

STUDI MENGENAI KAPASITAS FRIKSI TIANG PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF YANG DITINJAU DARI KADAR AIR TANAH, WAKTU, DAN MATERIAL

Lydia Loahardjo¹, Roberto Siswanto Goni², Daniel Tjandra³, Johanes Indrojono Suwono⁴

ABSTRAK : Tanah lempung ekspansif memiliki sifat *swelling*, yaitu mengembang saat kadar air tinggi dan menyusut saat kadar air rendah. Sifat *swelling* ini ditentukan oleh mineral yang terkandung di dalam tanah. Penelitian ini membahas seberapa besar perubahan daya dukung friksi tiang pada saat mengalami perubahan kadar air, pengistirahatan setelah pemancangan, serta jenis material tiang. Tanah yang diambil merupakan tanah lempung ekspansif di daerah Ciputra pada kedalaman 1 meter. Tanah dikondisikan dalam keadaan undisturb dengan variabel *drying* 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, *wetting* 2,5%, 5%, 7,5% sebagai penentu kadar air, pengistirahatan selama 1, 2, 5, 10, dan 30 hari digunakan sebagai penentu waktu, sedangkan permodelan tiang baja dan tiang beton digunakan sebagai variabel jenis material. Hasil yang didapat dari percobaan adalah kadar air mempengaruhi kuat geser tanah sampel. Nilai kapasitas friksi tiang mengalami peningkatan seiring dengan penurunan kadar air, karena adanya suction saat kadar air rendah. Selain itu terjadi peningkatan kapasitas friksi tiang seiring dengan lamanya pengistirahatan. Pada kadar air tinggi, peningkatan kapasitas friksi tidak terlalu berarti. Tiang baja memiliki nilai kapasitas friksi yang lebih besar daripada tiang beton. Selain akibat dari permukaan beton berongga, yang menyebabkan luas permukaannya lebih kecil, hisapan pada baja lebih tinggi daripada pada beton.

KATA KUNCI : lempung ekspansif, *swelling*, kadar air, waktu, tiang baja, tiang beton, Ciputra.

1. PENDAHULUAN

Pergantian musim mengakibatkan variasi kadar air pada tanah. Pada musim kemarau air dalam tanah akan terevaporasi sehingga kadar air dalam tanah turun. Sebaliknya, pada musim penghujan, air turun dan akan meresap kedalam tanah sehingga kadar air dalam tanah meningkat. Pada tanah lunak yang muka airnya jauh, variasi kadar air mengakibatkan tanah mengalami kembang susut. Sedangkan pada tanah yang muka airnya tidak terlalu dalam, variasi kadar air mengakibatkan muka air tanah mengalami pasang surut. Daerah pada tanah yang mengalami keadaan ini disebut “zona aktif” (Alwan & Indarto, 2010).

Kuat geser tanah merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi daya dukung tanah. Kadar air yang sering mengalami perubahan akan berpengaruh pada kuat geser tanah. Perubahan kuat geser tanah, khususnya tanah lempung, ditandai oleh perubahan kohesi tanah. Ketika tanah mengalami pembasahan maka kadar airnya meningkat sehingga kohesi tanah turun, begitu pula sebaliknya. Tanah di Surabaya umumnya adalah tanah lempung ekspansif, tanah yang mudah mengalami kembang susut. Karena Surabaya termasuk dalam kawasan tropis maka Surabaya mengalami pergantian dua musim,

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, lydia_loa@yahoo.co.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, roberto_goni@yahoo.co.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, danieltj@peter.petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, jsuwono@petra.ac.id

yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Seperti dijelaskan di atas, hal ini menyebabkan tanah di Surabaya sering mengalami variasi kadar air. Variasi kadar air sangat mempengaruhi kembang susut tanah ekspansif.

Masalah yang sering dijumpai pada perencanaan pondasi di lapangan disebabkan oleh kurangnya perhatian dan pemahaman perilaku tanah lempung saat mengalami variasi kadar air. Pada kasus pondasi tiang, perubahan kuat geser tanah berdampak pada daya dukung tiang, khususnya daya dukung friksi tiang. Variabel yang dibutuhkan untuk mendapatkan daya dukung friksi tiang (Q_s) adalah luas selimut tiang (A_s), parameter faktor adhesi (α) dan kuat geser tanah (S_u) (Al-Mhaidib, 2007). Seberapa besar perubahan daya dukung tiang saat mengalami perubahan kuat geser tanah menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini. Selain perubahan kadar air yang berpengaruh pada daya dukung tiang, rentang waktu antara pemancangan dan pembebanan, serta jenis material tiang akan diselediki pada penelitian ini.

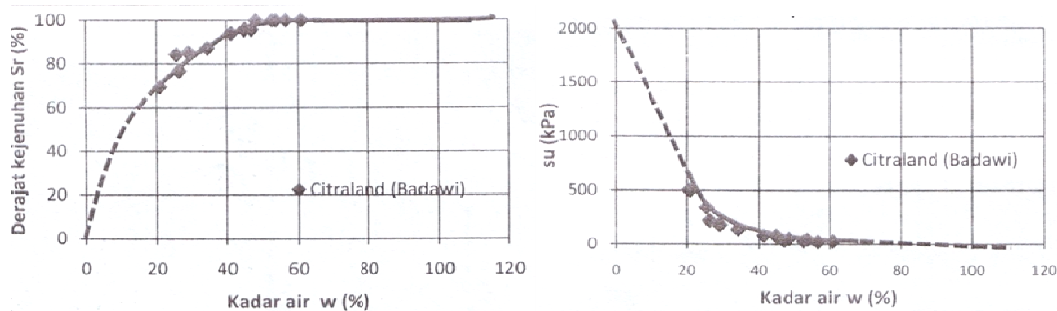
2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan daya dukung tiang saat mengalami perubahan kadar air, pengistirahatan setelah pemancangan dan pembebanan, serta pengaruh jenis material tiang. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat menyimpulkan pengaruh kadar air tanah, waktu dan material terhadap kapasitas friksi tiang pada tanah lempung ekspansif.

3. LANDASAN TEORI

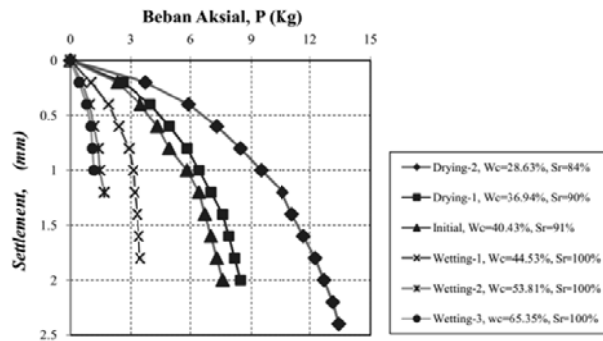
Tanah lempung memiliki diameter $2 \mu\text{m}$. Tanah lempung tidak hanya diklasifikasikan berdasarkan ukuran saja, namun juga mineral lempung yang terkandung di dalamnya. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid dan merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu kurang dari $1 \mu\text{m}$ (Thohiron, 2012). Tiga kelompok penting mineral lempung adalah *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite*. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Mineral lempung memiliki sifat menyerap kation dan anion. Ion-ion dapat bertukar dan tetap berada di sekeliling luar struktur. Keberadaan muatan pada mineral lempung diindikasikan melalui kemampuan lempung menyerap ion-ion dari larutan. Kation lebih siap terserap dibandingkan anion, karena muatan negatif mendominasi permukaan lempung (Indarto, 2012).

Kadar air yang rendah dan *suction* tanah yang tinggi mengakibatkan peningkatan kemampuan mengembang tanah yang tinggi saat pembasahan. Siklus pengeringan-pembasahan mempunyai pengaruh yang signifikan pada kemampuan *swelling potential* tanah khususnya pada saat pengeringan. Tanah lempung yang mengalami kenaikan kadar air dan derajat kejenuhan, maka kekuatan gesernya akan mengalami penurunan. Hubungan variasi derajat kejenuhan, fungsi kadar air, dan kekuatan geser pada tanah citraland dapat dilihat pada **Gambar 1** (Badawi, 2010).



Gambar 1. Variasi Kekuatan Geser, Kadar Air, dan Derajat Kejenuhan.

Friction pile adalah daya dukung yang ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya (Hardiyatmo, 2010). Variasi kadar air sangat mempengaruhi parameter tanah, baik secara fisik dan mekanik. Akibat perubahan parameter tanah, maka daya dukung pondasi juga berubah. Kadar air pada tanah ekspansif masih dapat bertambah meskipun telah mencapai titik jenuh karena adanya *swelling*. *Swelling* terjadi karena volume rongga pori masih dapat mengembang setelah jenuh. Hasil loading tes menunjukkan adanya penurunan daya dukung *friction pile* akibat bertambahnya kadar air (**Gambar 2**). Besarnya penurunan yang terjadi bergantung panjang tiang yang berada pada lapisan tanah yang mengalami pembasahan. (Alwan & Indarto, 2010)



Gambar 2. Kurva Hubungan antara Beban Aksial dan Penurunan

4. METODOLOGI PENELITIAN

Tanah yang digunakan merupakan tanah lempung ekspansif di kawasan Ciputra. Tanah dikondisikan dalam keadaan *undisturb*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Kristen Petra. Proses penelitian dibagi menjadi 4 tahapan (**Gambar 3**)



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

1. Perencanaan.

Diawali dengan menentukan metode percobaan dan menetapkan urutan pengerjaan agar penelitian dapat efisien. Kemudian dilakukan pemilihan lokasi, lokasi yang memiliki karakteristik tanah lempung ekspansif sesuai tujuan penelitian. Selanjutnya, mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan. Simulasi singkat diadakan untuk mengetahui masalah-masalah yang akan dihadapi saat pengerjaan dengan harapan kesalahan dapat diminimalisasi.

2. Persiapan.

Persiapan meliputi pengambilan sampel dan mengkondisikan sampel sesuai dengan rencana. Sampel yang diambil berupa 33 tabung PVC dan diangkut ke Laboratorium Mekanika Tanah UK Petra. Tanah di laboratorium dikelola. Melalui pengecekan berat jenis tanah, *water content*, *specific gravity*, *liquid limit*, *plastic limit*, *shrinkage limit*, analisa hidrometer maka tanah dapat dibuat sesuai kondisi pada perencanaan awal, yaitu *drying* 10 %, 20%, 30%, 40%, 50% dan *wetting* 2,5%, 5%, 7,5% dari kadar air *initial*. Proses yang digunakan adalah memperhitungkan berat sampel. Untuk proses *drying*, tabung akan dibuka hingga mencapai berat yang dituju, sebaliknya untuk proses *wetting* tanah akan dibasahi. Saat berat yang direncanakan tercapai, sampel tanah akan didiamkan selama 3 hari. 3 tabung

disiapkan untuk masing-masing variabel kadar air tanah untuk loading test model tiang beton, baja, dan uji kuat geser tanah.

3. Percobaan.

Setelah semua sampel tanah siap, percobaan dimulai. Tiang beton dan baja dimasukkan pada masing-masing tabung untuk pengujian *loading test* dilakukan. Nilai *load dial* ini merupakan nilai awal/*initial* (0 hari). Kemudian tabung dibiarkan selama 1 hari dan *dicuring*. Setelah 1 hari ($H=1$), maka akan dilakukan *loading test* kembali. Hal yang sama dilakukan untuk parameter 2, 5, 10 dan 30 hari. Sedangkan satu tabung sisanya digunakan untuk uji *Vane shear/ Unconfined Compression Test*. Hasilnya diharapkan dapat mengkondisikan keadaan lapangan sesungguhnya.

4. Pengolahan data.

Ketika data dari hasil percobaan terkumpul, data tersebut diolah berupa tabel dan grafik sehingga dengan mudah dianalisa. Kemudian, diambil kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dilakukan.

5. ANALISA DATA

Hasil dari pengujian karakteristik tanah dapat dilihat pada **Tabel 1**. Melalui hasil ini, sifat tanah sampel dapat dikenali. Tanah sampel merupakan tanah CH atau OH, tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Tanah sampel memiliki batas cari dibawah percobaan rata-rata karena diambil 1 meter dari permukaan tanah. Tanah sampel merupakan tanah dengan kandungan mineral *monmorillonite*. Mineral *montorillonite* mempunyai sifat pengembangan yang sangat tinggi. Tanah sampel memiliki kemungkinan pengembangan ekspansi lebih dari 10% dari volume tanah. *Swelling* terjadi akibat proses dari pengembangan mineral tanah dan air yang terserap melalui pipa kapiler dalam tanah (Chen, 1975). Kemampuan tanah ekspansif untuk terus mengembang dan naiknya kadar air meskipun dalam keadaan jenuh sangat perlu diperhatikan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tes Karakteristik Tanah

w_c	Gs	PL	LL	SL	γ_t
44,5%	2,65	33	86	13	1,82

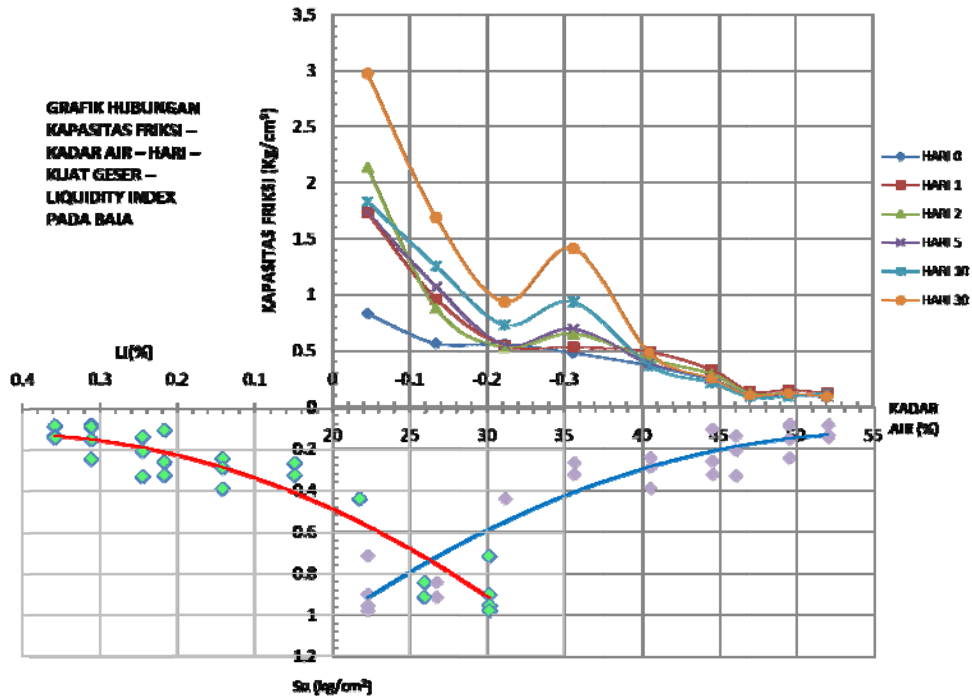
5.1 Perhitungan Kuat Geser Tanah

Perhitungan friksi tanah ini menggunakan dua metode, yaitu *Vane Shear Test* dan *Unconfined Compression Test*. Tujuan dari kedua tes ini untuk mengetahui kekuatan geser tanah. Untuk seluruh tanah yang mengalami *drying* dan *wetting* 2,5% digunakan *Unconfined Compression Test*, sedangkan tanah dengan *wetting* 5%, 7,5% digunakan *Vane Shear Test*. Hasil Su dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

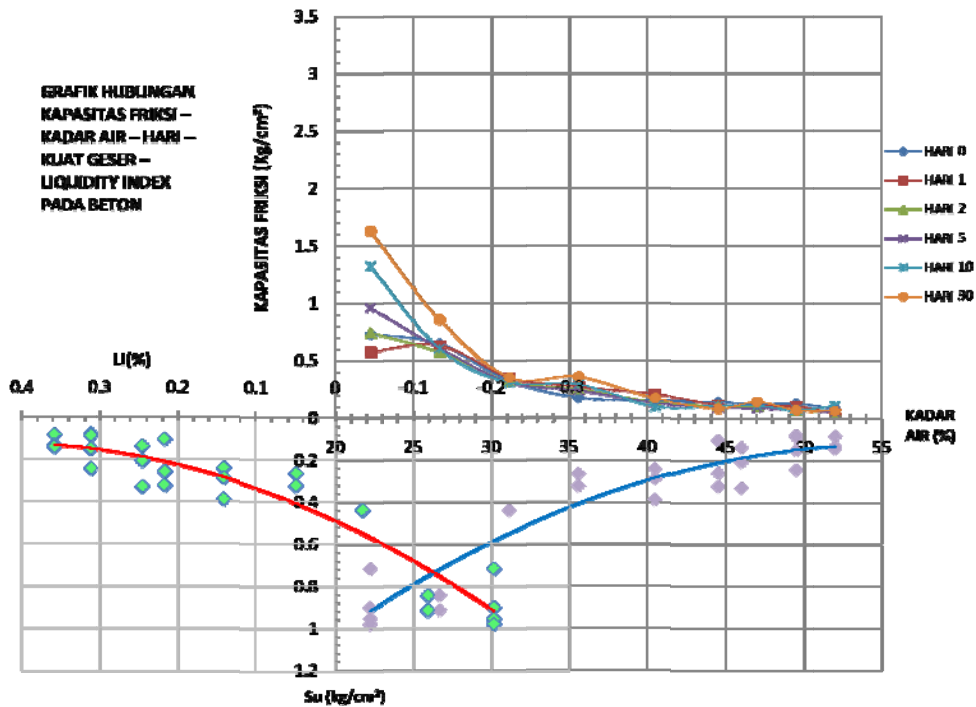
Dari **Gambar 4** dan **Gambar 5** dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kadar air tanah maka nilai kuat geser akan berkurang. *Trendline* menunjukkan untuk tanah dengan kadar air tertinggi, yaitu ketika terjadi kenaikan kadar air sebesar 2,5% dari keadaan *wetting* 7,5%, ada pengaruh penambahan kuat geser sebesar 28%. Untuk kenaikan kadar air tertinggi, yaitu 4,9% dari *drying* 10% menuju *drying* 20% maka kuat gesernya mengalami kenaikan hingga 52%. Namun, untuk kadar air 31,15% dan 35,6% hasil tes laboratorium berada di bawah *trendline*. Chen, 1975, mengatakan bahwa tanah lempung dengan kadar air diatas 30% mengindikasikan bahwa sebagian besar pengembangan telah berlangsung. Bila dikaitkan dengan kesimpulan Chen, maka pada kadar air sekitar 30%, tanah sampel berada dalam kondisi batas pengembangan. Tanah dengan kadar air dibawah 30% akan memiliki nilai kuat geser yang tinggi karena mengalami *suction*, sedangkan pada kadar air diatas 30% tanah sulit untuk mengembang, dimana tegangan air pori negatif mendekati angka 0, sehingga *suction* yang terjadi tidak terlalu besar. Hal inilah yang mempengaruhi hasil kuat gesernya berada lebih rendah dari *trendline*. Hasil percobaan lain yang dilakukan oleh Badawi, 2010, **Gambar 1** memiliki nilai kuat geser lebih tinggi hingga 5 kali lipat pada kadar air 20% bila dibandingkan dengan tanah sampel.

5.2 Tes Pembebanan Model Tiang

Sesuai dengan variabel yang telah ditentukan yaitu kadar air, waktu dan jenis material, maka hasil percobaan dituangkan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4. Hubungan Kapasitas Friksi–Kadar Air–Hari–Kuat Geser–Liquidity Index pada Baja.



Gambar 5. Hubungan Kapasitas Friksi–Kadar Air–Hari–Kuat Geser–Liquidity Index pada Beton.

5.2.1 Variabel Perbedaan Kadar Air Tanah

Melalui **Gambar 4** dan **Gambar 5**, dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai kadar air maka semakin tinggi nilai kapasitas friksinya. Pada beton berkurangnya kadar air memiliki pengaruh yang besar pada penambahan kapasitas friksi. *Drying 30%* memiliki nilai 2 kali lipat dari *drying 20%*, *drying 40%* memiliki nilai 2 kali lipat dari *drying 30%*, dan *drying 50%* memiliki nilai 1,13 kali lipat *drying 40%*. Untuk *drying 20%*, *drying 10%*, dan *wetting* memberikan penambahan kapasitas friksi yang kecil, rata-rata nilai 1,07 kali lipat. Hasil yang ditunjukkan tiang baja tidak berbeda. Peningkatan kadar air memberikan nilai kenaikan kapasitas friksi yang hampir konstan untuk tiap kondisi. Hanya pada kadar air diatas 47%, atau *wetting 5%* tidak terjadi peningkatan yang cukup berarti. Hal ini dikarenakan tanah telah berada dalam kondisi jenuh 100%.

Pengaruh kadar air terhadap peningkatan kekuatan friksi tanah ini disebabkan adanya *suction* pada tanah. Tanah lempung ekspansif yang kering memiliki nilai tegangan pori negatif tanah cukup besar. Bila dikaitkan dengan penambahan waktu, maka pada pengistirahatan 30 hari untuk tiang beton, nilai kapasitas friksi antara *drying 40%* dan *drying 50%* menunjukkan peningkatan hingga 2 kali lipat. Pada tiang baja, peningkatan mencapai 1,5 kali lipat. Hal ini menunjukkan pentingnya pengaruh kadar air terhadap peningkatan atau penurunan kapasitas friksi tiang baik dipengaruhi waktu dan jenis material ataupun tidak.

5.2.2 Variabel Waktu

Pengistirahatan tiang setelah pemancangan memberikan pertambahan kapasitas friksi yang cukup berarti ketika kadar air dibawah 40%. Pada tanah yang memiliki w_c tinggi, seiring dengan berjalannya waktu, tidak ada pengaruh penambahan kapasitas friksi tiang. Sebaliknya, pada tanah yang kadar airnya rendah, umur pemancangan bernilai lebih terhadap penambah kapasitas friksi tiang. Peningkatan kapasitas daya dukung bertambah karena adanya penambahan kuat geser tanah akibat pemulihan dari struktur tanah yang rusak saat proses pemancangan (Wardana et al., 2012).

Pada tiang beton, nilai kapasitas friksi saat pemancangan awal memberikan nilai yang terbesar. Pengistirahatan tiang selama 30 hari berakibat pada penurunan kapasitas friksi sebesar 2,5 kali lipat dari kapasitas friksi saat awal pemancangan. Untuk tiang baja, nilai kapasitas friksi tertinggi ditunjukkan setelah pengistirahatan 1 hari dan nilai kapasitas friksi setelah pengistirahatan 30 hari tidak berbeda dengan nilai kapastias friksi saat awal pemancangan. Berbeda halnya dengan kondisi *drying 50%*, semakin lama selang waktu pengistirahatan akan semakin besar penambahan kapasitas friksi tiang. Pada tiang beton, pengistirahatan tanah untuk satu dan dua hari tidak memberikan perbedaan yang cukup berarti. Nilai kapasitas friksi pengistirahatan 5 hari bernilai 1,3 kali dari nilai kapasitas friksi pada saat awal pemancangan. Sedangkan untuk pengistirahatan 10 hari bernilai 1,7 kali, dan pengistirahatan 30 hari memberikan nilai penambahan terbesar, yaitu 2,2 kali lipat. Tiang baja menunjukkan kenaikan yang lebih besar. Untuk pengistirahatan 30 hari, kapasitas friksinya bernilai 3,4 kali dari pemancangan awal. Penambahan kapasitas friksi tiang seiring dengan waktu pada kadar air rendah dikarenakan adanya tegangan pori negatif. Semakin kering tanah maka akan semakin besar nilai tegangan pori negatifnya, sehingga hisapan juga akan semakin besar. Sedangkan pada tanah dengan kadar air tinggi, tanah dalam keadaan jenuh, sehingga tegangan air pori negatifnya sangat kecil bahkan hampir tidak ada, sehingga penambahan selang waktu tidak mempengaruhi nilai kapasitas friksi tanah.

Bila dilakukan peninjauan kembali pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** maka dapat dilihat bahwa saat w_c bernilai 35,6% hasil kapasitas friksi menunjukkan penyimpangan (tidak sesuai *trendline*). Penyimpangan ini terjadi pada tiang baja dan tiang beton setelah pengistirahatan. Diduga pada penelitian ini ada kesalahan dalam mempertahankan kondisi tanah tetap, karena melihat penyimpangan tidak terjadi pada percobaan awal. Namun, penyimpangan terjadi pada kedua sampel tabung, yaitu tabung tiang baja dan tabung tiang beton. Hal ini memunculkan dugaan lain, yaitu mengenai batas pengembangan saat kadar air 30% yang dikemukakan Chen, 1975. Belum ada alasan yang dapat menjelaskan kejadian ini, untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut.

5.2.3 Variabel Jenis Tiang

Hasil tes pembebanan tiang baja memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada tiang beton dengan ukuran yang sama pada kondisi kadar air dan waktu yang (dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**). Saat kadar air tanah rendah, maka tidak ada perbedaan yang cukup berarti antara tiang baja dan tiang beton. Pada pengistirahatan yang cukup panjang, nilai kapasitas friksi tiang baja lebih tinggi dari pada tiang beton. Tes pembebanan tiang baja 1,7 kali lipat nilai tes pembebanan tiang beton pada kondisi initial. Sedangkan pada pengistirahatan 30 hari, maka nilainya menjadi dua kali lipat dari kondisi awal.

Tiang baja memiliki nilai kapasitas friksi yang lebih tinggi daripada tiang beton karena hisapan (*suction*) tanah pada tiang baja lebih kuat dibandingkan pada tiang beton. Hal ini dipengaruhi oleh permukaan beton yang berongga turut mempengaruhi luasan yang mempengaruhi gaya friksi dan hisapan tanah lempung. Selain itu, material yang terkandung dalam tanah lempung ekspansif turut andil pula. Lempung memiliki sifat menyerap kation dan anion serta memungkinkan terjadinya pertukaran ion. Muatan-muatan negatif mendominasi pada permukaan lempung karena kation lebih siap terserap dibanding anion. Kemampuan mineral lempung untuk menyerap kation inilah yang berpengaruh pada penggunaan tiang baja. Hal inilah yang menyebabkan tingginya gaya hisap tanah pada tiang baja sehingga berpengaruh pada kapasitas friksinya.

Baja merupakan campuran logam besi. Besi mudah terurai dan menghasilkan ion positif (Fe^{3+}). Bila ion positif ini bereaksi dengan air maka akan terjadi reaksi oksidasi yang menyebabkan karat. Karena ion positif mudah diikat oleh tanah lempung, maka ikatan tanah lempung terhadap tiang baja kuat. Saat kadar air tanah tinggi, air terserap kedalam tanah. Tanah akan memecah ion-ion air sehingga reaksi oksidasi sulit terjadi pada tiang baja. Hal inilah yang menyebabkan karat tidak mudah muncul pada tanah yang basah. Penggunaan slag baja sebagai stabilitas tanah lempung ekspansif telah banyak diteliti, dan hasilnya slag baja memberikan peningkatan. Slag baja yang mampu memberikan penurunan kemampuan *swelling* tanah ekspansif. (Bansode, 2010). Hal ini menunjukkan besarnya pengaruh ikatan tanah lempung pada besi.

6. KESIMPULAN

Tanah sampel yang berasal dari daerah Ciputra merupakan tanah lempung dengan kemampuan *swelling* tinggi. Dari penilitan uji kuat geser tanah dan uji pembebanan tiang dengan variabel kadar air, waktu, dan jenis tiang yang dilakukan, maka hasil yang disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Kadar air mempengaruhi kuat geser tanah sampel. Kuat geser tanah akan meningkat bila kadar air menurun. Sebaliknya, pada kadar air tinggi kuat geser tanah kecil.
2. Nilai kapasitas friksi tiang mengalami peningkatan seiring dengan penurunan kadar air.
3. Terjadi peningkatan kapasitas friksi tiang seiring dengan lamanya pengistirahatan. Pada kadar air tinggi ($w_c > 40\%$), peningkatan kapasitas friksi tidak terlalu berarti dibandingkan pada kadar air rendah.
4. Tiang baja memiliki nilai kapasitas friksi tiang yang lebih besar dari pada tiang beton. Selain akibat dari permukaan beton berongga, sehingga luar permukaannya lebih kecil, hisapan pada baja lebih tinggi daripada pada beton.

7. DAFTAR REFERENSI

- Al-Mhaidib, A. I. (2007). "*Loading Rate Effect on Piles in Clay from Laboratory Model Tests.*" Department of Civil Engineering, King Saud University, Riyadh,
- Alwan, I., & Indarto. (2010). "Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang Type Friction Pile pada Tanah Ekspansive." Teknik Sipil ITS. Seminar Nasional IV - Pengembangan Infrastruktur dalam Menunjang Pembangunan Ekonomi Nasional, Surabaya, 2010, 41-49

- Badawi, S. (2010). "Study Behaviour of Expansive Undisturbed and Remolded Soil Under Drying - Wetting Cycle of Citraland" Teknik Sipil ITS. Seminar Nasional VI - Pengembangan Infrastruktur Dalam Menunjang Pembangunan Ekonomi Nasional, Surabaya, 2010, 105-112.
- Bansode, S. (2010). "Innovative Ground Improvement Technique for Utilization" GEOTrendz. Indian Geotechnical Conference, Aurangabad, 2010, 401-408.
- Chen, F. H. (1975). *Foundation on Expansive Soil*, Elsevier Publishing Company, New York.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah 1*, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Indarto. (2012). *Kelakuan Tanah Ekspansif serta Akibatnya pada Bangunan dan Jalan Sederhana*, ITS Press, Surabaya.
- Thohiron, D. (2012). "Definisi tanah lempung." *Shooving, The Global Source for Summaries & Reviews*, <<http://id.shvoong.com/exact-sciences/earth-sciences/2271259-definisi-tanah-lempung/>> (Januari 28, 2013)
- Wardana, R. A., Fatnanta, F., and Nugroho, S. A. (2012). "Pengaruh Waktu Terhadap Peningkatan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Lunak." *Repository University of Riau*, <<http://repository.unri.ac.id/handle/123456789/770>> (Januari 28, 2013)