

STUDI MENGENAI FRIKSI ANTARA TIANG DAN BEBERAPA JENIS TANAH LEMPUNG YANG BERBEDA YANG DIPENGARUHI OLEH KADAR AIR, WAKTU, DAN JENIS MATERIAL

Christopher Henry Sugiarto¹, Hendry Indra Pramana², Daniel Tjandra³, Johanes Indrojono Suwono⁴

ABSTRAK : Kapasitas friksi pada tiang pancang memegang peranan penting dalam pondasi bangunan, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perbandingan kapasitas friksi tiang pada beberapa jenis tanah lempung yang dipengaruhi oleh variabel kadar air, waktu, dan jenis material tiang pancang. Dua jenis material tiang yang digunakan dalam penelitian ini adalah material baja dan beton. Penelitian ini dilakukan dengan menentukan metode percobaan dan mempersiapkan alat. Setelah pengambilan sampel di lapangan, maka dilakukan tes karakteristik tanah dasar di labrotarium dan menentukan variasi kadar air dan waktu. Kondisi *drying* didapatkan dengan membiarkan tabung terbuka sampai berat tujuan tercapai sebaliknya untuk kondisi *wetting* dilakukan dengan menginjeksikan air ke dalam tanah dengan bantuan jarum suntik sampai berat tujuan tercapai. Selanjutnya dilakukan pengetestan pembebanan (*loading test*) dan uji kuat geser tanah (*unconfined compression test* dan *vane shear test*). Dengan variasi variabel kadar air dan waktu yang beragam, didapatkan hasil bahwa lokasi dan jenis tanah lempung yang berbeda memberikan nilai kuat geser tanah dan kapasitas friksi tiang pancang yang berbeda pula. Selain itu, didapatkan hasil bahwa kadar air dan waktu mempengaruhi nilai kuat geser tanah yang dimana kuat geser tanah mempengaruhi kapasitas friksi tiang pancang. Dari jenis material tiang pancang yang digunakan, diketahui bahwa tiang baja mempunyai nilai kapasitas friksi yang lebih besar daripada tiang beton.

KATA KUNCI : lempung, *drying*, *wetting*, kuat geser, friksi, tiang baja, tiang beton.

1. PENDAHULUAN

Pada beberapa wilayah di Indonesia, seperti Surabaya sering dijumpai jenis tanah lempung. Sebagian besar tanah di Surabaya merupakan tanah *alluvial*. Hal ini disebabkan karena Surabaya merupakan kota yang terletak di dataran rendah. Tanah *alluvial* adalah tanah yang terbentuk dari lumpur sungai yang mengendap. Hal ini menyebabkan Surabaya memiliki berbagai macam jenis tanah lempung, seperti lempung pasir dan lempung kelanauan.

Salah satu variabel yang mempengaruhi daya dukung tanah adalah kuat geser tanah. Perubahan kadar air yang sering terjadi akan berpengaruh pada kuat geser tanah. Dalam mekanika tanah, variasi kadar air menyulitkan terjadinya variasi parameter tanah serta variasi kelakuan tegangan dari tanah. Kaitannya dengan pondasi, perubahan parameter dan tegangan dalam tanah yang bersifat negatif dianggap sebagai faktor utama yang mempengaruhi kegagalan struktur pondasi, khususnya pondasi-pondasi pada tanah lempung. Perubahan kuat geser tanah, khususnya tanah lempung, ditandai oleh adanya perubahan kohesi tanah. Pada saat kadar air dalam tanah meningkat, kohesi tanah akan mengalami

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hsugiarto_lie29@yahoo.co.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, dryhen1357@yahoo.co.id

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

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

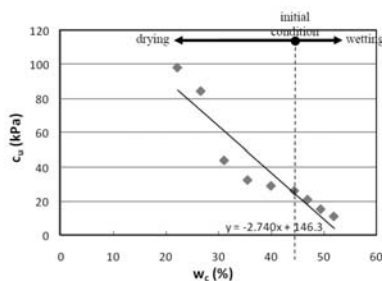
penurunan, begitu pula sebaliknya. Pada kasus pondasi tiang, perubahan kuat geser tanah berdampak pada daya dukung tiang, khususnya daya dukung friksi tiang. Perubahan daya dukung tiang saat mengalami perubahan kuat geser tanah akibat variasi kadar air menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini. Selain itu rentang waktu antara pemancangan dan pembebanan, serta jenis material tiang akan diselediki pada penelitian ini. Dari tiga parameter tersebut, maka diharapkan dapat diketahui berapa besar peranan daya dukung friksi tiang dalam menahan beban di atasnya khususnya pada jenis tanah lempung.

2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

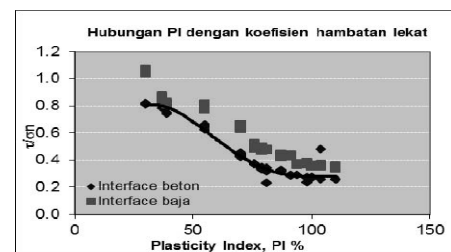
Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas friksi tiang saat mengalami perubahan kadar air, pengistirahatan setelah pembebanan, pengaruh jenis material tiang, dan pengaruh lokasi tanah. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat membantu memberikan informasi kepada pembaca tentang pentingnya memperhatikan daya dukung tiang dalam perencanaan pondasi tiang pancang pada tanah lempung, khususnya kapasitas friksi tiang yang dipengaruhi oleh kadar air, waktu, dan jenis material tiang pancang.

3. LANDASAN TEORI

Kadar air secara signifikan mempengaruhi kohesi tanah. Sejalan dengan kenaikan kadar air, kohesi tanah menurun. Peningkatan kadar air dapat merubah jarak antar partikel, dan menurunkan kekuatan ikatan antar partikel. Penurunan kekuatan ikatan ini menghasilkan penurunan kohesi dan kekuatan geser dari tanah itu sendiri. Keadaan *drying* dan *wetting* berpengaruh besar terhadap kapasitas friksi dari pondasi tiang di area zona aktif. Kapasitas friksi menurun dengan diikuti kenaikan kadar air. Berbagai variasi kapasitas friksi antara kadar air 51,18% sampai 22,25% adalah 8,7 kali. Hasil ini mendukung desain pondasi untuk mengabaikan kapasitas friksi pada zona aktif. Hubungan variasi kadar air dengan kekuatan geser dapat dilihat pada **Gambar 1** (Tjandra, Indarto, & Soemitro, 2013).



Gambar 1. Kekuatan Geser – Kadar Air
Sumber : Tjandra, Indarto, & Soemitro (2013)



Gambar 2. Indeks Plastisitas – Koefisien Lekatan
Sumber : Amir, Perdana, & Suwono (1999)

Makin banyak kandungan lempung dalam tanah tentunya makin kurang lekatan atau adhesi pada permukaan tiang. Banyaknya kandungan lempung ini diindikasikan oleh besarnya index plastisitas tanah, IP. Makin besar IP, makin kecil lekatan atau adhesi tanah pada permukaan tiang. Hubungan variasi koefisien hambatan lekat dengan kekuatan geser dapat dilihat pada **Gambar 2** (Amir & Perdana, & Suwono, 1999).

4. METODOLOGI PENELITIAN

Tanah yang digunakan sebagai pengambilan sampel berasal dari daerah Pakuwon Indah dan Gayung Sari. Sampel tanah merupakan tanah lempung ekspansif (Pakuwon Indah) dan tidak ekspansif (Gayung Sari). Dalam pelaksanaan pada penelitian ini dilakukan tahapan seperti berikut :

4.1 Tahap Pertama

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan metode percobaan yang akan digunakan dan menetapkan runtutan pengerjaan agar dapat dilakukan seefisien mungkin. Setelah langkah pengerjaan telah ditetapkan, maka dipilih lokasi untuk pengambilan sampel. Selanjutnya dapat dipersiapkan peralatan yang akan digunakan, meliputi alat untuk pengambilan sampel seperti cangkul yang digunakan untuk menggali tanah, pipa PVC yang digunakan sebagai wadah, penutup plastik/*plastic wrap* agar tanah dapat dijaga dalam kondisi *undisturb*, model tiang baja dan beton dengan diameter 1 cm dan panjang ± 15 cm.

4.2 Tahap Kedua

Melakukan pengambilan sampel di lapangan. Sampel yang diambil berupa tabung PVC yang diisi penuh tanah. Tanah pada daerah yang telah ditentukan digali sedalam 1 meter, kemudian tabung dimasukkan ke dalam tanah. Setelah tabung terisi tanah, maka tabung akan diangkat. Tanah yang berada di luar tabung akan dibersihkan. Tanah yang telah siap akan dibungkus dengan *plastic wrap* hingga rapat. Kemudian tabung akan ditutup dengan kain basah dan tanah diangkut ke laboratorium Mekanika Tanah UK Petra.

4.4 Tahap Ketiga

Melakukan pengetesan karakteristik tanah dasar, *water content*, *specific gravity*, *liquid limit*, *plastic limit*, *shrinkage limit*, *unconfined compression test*, analisa hidrometer. Setelah mengetahui karakteristik tanah, langkah berikutnya adalah membuat tanah sesuai dengan kondisi pada perencanaan awal. Sampel tanah Pakuwon Indah, *drying* 10 %, 20%, 30%, 40% dan *wetting* 5%, 10%, 15%, 20%. Sementara untuk tanah Gayung Sari, *drying* 10 %, 20%, 30%, 40%, 50% dan *wetting* 7,5%, 15%. Proses yang digunakan untuk mencapai kondisi *drying* dan *wetting* adalah dengan memperhitungkan berat sampel, untuk proses *drying* tabung akan dibuka hingga mencapai berat yang dituju, sebaliknya untuk proses *wetting* tanah akan dibasahi. Setelah berat yang dituju tercapai, sampel tanah akan didiamkan selama 3 hari supaya kondisi tanah rata untuk setiap bagian. Pada percobaan ini akan disiapkan 3 tabung untuk masing-masing variabel kadar air tanah yang akan digunakan untuk model tiang beton, baja, dan *Unconfined Compression Test*. **Tabel 1** di bawah ini adalah wc tujuan dari masing-masing variasi kadar air pada masing-masing jenis sampel tanah.

Tabel 1. Variasi Kadar Air dan wc Tujuan

| | Variasi Kadar Air (wc Tujuan) | | Variasi Kadar Air (wc Tujuan) |
|---------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Pakuwon Indah | <i>DRYING</i> 40% (24%) | Gayung Sari | <i>DRYING</i> 50% (22,5%) |
| | <i>DRYING</i> 30% (28%) | | <i>DRYING</i> 40% (27%) |
| | <i>DRYING</i> 20% (32%) | | <i>DRYING</i> 30% (30,5%) |
| | <i>DRYING</i> 10% (36%) | | <i>DRYING</i> 20% (36%) |
| | <i>INITIAL</i> (40%) | | <i>DRYING</i> 10% (40,5%) |
| | <i>WETTING</i> 5% (42%) | | <i>INITIAL</i> (45%) |
| | <i>WETTING</i> 10% (44%) | | <i>WETTING</i> 7,5% (48%) |
| | <i>WETTING</i> 15% (46%) | | <i>WETTING</i> 15% (51%) |
| | <i>WETTING</i> 20% (48%) | | |

4.5 Tahap Keempat

Setelah kadar air tanah sesuai dengan harapan, maka tiang beton atau baja dimasukkan dan pengujian beban (*loading test*) dilakukan. *Loading test* ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas friksi dan penurunan dari tiang yang sedang dibebani. Setelah nilai *load dialnya* konstan maka pengujian dihentikan. Nilai *load dial* ini merupakan nilai *initial* (0 hari). Setelah 1 hari dari saat pengujian maka akan dilakukan pembebanan kembali, begitu pula untuk parameter waktu selanjutnya. Sedangkan satu tabung sisanya digunakan untuk uji *Unconfined Compression Test*.

4.6 Tahap Kelima

Ketika data dari hasil percobaan telah terkumpul, maka data tersebut diolah sehingga menghasilkan angka-angka yang mampu diinterpretasikan. Hasil data dapat berupa tabel maupun grafik sehingga dengan mudah dibandingkan dan ditarik kesimpulan. Di samping itu dilakukan evaluasi sehingga data yang dihasilkan dapat bernilai lebih akurat.

5. ANALISA DATA

5.1 Hasil Uji Karakteristik Tanah

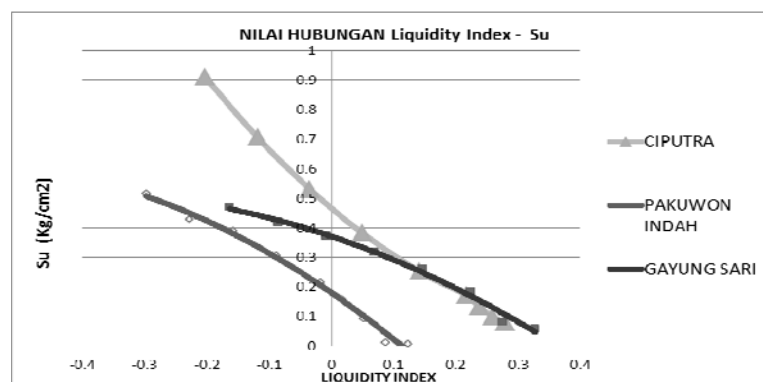
Uji karakteristik terhadap sampel tanah dimaksudkan untuk mendapatkan informasi tentang sifat dan komposisi mineral tanah. Hasil dari pengujian karakteristik tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**, di mana karakteristik tanah Ciputra berdasarkan penelitian yang dilakukan Loahardjo & Goni (2013). Melalui hasil ini, sifat tanah sampel dapat dikenali. Tanah sampel merupakan tanah CH, tanah lempung dengan pastisitas tinggi. Berdasar hubungan antara mineral dalam tanah lempung dengan batas Atteberg, tanah sampel merupakan tanah dengan kandungan mineral *kaolinite* (Loahardjo & Goni, 2013). Hasil uji karakteristik tanah Pakuwon Indah, khususnya batas plastis (PL) 41% dan indeks plastisitas (IP) 58% dan berdasar hubungan antara mineral dalam tanah lempung dengan batas Atteberg, tanah sampel merupakan tanah dengan kandungan mineral *illite*. Sedangkan pada sampel tanah Gayung Sari dan Ciputra memiliki kandungan mineral *kaolinite*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tes Karakteristik Tanah

| | Pakuwon Indah | Gayung Sari | Ciputra |
|----------------------|---------------|-------------|---------|
| Kadar Air (wc) | 40 | 45 | 44,50 |
| Berat Jenis (Gs) | 2,69 | 2,61 | 2,69 |
| Liquid Limit (LL) | 98 | 90 | 86 |
| Plastic Limit (PL) | 41 | 32 | 33 |
| Plastic Index (PI) | 57 | 58 | 53 |
| Shrinkage Limit (SL) | 25 | 26 | 13 |

5.2 Perhitungan Kuat Geser Tanah

Dalam penelitian ini, untuk menghitung kuat geser tanah pada masing-masing sampel tanah peneliti menggunakan dua metode yaitu *Unconfined Compression Test* dan *Vane Shear Test*. Dalam penelitian ini, seluruh sampel tanah yang mengalami *drying* akan digunakan pengujian *Unconfined Compression Test* untuk uji kuat geser tanah. Pada sampel tanah Pakuwon Indah, tanah dengan *wetting* 5%, 7% menggunakan metode *Unconfined Compression Test*, sedangkan tanah dengan *wetting* 15%, 20% menggunakan *Vane Shear Test*. Pada sampel tanah Gayung Sari, tanah dengan *wetting* 7.5% dan 15% menggunakan metode *Vane Shear Test*. Hubungan antara S_u dengan *Liquidity Index* dari ketiga jenis sampel tersebut dapat dilihat dari **Gambar 3**.



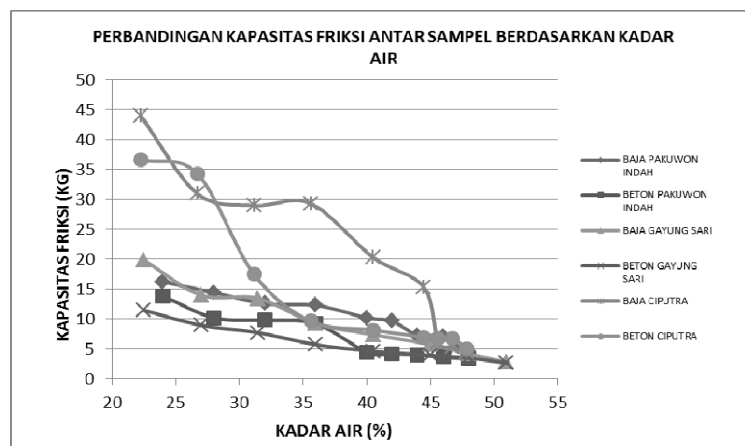
Gambar 3. Hubungan Liquidity Index – Su.

Dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa *Liquidity Index (LI)* sangat mempengaruhi kuat geser tanah, hal itu dapat dilihat dari **Gambar 3** bahwa semakin besar *LI*, maka kuat geser tanah semakin kecil. Pada sampel tanah Ciputra memiliki peningkatan kuat geser yang lebih besar dibandingkan dengan sampel tanah Pakuwon Indah dan Gayung Sari. Hal ini mungkin terjadi dikarenakan sampel tanah Ciputra mempunyai sifat ekspansif/*swelling* yang tinggi sehingga pada saat kondisi *drying*, sampel tanah Ciputra mengalami penyusutan dengan cepat yang mengakibatkan sampel tanah Ciputra mempunyai peningkatan kuat geser tanah paling besar di antara sampel tanah yang lainnya.

5.2 Tes Pembebanan Model Tiang

5.2.1 Variabel Perbedaan Kadar Air Tanah

Pada **Gambar 4** dapat diketahui bahwa kadar air dalam tanah sangat mempengaruhi kapasitas friksi tiang pancang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kadar air dalam tanah, maka akan semakin kecil kapasitas friksi yang dihasilkan, sebaliknya jika kadar air dalam tanah semakin sedikit, maka kapasitas friksi tiang pancang akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas friksi tiang berbanding terbalik dengan nilai kadar air dalam tanah, dan hal ini terjadi pada semua jenis sampel dari ketiga jenis sampel tanah lempung yang diambil dari 3 daerah yang berbeda. Pada semua sampel tanah, saat kondisi *drying*, peningkatan kapasitas friksi terbesar rata-rata terjadi pada saat *drying* 20%-30%, baik pada tiang beton maupun baja.



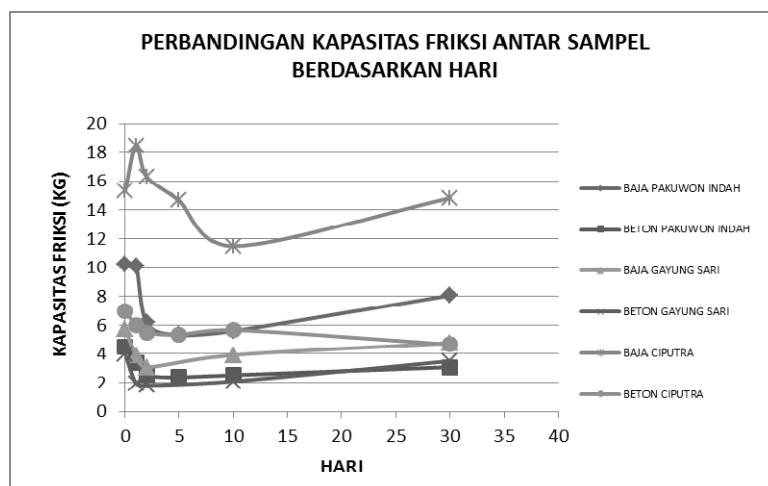
Gambar 4. Perbandingan Kapasitas Friksi antar Sampel Berdasarkan Kadar Air.

Pada saat kondisi *wetting*, penurunan kapasitas friksi tiang lebih sering terjadi. Kapasitas friksi tiang baja sampel tanah Pakuwon Indah, pada *wetting* 15% memiliki nilai 1.3 kali lebih besar dari *wetting* 20%, *wetting* 10% memiliki nilai 1.1 kali lebih besar dari *wetting* 15%, *wetting* 5% memiliki nilai 1.2 kali lebih besar dari *wetting* 10%. Hal ini mungkin dikarenakan sampel tanah telah berada dalam kondisi jenuh 100%. Ketika kadar air lebih besar dari nilai batas plastis tanah, peningkatan kapasitas friksi terhadap kadar air tidak terlalu besar. Hal ini menunjukkan pentingnya pengaruh kadar air terhadap peningkatan atau penurunan kapasitas friksi tiang baik dipengaruhi jenis material atau tidak.

5.2.2 Variabel Pengaruh Umur Pengistirahatan

Pengistirahatan tiang setelah pemancangan memberikan penambahan kapasitas friksi yang cukup berarti ketika sampel tanah mengalami kondisi *drying*, lain halnya pada saat kondisi *wetting*, tidak terjadi peningkatan kapasitas friksi yang cukup berarti seiring dengan berjalannya waktu setelah pemancangan.

Pada kondisi *initial*, pengistirahatan tiang tidak memberikan pengaruh besar pada penambahan kapasitas friksi tiang. Pada sampel tanah Pakuwon Indah mulai mengalami peningkatan kapasitas friksi pada saat umur pengistirahatan 30 hari, baik tiang beton maupun tiang baja. Akan tetapi pada sampel tanah Gayung Sari mulai mengalami peningkatan kapasitas friksi tiang saat umur pemancangan 10 hari. Pada sampel tanah Pakuwon Indah, kapasitas friksi saat awal pemancangan lebih besar 1.5 kali lipat dari kapasitas friksi tiang setelah diistirahatkan 30 hari. Hal ini terjadi mungkin dikarenakan metode yang dilakukan kurang tepat. Pengaruh pengistirahatan tiang ini terlihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Perbandingan Kapasitas Friksi antar Sampel Berdasarkan Umur

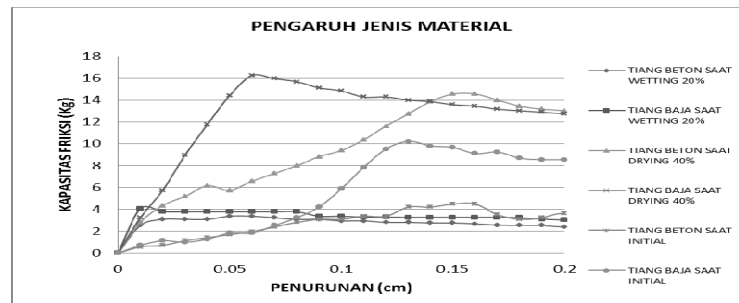
Pada kondisi *drying* pada masing-masing sampel tanah, pengistirahatan tiang cukup memberikan pengaruh pada kapasitas friksi tiang. Peningkatan kapasitas friksi tiang mulai terjadi pada saat umur pengistirahatan 5 hari. Pada saat waktu pengistirahatan 30 hari, kapasitas friksi tiang lebih besar 1.5 kali lipat daripada kapasitas friksi tiang pada saat awal pemancangan. Hal ini mungkin terjadi karena pada saat tanah mengalami kondisi *drying* tanah akan mengalami pengurangan kadar air yang mengakibatkan tanah menjadi lebih kuat dari kondisi sebelumnya, ditambah tanah mengalami waktu pengistirahatan yang cukup lama yaitu 30 hari sehingga menghasilkan nilai kapasitas friksi tiang pancang yang lebih besar daripada pada hari awal pemancangan dilakukan.

Pada kondisi *wetting* tidak ada peningkatan kapasitas friksi tiang yang berarti, namun justru penurunan kapasitas friksi tiang yang terjadi. Nilai kapasitas friksi tiang setelah pengistirahatan 30 hari juga tidak lebih besar daripada awal pemancangan. Hal ini sesuai dengan apa yang telah dikatakan dalam bab sebelumnya bahwa 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. Peningkatan kapasitas friksi mulai terjadi setelah pengistirahatan 10 hari, baik pada tiang beton maupun baja.

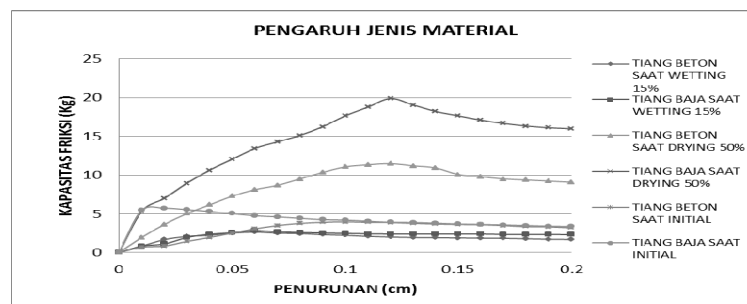
5.2.3 Variabel Jenis Tiang

Berdasarkan hasil penelitian didapati bahwa nilai kapasitas friksi tiang baja lebih besar dibandingkan nilai kapasitas friksi tiang beton dengan ukuran yang sama, pada kondisi kadar air, dan waktu yang sama. Hal ini terjadi karena tiang baja mempunyai permukaan gesek yang lebih besar daripada tiang beton, sehingga menyebabkan tiang baja mempunyai kapasitas friksi yang lebih besar daripada tiang beton. Selain itu dikarenakan hisapan (*suction*) oleh tanah pada tiang baja lebih tinggi dibandingkan pada tiang beton. Hisapan yang lebih besar pada tiang baja dipengaruhi oleh mineral yang terkandung dalam tanah lempung.

Nilai kapasitas friksi antara tiang baja dan tiang beton mempunyai perbedaan yang cukup besar seperti yang terlihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** dibawah ini. Pada saat kondisi *wetting* maksimum, yaitu *wetting* 20% untuk sampel tanah Pakuwon Indah dan *wetting* 15% untuk sampel tanah Gayung Sari, tidak menimbulkan perbedaan kapasitas friksi yang cukup berarti antara tiang baja dan tiang beton.



Gambar 6. Hubungan Penurunan – Kapasitas Friksi – Jenis Material pada Sampel Tanah Pakuwon Indah.



Gambar 7. Hubungan Penurunan – Kapasitas Friksi – Jenis Material pada Sampel Tanah Gayung Sari.

Reaksi oksidasi antara tiang besi dan air yang sulit terjadi menyebabkan karat tidak mudah muncul pada tiang di dalam tanah dengan kadar air tinggi. Akan tetapi pada saat kondisi *drying* maksimum, perbedaan kapasitas friksi yang cukup besar terjadi, tiang baja memiliki kapasitas friksi 1.75 kali lebih besar daripada tiang beton. Pada saat kondisi kadar air rendah, kemungkinan untuk terjadinya proses oksidasi lebih besar daripada tanah dengan kondisi kadar air tinggi.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

1. Tanah lempung yang diambil dari daerah yang berbeda akan mempunyai kuat geser tanah dan kapasitas friksi yang berbeda pula. Dapat dikatakan bahwa ternyata hasil penelitian terdahulu tidak universal, dan unik untuk setiap lokasi.
2. Pada kondisi *initial*, pengistirahatan tiang tidak memberikan pengaruh besar pada penambahan kapasitas friksi tiang.
3. Pada kondisi *drying* maksimum, pengistirahatan 30 hari menghasilkan kapasitas friksi tiang yang lebih besar daripada saat awal pemancangan yaitu sebesar 1,5 kali lipat.
4. Pada saat kondisi *wetting* maksimum, tidak terjadi perbedaan kapasitas friksi tiang yang cukup berarti antara tiang baja dan tiang beton.
5. Jenis material juga mempengaruhi kapasitas friksi tiang. Hal ini terbukti dari tiang baja yang mempunyai kapasitas friksi yang lebih besar daripada tiang beton.
6. Hasil dari penelitian ini hanya bisa dijadikan patokan untuk tiang pada kedalaman tanah yang dangkal.

6.2 SARAN

1. Pemerataan kadar air tidak bisa dilakukan sempurna.
Kadar air yang terjadi pada seluruh lapisan tanah dalam tabung sampel kemungkinan tidak rata. Selain itu pada proses *wetting* ada proses pengrusakan tanah. Oleh karena itu beberapa usulannya sebagai berikut:
 - Melubangi tabung sehingga pengeringan dan pembasahan dapat merata meskipun bagian tengah masih belum dapat terjangkau sempurna.
 - Merendam sampel dalam air untuk proses *wetting*,
 - Setelah percobaan *loading test* maka langsung menghitung kadar air, sehingga kadar air tanah dapat ditentukan dengan pasti.
2. Pada saat melakukan *curing* perlu diperhatikan dengan baik supaya air tidak masuk mengalir ke bagian tengah tabung dimana tiang berada karena hal itu dapat menyebabkan pembacaan nilai *load dial* menjadi kurang *valid*.
3. Hasil yang didapat dari variabel waktu kurang bisa menampilkan kemampuan *recovery* tanah. Pengulangan berulang-ulang untuk hasil variabel waktu kurang dapat dipercaya karena ketika terjadi pemancangan tanah telah rusak dan bila pengistirahatan dilakukan, *recovery* tanah yang terjadi tidak dapat menunjukkan keadaan awal tanah. Disarankan untuk melakukan percobaan dengan masing-masing variabel waktu pada satu macam model agar hasil yang didapatkan lebih menunjukkan keadaan asli sampel tanah.

7. DAFTAR REFERENSI

- Amir, Y., Perdana, A., Tjandrawibowo, S., Suwono, I. J. (1999). “*Hubungan Indeks Plastisitas Tanah dengan Sudut Geseknya terhadap Material Tiang Pondasi.*” <<http://repository.petra.ac.id/5952/>> (Mei 12, 2014)
- Loahardjo, L., Goni, S. R., Tjandra, D., Suwono, J. (2013). “Studi Mengenai Kapasitas Friksi Tiang Pada Tanah Lempung Ekspansif yang Ditinjau dari Kadar Air Tanah, Waktu, dan Material.” *Dimensi Pratama Teknik Sipil*, Vol. 2, No.2.
- Tjandra, D., Indarto, & Soemitro, R. (2013). “The Effects of Water Content Variation on Adhesion Factor of Pile Foundation in Expensive Soil.” *Civil Engineering Dimension*, Vol. 15, No. 2.