisi awal tekanan efektif,  $p$ , yang setimbang, maka perkembangan tegangan utama dapat dianalisis dalam dua tahapan (Gambar 1).

### Pengaruh pemancangan pada karakteristik tanah

Pemancangan tiang pada tanah mengakibatkan deformasi dan perubahan volume yang kompleks. Akibat pemancangan dijumpai kenaikan tekanan air pori pada tanah. Kallstenius (1963) dalam Flaate (1972) menyimpulkan bahwa tekanan air pori maksimum yang terjadi setara dengan tegangan total, sekitar 8 hingga 10 kali lipat kekuatan geser tak terdrainase.

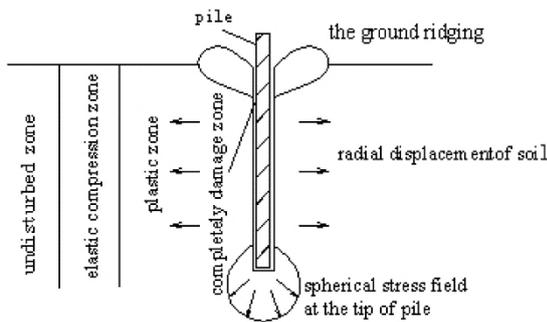
Akibat pemancangan dijumpai kenaikan tekanan air pori pada tanah. Kallstenius (1963) dalam Flaate (1972) menyimpulkan bahwa tekanan air pori maksimum yang terjadi setara dengan tegangan total, sekitar 8 hingga 10 kali lipat kekuatan geser tak terdrainase. Koizumi dan Ito (1967) dalam Flaate (1972) mendapatkan bahwa tekanan air pori kembali dalam keadaan setimbang setelah 3 minggu dan tegangan efektif arah horizontal pada selimut tiang memiliki nilai dua kali lipat nilai tegangan vertikal efektif awal.

Simonsen dan Sørensen (2016) melakukan pengujian terkait perubahan tekanan air pori akibat pemancangan tiang baja di lokasi konstruksi. Penelitian dilakukan pada tanah lempung Palaeogene dengan plastisitas tinggi (Søvind Marl) di pelabuhan kota Aarhus, Denmark. Tanah lempung yang diuji memiliki permeabilitas yang relatif rendah, hasil uji dengan oedometer menghasilkan nilai  $k_{lab}$  sebesar  $3.10^{-12}$  hingga  $5.10^{-13}$  m/s. Akibat pemancangan, terjadi perubahan profil tekanan air pori. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pemancangan tiang yang lebih dekat dengan *piezometer* menghasilkan perubahan tekanan air pori yang lebih signifikan.



**Gambar 1.** Fase perubahan tegangan pada elemen tanah (Skempton, 1954).

Efek pemadatan pada tanah dengan volume yang sama dengan volume tiang, terjadi pada periode waktu yang sangat singkat, pada saat proses pemancangan fondasi tiang. Tanah mengalami pembentukan ulang dan terganggu pada area tertentu, baik kearah horizontal maupun vertikal (Xiaonan, 2000 dan Jianping, 2000 dalam Ying, dkk., 2015). Empat tipikal area yang umumnya terbentuk dalam proses pemancangan dapat dilihat pada Gambar 2.

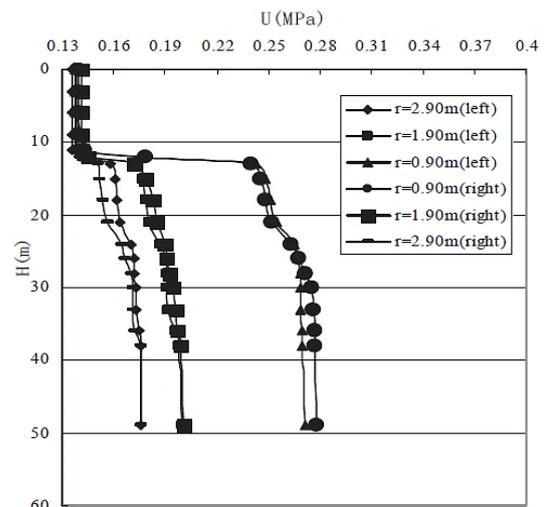


**Gambar 2.** Zona yang terpengaruh disekitar area tiang (Ying, dkk., 2015).

Wang, dkk. (2007) menjabarkan pengaruh pemancangan terhadap kondisi tekanan air pori berlebih setelah pemancangan di sekitar tiang. Dalam analisis tradisional, distribusi tekanan air pori berlebih setelah pemancangan dapat digambarkan sebagai fungsi eksponensial sepanjang jarak horizontal dari tiang. Teori tersebut belum memperhatikan fungsi kedalaman. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, terjadi peningkatan besaran tekanan air pori berlebih mengikuti fungsi kedalaman mengikuti kecenderungan yang menyerupai fungsi linear.

Bingjian (2011) melakukan pengujian dengan pembacaan tekanan air pori menggunakan *pore water pressure gauge*. Tanah pengujian berupa lempung dengan kondisi jenuh. Kondisi jenuh menggambarkan tanah berada pada kondisi dua fase, dimana seluruh rongga yang ada diantara butiran tanah terisi oleh air. Akibat adanya

interkoneksi antara rongga, air dapat secara bebas mengalir sebagai fungsi dari level muka air (*water head*). Gambar 3 menunjukkan bahwa pemancangan tiang sedalam 50 m pada tanah jenuh dapat mengakibatkan tekanan air pori berlebih yang relatif tinggi. Amplitudo perubahan tekanan air pori relatif kecil pada kedalaman hingga 12 m, naik secara signifikan pada kedalaman 12 hingga 16 m, dan kembali menunjukkan perubahan yang tidak signifikan setelah kedalaman 16 m. Selama proses pemancangan, terjadi kenaikan tekanan air hingga 1.25 kali tegangan gravitasi efektif.



**Gambar 3.** Pembacaan nilai tekanan air pori vs kedalaman Bingjian (2011).

**METODE PENGUJIAN**

Pengujian secara garis besar terbagi menjadi dua, yaitu pengujian karakteristik tanah dan pengujian utama.

**Pengujian karakteristik tanah**

Merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah yang akan digunakan sebagai media pemancangan di laboratorium. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *index properties* dan *engineering*

*properties* dari tanah, meliputi uji gradasi butiran tanah (ASTM D 1140-0 dan ASTM D 422-63), uji kadar air (ASTM D 2216-98), uji berat jenis spesifik tanah (ASTM D-854-02), uji batas-batas Atterberg (ASTM 4318), uji permeabilitas tanah dengan *rowe cell*, dan uji triaxial UU (ASTM D 2850-95(1999)).

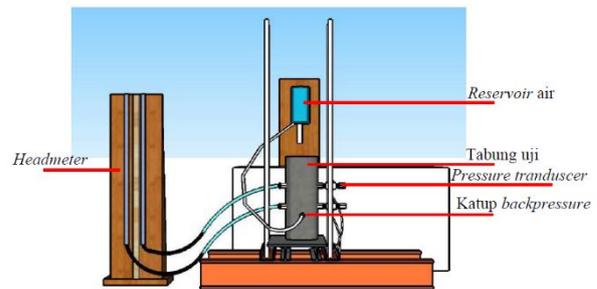
### Pengujian utama

Pengujian utama terdiri dari beberapa tahap. Tahap yang pertama dilakukan adalah tahap persiapan. Tahap persiapan meliputi pembuatan sampel untuk pengujian utama pada tabung uji dengan diameter 15,5 cm dan tinggi sebesar 40 cm. Sampel pengujian dicetak dan disiapkan pada kondisi yang jenuh. Pembuatan benda uji dilakukan langsung pada tabung uji. Sebelum dilakukan pembuatan benda uji, dipastikan terlebih dahulu tabung uji tidak bocor pada bagian sambungan tabung dan pelat dudukan. Celah yang ada ditutup dengan lem pada bagian sisi luar maupun dalam.

Pada saat proses pemadatan per lapis, air diberikan dan diaduk merata dengan tanah sebelum dipadatkan. Pada saat pemadatan sampel tanah dalam tabung uji, dipasang selang plastik sebagai jalur air menuju alat pembacaan tekanan (*head-meter* maupun *transducer*). Selang dibutuhkan agar tekanan air pori yang terbaca sedekat mungkin dengan tiang (Gambar 4). Setelah tanah selesai dipadatkan pada tabung uji, tanah kemudian digenangi dengan air dan diperam selama 1 minggu. Untuk mempercepat proses penjuhan dilakukan pengisian air dari bawah tabung dengan *back pressure* (Gambar 5). Bagian bawah tabung diberi katup dan dihubungkan dengan tangki penyimpanan air.



**Gambar 4.** Selang untuk pembacaan air pori di dalam lapisan tanah.

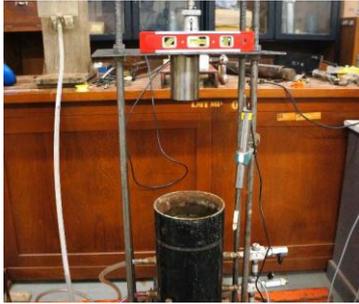


**Gambar 5.** Skema alat untuk proses penjuhan sampel pada tabung uji.

Pembacaan perubahan tekanan air pori dilakukan dengan variasi kedalaman pembacaan. Pembacaan bagian atas dilakukan pada ketinggian 25 cm dari dasar tabung uji, dan pembacaan pada bagian bawah dilakukan pada ketinggian 15 cm dari dasar tabung uji (Gambar 5). Pembacaan dilakukan dengan dua instrument yang berbeda. Pada salah satu sisi, dilakukan dengan pembacaan secara manual melalui pembacaan tinggi muka air (*headmeter*). Pada sisi yang lain dilakukan pembacaan secara otomatis dengan menggunakan *pressure transducer* yang dihubungkan dengan *data logger*.

Tahap berikutnya dari pengujian utama adalah tahap pemancangan tiang. Proses pemancangan tiang dilakukan dengan meletakkan tiang tegak lurus terhadap permukaan tanah. Untuk memastikan posisi tiang tegak lurus dan pemukul tidak bergeser selama pemancangan, digunakan pelat penahan (Gambar 6) dengan lubang sesuai ukuran penumbuk CBR standard. Tiang kemudian dipukul dengan penumbuk CBR standar. Pada tahap ini, dilakukan pembacaan perubahan tekanan air pori yang terjadi saat pemancangan dan pada akhir pemancangan.

Pengujian dilakukan pada dua sampel yang berbeda. Pembuatan sampel dilakukan secara terpisah sesuai dengan tahapan yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada tiap pengujian, dicatat jumlah pemancangan hingga dicapai kedalaman rencana.



**Gambar 6.** Posisi pelat untuk menahan pemukul agar tidak bergeser.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pengujian laboratorium

Pengujian parameter dan karakteristik tanah dilakukan sebelum pengujian utama, untuk mendapatkan nilai *index properties* dan *engineering properties* dari tanah. Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah sampel terdiri dari 63,28% tanah berbutir halus (lanau dan lempung). AASHTO dan ASTM memisahkan pengertian ukuran butiran lempung dan lanau. Berdasarkan grafik pengujian, berdasarkan AASHTO dan ASTM tanah terdiri atas 53,28% butiran lanau dan 10 % butiran lempung.

Kadar air tanah sampel diperoleh dari rerata uji kadar air pada dua sampel dengan nilai sebesar 18,62%. Hasil uji batas-batas atterberg menghasilkan nilai sebagai berikut, *Liquid Limit (LL)* sebesar 44,35% *Plastic Limit (PL)* sebesar 25,05%, *Shrinkage Limit (SL)* sebesar 22,98%, *Plasticity Index (PI)* sebesar 19,30%. Dibandingkan dengan uji kadar air, tanah sebelum pengujian memiliki nilai yang lebih kecil dari *Plastic Limit*, sehingga tanah berada pada kondisi semi padat. Pertambahan kadar air mempengaruhi perubahan volume tanah total setelah kadar air tanah melampaui batas susutnya.

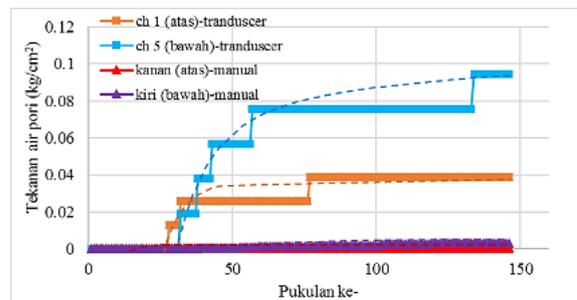
Pengujian permeabilitas didahului proses penjuanan dengan pengukuran perubahan tekanan air pori. Tanah dianggap jenuh bila nilai perbandingan perubahan tekanan yang diberikan sama dengan nilai perubahan tekanan air pori. Hasil uji permeabilitas dengan rowe-cell menghasilkan nilai koefisien permeabilitas sebesar 7,567.10-8 m/s. tanah termasuk tanah

dengan drainase yang baik dan dapat digolongkan pada jenis tanah berlempung atau berlanau. Uji Triaksial UU menghasilkan grafik hubungan tegangan geser dengan tegangan utama, dengan parameter  $c_u$  sebesar 41,48 kPa dan  $\phi$  sebesar 1,98°.

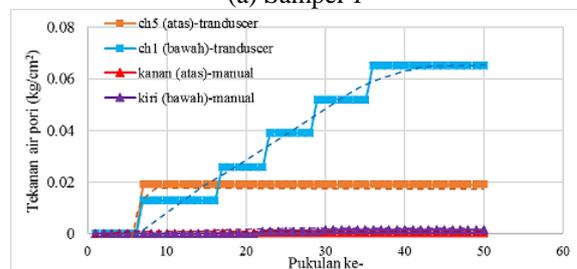
### Perilaku perubahan tekanan air pori

Dalam penelitian ini diamati perilaku perubahan tekanan air pori pada saat pemancangan dan selama masa tunggu setelah pemancangan. Perubahan tekanan air pori dibaca secara manual menggunakan *head-meter* dan secara otomatis menggunakan *pressure transducer* yang dihubungkan dengan *data logger*. Pada tahap pemancangan tidak diukur kedalaman tiang yang masuk dalam tanah tiap pukulan. Pengukuran yang dilakukan adalah menghitung jumlah pukulan hingga panjang tiang tertanam ke dalam tanah hingga kedalaman 25 cm.

Untuk membandingkan pembacaan antara pembacaan manual dan pembacaan secara otomatis, dilakukan konversi tinggi tekanan hidrostatik pada pembacaan dengan *head-meter*. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Gambar 7.



(a) Sampel 1



(b) Sampel 2

**Gambar 7.** Perbandingan pembacaan tekanan air pori dengan *transducer* dan manual (dengan *head-meter*).

Perbandingan pembacaan secara manual dan dengan *transducer* menunjukkan perbedaan cukup signifikan. Pembacaan dengan *transducer* menghasilkan nilai yang jauh lebih besar dari pembacaan dengan *head-meter*. Hal ini disebabkan *head-meter* memerlukan aliran yang cukup besar untuk dapat membaca perubahan tekanan air pori yang terjadi, sedangkan jenis tanah pengujian berupa lempung memiliki nilai permeabilitas relatif rendah.

Dari pembacaan perubahan tekanan air pori selama proses pemancangan, dapat disimpulkan terjadi kenaikan air pori yang cukup signifikan pada lapisan tanah. Kenaikan tekanan air pori semakin besar mengikuti kedalaman tertanam dari tiang. Nilai maksimum pembacaan perubahan tekanan air pori pada masing-masing sampel adalah sebagai berikut: pada Sampel 1 bagian atas sebesar  $0,04 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan bagian bawah sebesar  $0,10 \text{ kg/cm}^2$ , pada Sampel 2 bagian atas sebesar  $0,02 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan bagian bawah sebesar  $0,06 \text{ kg/cm}^2$ . Bila dibandingkan dengan kondisi awal, tekanan air pori akibat pemancangan pada Sampel 1 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan tegangan total tanah. Kondisi ini dapat mengakibatkan kapasitas dukung sesaat setelah pemancangan menjadi relatif rendah.

Trend perubahan nilai tekanan air pori dibandingkan kedalaman tiang tertanam (pada penelitian kali ini digambarkan dengan jumlah akumulasi pukulan) menunjukkan bahwa tekanan air pori pada bagian bawah (ujung tiang) lebih besar dibandingkan pada bagian atas. Pada sampel 1, perubahan tekanan air pori signifikan terjadi setelah pukulan ke-20 hingga ke-60. Setelah pukulan ke-80, nilai perubahan tekanan air pori tidak signifikan. Pada sampel 2, perubahan tekanan air pori signifikan terjadi setelah pukulan ke-10 hingga ke-30. Setelah pukulan ke-35, nilai perubahan tekanan air pori tidak signifikan. Pada pengujian ini, tidak dilakukan pembacaan perubahan kedalaman tiang tertanam akibat pukulan pada saat pemancangan.

Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa perubahan nilai tekanan air pori pada titik pembacaan atas menyerupai nilai pembacaan pada titik bagian bawah hingga jumlah pukulan tertentu. Kemudian penambahan jumlah

pukulan mengakibatkan perubahan tekanan air yang lebih besar pada titik pembacaan bagian bawah, sedangkan pada titik pembacaan bagian atas perubahan nilai tekanan air pori tidak signifikan. Hal ini diakibatkan karena kondisi tanah yang jenuh, sehingga beban tambahan yang bekerja pada tanah mengakibatkan pertambahan tekanan air pori yang sama pada lapisan tanah tersebut.

Jumlah pukulan pada pemancangan tiang memiliki hubungan dengan kapasitas dukung dari tiang pada lapisan tanah. Semakin banyak jumlah pukulan maka kuat dukung tiang semakin besar. Pada Sampel 1 diperlukan 146 pukulan hingga tiang mencapai elevasi rencana, sedangkan pada Sampel 2 dibutuhkan sebesar 50 kali pukulan. Kondisi ini menggambarkan bahwa tanah pada Sampel 1 lebih padat dibandingkan pada tanah Sampel 2. Bila dihubungkan dengan hasil pembacaan tekanan air pori, perubahan tekanan air pori pada kondisi tanah yang lebih padat (jumlah pukulan lebih banyak untuk mencapai kedalaman rencana) memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada tanah dengan kepadatan yang lebih rendah.

## KESIMPULAN

Akibat pemancangan tiang pada tanah lempung jenuh, timbul tekanan air pori disekitar tiang. Tekanan air pori berkembang bertahap sesuai dengan kedalaman tiang yang tertanam. Nilai tekanan air pori bagian bawah lebih besar dibandingkan tekanan air pori di bagian atas.

Sampel 1 diperlukan 146 pukulan hingga tiang mencapai elevasi rencana, sedangkan pada Sampel 2 dibutuhkan sebesar 50 kali pukulan. Perubahan tekanan air pori yang terjadi pada kondisi tanah yang lebih padat (tanah dengan jumlah pukulan lebih banyak untuk mencapai kedalaman rencana) memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada tanah dengan kepadatan yang lebih rendah. Pembacaan perubahan tekanan air pori pada Sampel 1 bagian atas sebesar  $0,04 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan bagian bawah sebesar  $0,10 \text{ kg/cm}^2$ , pada Sampel 2 bagian atas sebesar  $0,02 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan bagian bawah sebesar  $0,06 \text{ kg/cm}^2$ .

Pembacaan *headmeter* kurang sesuai untuk tanah lempung, karena diperlukan aliran air

yang cukup besar agar dapat terjadi perubahan pada pembacaan tinggi air. Selanjutnya, bila akan dilakukan penelitian yang lebih lanjut, disarankan penggunaan piezometer dengan sensor pembacaan tekanan air pori dan kadar air agar didapatkan kondisi tanah yang jenuh seragam pada sampel.

Pada tahap pengujian pemancangan tiang, perlu dilakukan pencatatan kedalaman tiang yang tertanam, agar diperoleh perbandingan yang lebih baik antara perubahan nilai tekanan air pori terhadap kedalaman tiang yang tertanam saat pemancangan. Selain itu, bila memungkinkan dibuat sistem penjenuhan yang tertutup sehingga dapat diberikan *confining pressure* sehingga tidak mengganggu kondisi butiran tanah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bingjian, Z. (2011). "Study of The Pore Water Pressure Variation Rule in Saturated Soft Soil Caused by Prestressed Concrete Pile Penetration". *Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE), 2011 International Conference*. Lushan, China.
- Chandra, S. dan Hossain, Md. I. (1993). "Prediction and Observation of Pore Pressure Due to Pile Driving". *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. Paper 46.
- Coduto, D. P. (1994). *Foundation Design Principles and Practices*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering, SI, seventh edition*. Cengage Learning, Stamford.
- Flaate, K. (1972). "Effects of Pile Driving in Clays". *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 9, No. 81.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian II*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Head, K. H. (1986). *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 3: Effective Stress Test*. Pentech Press Limited, London.
- Tomlinson, M. dan Woodward, J. (2014). *Pile Design and Construction Practice Sixth Edition*. CRC Press, Boca Raton.
- Wang, W., Zai, J., dan Lu, T. (2007). "Dissipation Process of Excess Pore Water Pressure Caused by Static Pressed Pile in Soft Soil". *Soft Soil Engineering: Proceedings of The Fourth International Conference*. Vancouver, Canada.
- Wykeham Farance (2008). *Instruction Manual for 30 WF6016/30-WF6032 Geodatalog Series 6000 and Datacomn Software*, Published by Controls.
- Ying, X., Tao, H., Mo, J. (2015). "Initial Excess Pore Water Pressure Distribution due to Pile Driving in a Slope". *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 20, 5969-5978.