

PERUBAHAN KEKUATAN GESER TANAH LEMPUNG JENUH AKIBAT PEMANCANGAN

Ligis Ebel Meinata¹, Andrew Setiawan², Gogot Setyo Budi³

ABSTRAK : Pemancangan pondasi tiang pada tanah lempung mengakibatkan desakan butiran tanah dan meningkatkan tekanan air pori. Hal ini dapat mengakibatkan turunnya kekuatan geser tanah di sekitar pondasi tiang.

Penelitian ini, mempelajari besarnya pengaruh kekuatan geser tanah lempung jenuh akibat pemancangan di sekitar model tiang pancang. Pengukuran tegangan geser tanah dilakukan pada titik-titik dengan jarak tertentu dari tiang pancang dengan menggunakan *vane shear test*. Selain itu, pengaruh waktu terhadap kekuatan geser tanah juga diteliti.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa setelah pemancangan model tiang diameter 5 cm dan 7,5 cm, tanah yang berada pada area di antara dinding tiang hingga radius 2D (2 kali diameter tiang) mengalami penurunan kekuatan geser yang besar. Namun pada interval waktu antara 3 hari sampai 7 hari, kekuatan tanah di sekitar model tiang sudah kembali pada kekuatan awalnya.

KATA KUNCI: tanah lempung, pemancangan, tegangan geser

1. PENDAHULUAN

Akibat pemancangan, area di sekitar tiang akan terganggu. Pada lapisan pasir butiran tanah menjadi padat (Widjaja, 2006), namun pada tanah lempung jenuh, tekanan air pori akan meningkat dan hal ini dapat menurunkan kekuatan geser tanah (Poulos, 1980). Kekuatan geser tanah yang telah rusak ini seiring dengan waktu dapat kembali dengan sendirinya karena berkurangnya tekanan air dalam tanah, yang disebut proses *thixotropy*. Tingkat kerusakan tanah dan kembalinya kekuatan tanah di sekitar tiang pancang bergantung dari jarak dan waktu untuk relaksasi. Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui besarnya kekuatan geser tanah lempung yang disebabkan oleh pemancangan di sekitar pondasi.
- Mengetahui selang waktu berlangsungnya proses kembalinya kekuatan tanah.

2. LANDASAN TEORI

Menurut Mitchell (1960) dan Jacobson & Pusch (1972), mekanisme kelakuan *thixotropic* pada tanah liat dapat dijelaskan sebagai berikut. Material tanah lempung *thixotropic* diusik (dengan cara diaduk-aduk, dikocok, dipadatkan, diremas-remas), menyebabkan terputusnya rangkaian antara partikel-partikel tanah lempung tersebut. Partikel-partikel tersebut kemudian membentuk struktur yang lebih sesuai dengan energi pengusikan (*remolding*) tadi. Pada saat gaya-gaya pengusikan yang bekerja berakhir, maka struktur yang dibentuk partikel-partikel tadi tidak lagi seimbang dengan gaya-gaya antar partikel. Akibatnya partikel-partikel tersebut kemudian membentuk gumpalan-gumpalan kembali

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, ligisebel@gmail.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, andrew.setiawan@live.com

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

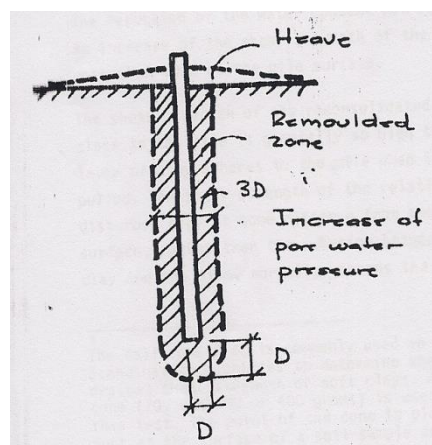
seperti struktur semula, itu tergantung pada banyaknya partikel-partikel yang sangat kecil dan tergantung juga pada kebebasan untuk bergerak dari partikel-partikel tersebut. Proses kembalinya kekuatan tanah lempung juga disebabkan oleh karena disipasi tekanan air pori yang berhubungan dengan waktu.

Ketika tiang dipancang ke dalam tanah, ada area di sekitar tiang akan mengalami *disturbance* dan *remolding*. Tiang tersebut mendesak tanah di sekitar tiang, memaksa tanah berpindah ke arah samping tiang. Broms (1981) menyatakan bahwa *displacement* dari tanah yang mulanya mengisi tempat tiang pancang tersebut sebagian akan menyembul ke atas dan menimbulkan *heave* seperti terlihat pada **Gambar 1**, di mana sisanya akan menstimulasi tekanan air pori negatif pada tanah sehingga akan berujung pada turunnya kekuatan geser tanah. Pada **Gambar 1** tersebut juga dijelaskan bahwa *remolded zone* akibat pemancangan terjadi hingga radius 1D dari tiang pancang.

Bozozuk et al. (1978) dalam penelitiannya menemukan bahwa tekanan air pori akibat pemancangan *pile group* pada tanah lempung *marine* sensitif meningkat. Peningkatan tekanan air pori ini mencapai 100-150% pada area di dekat *pile group* dengan kedalaman sekitar 9m (8,8m), dan pada area dengan radius lebih jauh, peningkatan tekanan air pori ini lebih kecil. Disipasi tekanan air pori ini bervariasi antara 200 hingga 250 hari setelah pemancangan. Peningkatan tekanan air pori tercatat hingga 35% - 40% lebih besar dari *overburden pressure*. Ternyata ditemukan bahwa setelah pemancangan, kekuatan geser tanah turun rata-rata sebesar 15% jika diuji dengan menggunakan *Vane Shear Test*, sedangkan jika menggunakan pengujian *Swedish Fall Cone Test*, penurunan kekuatan geser dapat mencapai 30%.

Randolph et al. (1979) menyatakan bahwa pemancangan akan mengubah tegangan pada tanah secara signifikan hingga pada jarak 20 kali radius (10D). Namun menurut de Mello (1969), penurunan kekuatan geser akibat pemancangan bisa mencapai 100% pada area antara dinding tiang hingga 1,5 sampai 2 kali diameter tiang. Penelitian Orrje dan Broms (1967) tentang tiang pancang beton menunjukkan bahwa kohesi tanah *undrained* akan hampir mencapai kekuatan awal dalam waktu 9 bulan.

Setelah beberapa saat, tanah yang tadinya mengalami kerusakan perlahan-lahan akan memperoleh kekuatan gesernya kembali. Kembalinya kekuatan tanah ini adalah karena penurunan *excess pore water pressure* (Basu et al., 2014). Besarnya penurunan *excess pore water pressure* adalah berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari tiang. Waktu yang diperlukan untuk membuang *excess pore water pressure* adalah berbanding lurus dengan kuadrat dimensi horizontal tiang pancang (Holloway and Beddard, 1995; Soderberg, 1961) dan berbanding terbalik dengan koefisien horizontal dari konsolidasi. Seberapa besar kembalinya kuat geser tanah *remolded* ke kondisi awalnya juga tergantung dari sensitivitas tanah tersebut. Semakin besar derajat sensitivitas tanah tersebut, maka semakin sedikit pula peningkatan kekuatan geser tanah *remolded*.



Gambar 1. Gambar Hubungan antara Diameter dengan Jarak Tanah Disturbed

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan pembuatan kotak sebagai tempat pengujian tanah. Kotak terbuat dari rangka kayu, dengan dinding-dindingnya terbuat dari triplek. Kotak tersebut berukuran 60x60 dengan kedalaman 40 cm. Bagian dalam kotak tersebut dilapisi dengan plastik untuk menahan rembesan air keluar dari kotak. Setelah itu kotak kayu juga dilapisi dengan karung goni yang berfungsi sebagai media penyerapan air.

Contoh tanah lempung diambil dari daerah Krian, Sidoarjo, Jawa Timur. Karakteristik tanah tersebut dipresentasikan dalam **Tabel 1**. Pengujian yang dilakukan meliputi *water content*, *specific gravity*, *plastic limit*, *liquid limit*, dan derajat sensitivitas tanah. Usaha agar tanah menjadi homogen dilakukan dengan cara mengaduk tanah pada kondisi jenuh atau dalam kondisi mendekati cair dan dibuat per lapisan dengan ketebalan ± 10 cm. Setelah itu, tanah tersebut dibebani secara merata hingga beban mencapai $2,16 \text{ t/m}^2$. Pembebanan dilakukan secara bertahap hingga tanah tersebut memiliki kekuatan geser (kohesi) yang cukup. Waktu yang diperlukan untuk pembebanan adalah 1 minggu. Pemancangan dilakukan dengan menggunakan model tiang berupa pipa PVC berdiameter 5 cm dan 7,5 cm. Proses selanjutnya adalah melakukan *vane shear test* secara berkala untuk memonitor proses peningkatan kekuatan geser tanah tersebut. Pengambilan data *vane shear test* adalah berturut-turut sesaat setelah pemancangan, 1 hari, 3 hari, 1 minggu, dan 2 minggu.

Tabel 1. Karakteristik Tanah Uji

Jenis Tanah	Batas Atterberg		Gs
	LL (%)	PL (%)	
Lempung	120	38	2,39
	123	40	2,48
	114	37	2,35
Rata-rata	119	38	2,41
Derajat sensitivitas	1,4		

4. ANALISA DATA

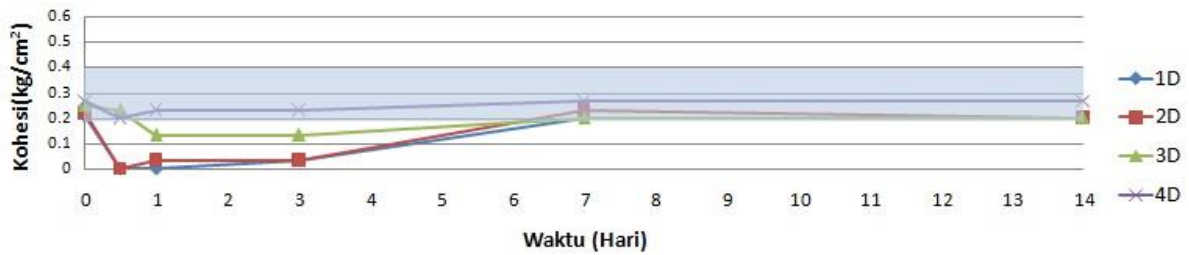
4.1 Hasil Pengujian pada Penelitian 1 (Single Pile $\Phi 2''$)

Melalui **Gambar 2a**, dapat diamati bahwa kekuatan geser tanah awal bervariasi antara $0,2-0,4 \text{ kg/cm}^2$. Daerah yang diarsir biru merupakan *range* kekuatan geser awal dari tanah lempung. Setelah dipancang, kondisi tanah di sekitar tiang menjadi rusak dan akan terjadi *remolded zone*. **Gambar 2b** menunjukkan besarnya kekuatan geser tanah pada kedalaman 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dari permukaan tanah dengan variasi waktu setelah pemancangan.

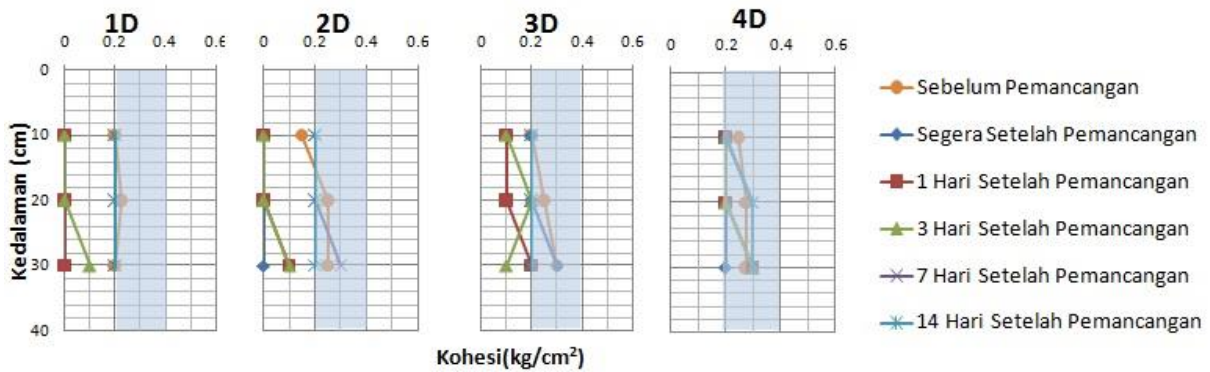
Pada **Gambar 2b**, terlihat bahwa terjadi penurunan kekuatan geser pada area sejarak 2D dari dinding tiang (*shaft*). Sedangkan **Gambar 2a** merupakan rata-rata dari keempat grafik pada **Gambar 2b**. Pada area sejarak 3D juga terlihat adanya penurunan kohesi tanah lempung namun tidak signifikan. Menurut penelitian ini, proses peningkatan kekuatan geser tanah lempung pada kedalaman 30 cm berlangsung lebih cepat daripada tanah pada kedalaman 10 cm dan 20 cm. Proses kembalinya kekuatan geser tanah terjadi pada kurun waktu 3 hingga 7 hari setelah pemancangan. Perubahan kohesi pada tanah lempung terjadi pada saat segera setelah pemancangan, 1 hari setelah pemancangan, dan 3 hari setelah pemancangan. Pada kedalaman 10 cm dan kedalaman 20 cm cenderung menunjukkan hal yang sama, yakni efek pemancangan hanya terjadi hingga sejarak 2D dari dinding tiang (*shaft*).

4.2 Hasil Pengujian pada Penelitian 2 (Single Pile $\Phi 2''$)

Pada **Gambar 3a** dan **Gambar 3b**, dapat diamati bahwa kekuatan geser tanah mula-mula bervariasi



Gambar 2a. Grafik Kohesi terhadap Waktu dengan Variasi Jarak dari Dinding Tiang pada Penelitian 1



Gambar 2b. Grafik Kedalaman terhadap Kohesi dengan Variasi Waktu pada Penelitian 1

dari 0,2 – 0,4 kg/cm². Daerah yang diarsir biru merupakan *range* kekuatan geser awal dari tanah lempung. Setelah dilakukan pemancangan, pada jarak 0 sampai 2D dari dinding tiang terlihat penurunan hingga tanah tidak memiliki kekuatan (**Gambar 3b**). Namun pada titik sejauh 3D dari dinding tiang menunjukkan hasil bervariasi.

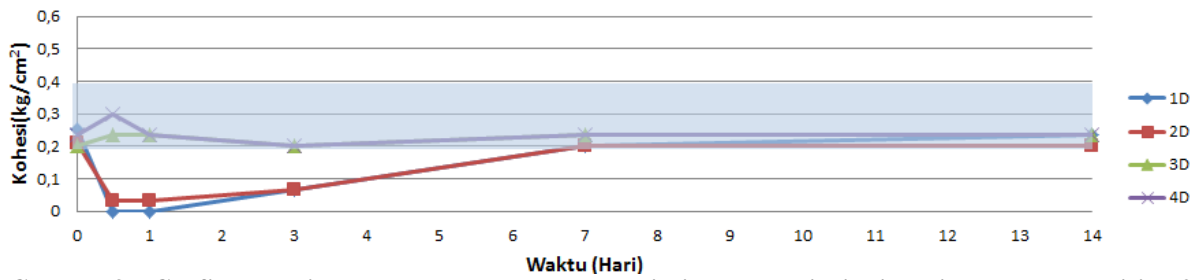
Pada selang waktu 1 hari setelah pemancangan, sampel tanah sudah menunjukkan adanya peningkatan kekuatan geser, namun beberapa data menunjukkan peningkatan yang sangat besar. Hal ini mungkin dikarenakan kesalahan pembacaan hasil uji, tanah yang kurang homogen. Kekuatan berangsur naik hingga selang waktu antara 3 hari hingga 7 hari setelah pemancangan.

Efek pemancangan yang signifikan berada pada rentang jarak 0 hingga 2D (2 kali diameter tiang) dari dinding tiang pancang, sedangkan pada 3D kekuatan geser tanah cenderung konstan. Peningkatan kekuatan terlihat naik secara berkala mengikuti periode pengujian yang telah ditentukan sebelumnya, semakin lama periode pengujian maka semakin besar juga kohesinya.

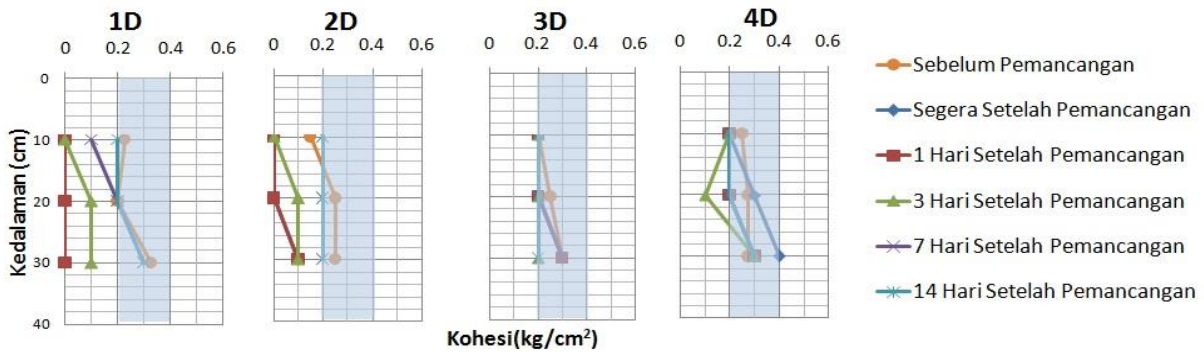
4.3 Hasil Pengujian pada Penelitian 3 (Single Pile Φ3")

Penelitian ke-3 dilakukan dengan menggunakan model tiang yang lebih besar, yakni model tiang dengan diameter 7,5 cm. Karena pada pengujian-pengujian sebelumnya area sejauh 4D dari tiang tidak menunjukkan dampak dari pemancangan, maka pada penelitian ke-3 penelitian dibatasi hingga area sejauh 3D. Pada **Gambar 4a**, terlihat bahwa kekuatan awal nilainya berkisar antara 0,2 – 0,4 kg/cm². Arsiran biru menunjukkan *range* kekuatan awal pada tanah pada pengujian ke-3 ini. Hal ini menyerupai hasil *Vane Shear Test* pada penelitian 1.

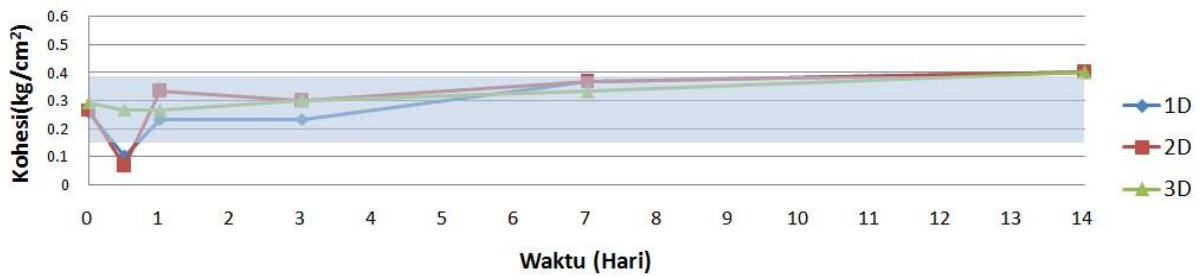
Gambar 4b menunjukkan besarnya kekuatan geser tanah pada kedalaman 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dengan variasi waktu. Dapat terlihat, pada jarak 1D hingga 2D setelah pemancangan, tanah kehilangan kekuatan geser. Selain itu, terlihat bahwa kembalinya kekuatan tanah lempung pada kedalaman 30 cm berlangsung lebih cepat daripada tanah pada kedalaman 10 cm dan 20 cm. Kekuatan geser tanah mulai meningkat pada selang waktu 1 hari setelah pemancangan hingga mencapai kekuatan awalnya pada selang waktu antara 3 hari hingga 1 minggu setelah pemancangan. Pada jarak 3D, hasil penelitian tidak dapat diinterpretasikan karena banyaknya data yang bervariasi (tidak signifikan).



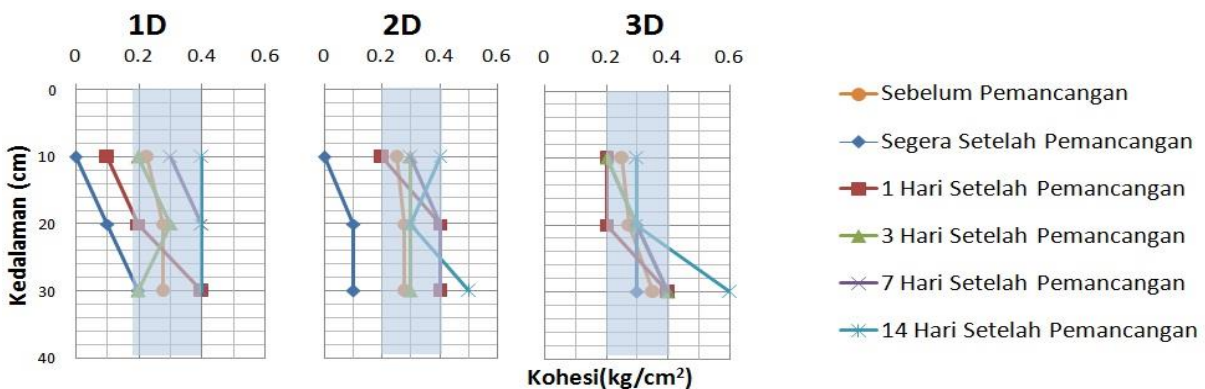
Gambar 3a. Grafik Kohesi terhadap Waktu dengan Variasi Jarak dari Dinding Tiang pada Penelitian 2



Gambar 3b. Grafik Kedalaman terhadap Kohesi dengan Variasi Waktu pada Penelitian 2



Gambar 4a. Grafik Kohesi terhadap Waktu dengan Variasi Jarak dari Dinding Tiang pada Penelitian 3



Gambar 4b. Grafik Kedalaman terhadap Kohesi dengan Variasi Waktu pada Penelitian 3

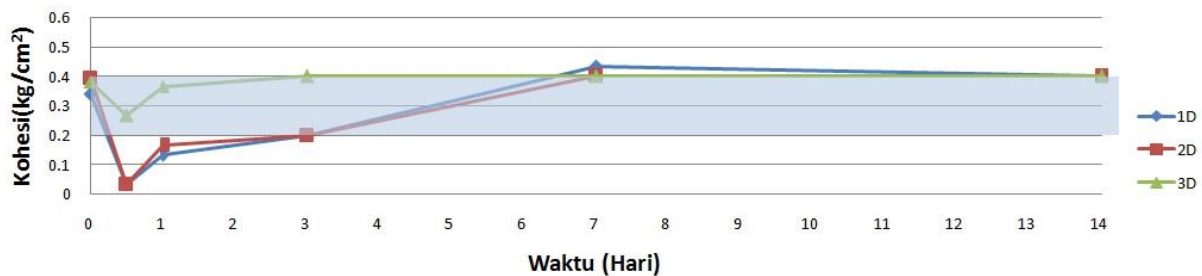
4.4 Hasil Pengujian pada Penelitian 4 (Single Pile $\Phi 3''$)

Pada Gambar 5a dan Gambar 5b, ditunjukkan bahwa kekuatan geser awal tanah pada penelitian ke-4 bervariasi dari 0,2 – 0,4 kg/cm². Sama dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya, daerah yang diarsir biru merupakan range kekuatan geser awal dari tanah lempung dan pada penelitian ke-4, pengujian dilakukan hingga area sejauh 3D (3 kali diameter tiang) dari dinding tiang. Setelah dilakukan

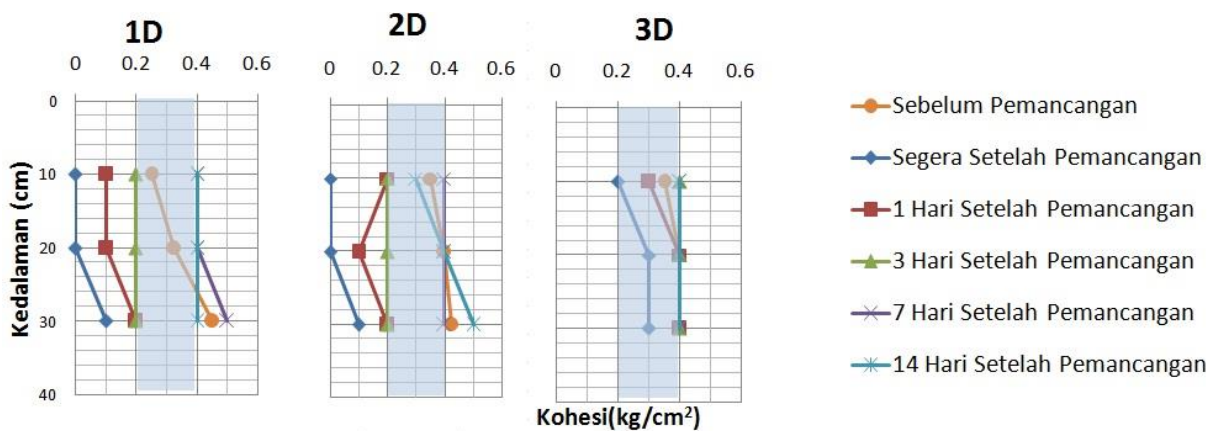
pemancangan, pada area antara dinding tiang hingga 2D (2 kali diameter tiang) dari dinding tiang terlihat penurunan kekuatan geser pada sampel tanah dengan angka terendah 0 kg/cm². Namun pada titik sejarak 3D dari dinding tiang, terlihat adanya penurunan kekuatan geser tanah namun tidak signifikan dan peningkatan kekuatan geser pada tanah terjadi sangat cepat.

Pada selang waktu 1 hari setelah pemancangan, sampel tanah sudah menunjukkan adanya peningkatan kekuatan geser, masing-masing mengalami peningkatan kekuatan geser sebesar 0,1 kg/cm². Kekuatan berangsur naik hingga selang waktu 7 hari setelah pemancangan. Berarti tanah memperoleh kekuatan awalnya pada rentang waktu antara 3 hingga 7 hari.

Efek pemancangan yang signifikan berada pada rentang jarak 0 hingga 2D dari dinding tiang pancang, sedangkan pada 3D kekuatan geser tanah mengalami penurunan, namun tidak signifikan. Peningkatan kekuatan geser naik secara berkala mengikuti periode pengujian yang telah ditentukan sebelumnya, semakin lama periode pengujian maka semakin besar juga kohesinya hingga kekuatan geser tanah kembali pada kekuatan awalnya.



Gambar 5a. Grafik Kohesi terhadap Waktu dengan Variasi Jarak dari Dinding Tiang pada Penelitian 4



Gambar 5b. Grafik Kedalaman terhadap Kohesi dengan Variasi Waktu pada Penelitian 4

5. KESIMPULAN

- Dalam penelitian ini juga didapatkan kesimpulan bahwa efek pemancangan berdampak hingga radius 2D dari dinding tiang pancang.
- Dampak Pemancangan terjadi hampir merata pada kedalaman 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.
- Waktu yang diperlukan untuk mendapat kekuatan awal adalah sekitar 3 hari sampai 7 hari.
- Semakin besar diameter tiang, area yang terganggu juga semakin luas. Area kerusakan tanah di sekitar tiang berdiameter 5 cm dan 7,5 cm masing-masing adalah sebesar 10 cm dan 15 cm dari dinding tiang atau 2 kali diameter tiang (2D).

6. DAFTAR REFERENSI

- Basu et al. (2014). "Shaft Resistance and Setup Factors for Pile Jacked in Clay". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 140, No. 3, 04013026.
- Bozozuk, M., Fellenius, B.H., dan Samson, L. (1978). "Soil Disturbance from Pile Driving in Sensitive Clay". *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 15, No. 3, 340-361.
- Broms, Bengt B. (1981). *Precast Piling Practice*. Thomas Telford, Ltd. London.
- de Mello, V. F. B. (1969). "Foundations of Buildings on Clay". *State of the Art Report. Proceedings of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Mexico*, 49-136.
- Holloway, D. M., Beddard, D.L. "Dynamic Testing Results, Indicator Pile Test Program –I-880, Oakland, California". *Deep Foundations Institute 20th Annual Members Conference and Meeting*, Charleston, South Carolina, 105-126.
- Jacobson, A., Pusch, R. (1972). "Thixotropic Action in Remoulded Quick Clay". *Bulletin of International Association for Engineering Geology*, Vol. 5, No. 1, 105-110.
- Mitchell, J. K. (1993). *Fundamental of Soil Behavior, 2nd ed.* John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ortje, O., Broms, B. B. (1967). "Effects of Pile Driving on Soil Properties". *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, Vol. 93, No. 5, 59-73.
- Poulos, H. G. dan Davis. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley & Sons Inc., Canada.
- Randolph et al. (1979). "Driven Piles in Clay-The Effects of Installation and Subsequent Consolidation". *Géotechnique*, Vol. 29, No. 4, 361-393.
- Soderberg, Lars O. (1961). "Consolidation Theory Applied to Foundation Pile Time Effects". *Géotechnique*, Vol 11, No. 3, 217-225.
- Widjaja, Budijanto. (2006). "Kajian Pengaruh Setup pada Tiang Pancang terhadap Peningkatan Daya Dukung Pondasi (Studi Kasus Porto dan Jakarta)". *Jurnal Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan*, Vol.3, No. 1, 16-26.