

Analisa Perilaku Daya Dukung Friksi Tiang Pancang pada Tanah Lempung

Muhammad Mukhlisin, Budi Hamdani, Erna Novita, Sukoyo, Edy Suhartono, dan Junaidi

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang
mmukhlis2@gmail.com

Abstrak

Pondasi pada konstruksi jembatan pada umumnya menggunakan pondasi dalam berupa tiang. Daya Dukung pondasi tiang dipengaruhi oleh parameter tanah yaitu sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c). Kedua parameter tanah ini dipengaruhi oleh kadar air yang disebabkan oleh perubahan iklim. Pada jenis tanah lempung kondisi tersebut akan mengakibatkan tanah mengalami pengembangan dan penyusutan. Kondisi ini diduga sebagai faktor utama yang mempengaruhi kegagalan struktur pondasi. Penelitian ini menjelaskan pola perilaku perubahan daya dukung friksi pondasi tiang grup akibat perubahan kadar air terhadap waktu melalui pembebanan skala laboratorium. Percobaan dilakukan menggunakan tanah lempung di kampus Politeknik Negeri Semarang, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah. Model menggunakan tanah remolded dengan 4 buah tiang pancang $\varnothing 16$ mm, yang direndam dan didiamkan pada suhu ruang dengan durasi waktu 1,3, dan 7 hari. Penelitian ini menggambarkan sebuah fenomena bahwa jenis tanah lempung yang digunakan setelah mengalami penjuhan dan pengeringan pada suhu ruang, daya dukung friksi tiang tidak kembali seperti kondisi awal walaupun kadar air sudah sama atau lebih rendah dari kondisi awal.

Kata kunci : kapasitas friksi, tanah lempung, kadar air tanah

Abstracts

The foundation of the bridge construction generally uses pole as the deep foundation. The carrying capacity of pile foundation is influenced by soil parameters, which are the internal angle (ϕ) and cohesion (c). Both of these soil parameters are influenced by the water content that caused by climate change. In the type of clay soil, the conditions will lead to soil development and depreciation. This condition is thought to be the main factor affecting the failure of the foundation structure. This study explains the behavioral patterns of change in the carrying capacity of foundation frictions of the group pole due to changes in water content over time through laboratory loading. The experiment was conducted using clay soil at Politeknik Negeri Semarang campus, Tembalang, Semarang, Central Java. The model uses remolded soil with 4 piles sizing $\varnothing 16$ mm, which are immersed and immobilized at room temperature for 1, 3, and 7 days. This study describes a phenomenon that the type of clay soil which used after experiencing saturation and drying at room temperature, the carrying capacity of pole friction does not return as the initial condition even though the water content is equal or lower than the initial condition.

Keywords : friction capacity, clay soil, soil water content

1. Pendahuluan

Seiring dengan program pembangunan infrastruktur tol Trans Jawa yang diharapkan oleh pemerintah sebagai pemacu pertumbuhan ekonomi di pulau Jawa. Terdapat keunikan dalam proses pembangunan, contoh kasus pertama hasil uji PDA (Pile Driving Analyzer) tiang bor dengan diameter 1.85 m dengan panjang 10 m pada pilar jembatan Cengger 2. Tiang no 27 diperoleh daya dukung total 998 Ton, yang terdiri dari daya dukung friksi sebesar 915 ton dan daya dukung ujung sebesar 82.4 ton. Tiang no 28 diperoleh daya dukung total 1537.8 Ton, dengan daya dukung friksi sebesar 1525.7 ton dan daya dukung ujung sebesar 12,1 ton. Hasil pengujian dari 2 tiang bor ini didapatkan perbedaan hasil yang cukup besar dikarenakan setelah pengujian tiang no 28 dan dilanjutkan pengujian tiang no 27, terkendala hujan (± 11 jam) sehingga pengujian dihentikan dan setelah hujan reda dilakukan pengujian tiang no 27. Hasil pengujian ini menunjukkan perbedaan yang signifikan berupa penurunan daya dukung tiang setelah terjadi pembasahan/ kadar air meningkat [1].

Kasus kedua yaitu Jembatan Cisomang (Purwakarta, Jawa Barat) mengalami pergeseran tanah sebesar 1,2 cm pada pondasi, dengan desain tinggi pilar 40 meter membuat pier head bergeser sejauh 52 cm. Sehingga, pilar-pilar mengalami retakan ke atas. Diakibatkan karena salah satu jenis tanah pendukung pondasi merupakan lapisan tanah lempung jenis planosol. Tanah tersebut bisa berubah menjadi lumpur apabila terkena air hujan. Tanah yang sebelumnya kuat untuk menahan pondasi jembatan justru tidak mampu menahan karena terjadi perubahan struktur tanah [2].

Kasus ketiga kerusakan rumah warga daerah Pingit Temanggung dan Penggaron Semarang, pada daerah Pingit terjadi kasus pengembangan tanah lempung yang mengakibatkan pondasi terangkat/jembul sehingga merusak struktur di atasnya. Pada daerah Penggaron terjadi kasus penyusutan tanah lempung yang mengakibatkan pondasi turun/ambles sehingga merusak struktur di atasnya.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan [3], menganalisis efek tumpukan pada interaksi pile grup, dengan software FLAC3D, dengan parameter jarak antara tiang, bentuk kelopak/geometri, dan panjang pile. Efek dari tidak adanya atau adanya tumpukan dalam kelompok tiang dianalisis. Pertama Untuk sudut dan beban yang diberikan, dan meningkatnya jarak tumpukan, interaksi antara 2 tumpukan. Kedua Interaksi 2 tumpukan tanah berkurang dengan meningkatnya sudut.

[4] meneliti tentang daya dukung total kelompok tiang yang terdiri dari penjumlahan daya dukung tiang individu dalam kelompok, dengan kondisi tidak memperhitungkan dan memperhitungkan efek tumpukan akibat tiang kelompok.

Penelitian yang dilakukan [5], tentang daya dukung friksi dari pondasi tiang pada kondisi tanah asli menunjukkan bahwa kenaikan kadar air sebesar 56,19% telah menyebabkan penurunan daya dukung tiang sebesar 90,22%. Disisi lain hasil perhitungan dengan pemodelan numerik menunjukan bahwa bila kedalaman pembasahan bertambah maka daya dukung tiang akan menurun.

[6] menganalisa gesekan kulit negatif (NSF) dari kelompok tiang yang tertanam dalam tanah konsolidasi dengan dasar teori pengaruh luas efektif, model matematika semi empirical untuk memprediksi efek kelompok tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model matematika mempertimbangkan nonlinear konsolidasi tanah & efek kelompok dapat mencerminkan NFS praktis kelompok tiang efektif & akurat. Sementara [7], mengkaji tahanan geser perlawanan antar muka berbagai jenis struktur tanah dengan variasi tanah-beton, tanah-kayu, dan tanah-baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistensi kulit antar muka tanah struktur tergantung pada bahan permukaan struktur dan jenis tanah, perilaku tanah kering berbeda dari tanah lain.

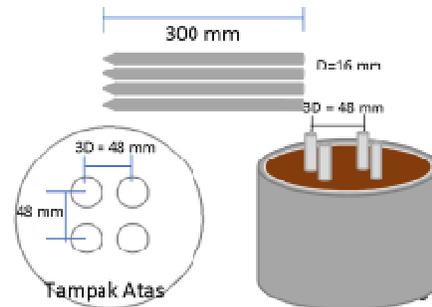
[8] menganalisis efisiensi kelompok tiang terhadap diameter tiang, jarak tiang dan pengaturan tiang dengan menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN). Model ini memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dari pada model konvensional dengan determinasi ($R^2=0,72$) dengan penyimpangan ($MAR = 0,157$ dan $RMSE = 0,23$), sedangkan dengan model konvensional ($R^2 = (0,0001-0,081)$) dan penyimpangan yang lebih tinggi ($MAE = 0,42 - 0,49$) dan ($RMSE = 0,23-0,02$). Sementara [9], melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi kadar air pada faktor adhesi tiang dengan tanah jenis ekspansif. Pengeringan dan pembasahan sangat mempengaruhi kapasitas gesekan pondasi tiang pada zona aktif. Kapasitas gesekan menurun dengan meningkatnya kadar air kekuatan geser undraind menurun dengan meningkatnya kadar air.

Dari beberapa kasus yang terjadi dilapangan dan informasi dari penelitian yang sudah dilakukan, penelitian ini mencoba untuk memperoleh gambaran yang lebih dalam tentang pola perubahan daya dukung friksi tiang grup akibat kadar air seiring berjalannya waktu yang mendekati kasus nyata dilapangan dan dengan menggunakan model percobaan laboratorium. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa perilaku yang timbul akibat perbedaan daya dukung friksi akibat variasi kadar air berdasarkan pengaruh waktu pada pondasi kelompok tiang pada tanah lempung yang ada di kampus Politeknik Negeri Semarang (Polines), Tembalang, Semarang, Jawa Tengah.

2. Metode Penelitian

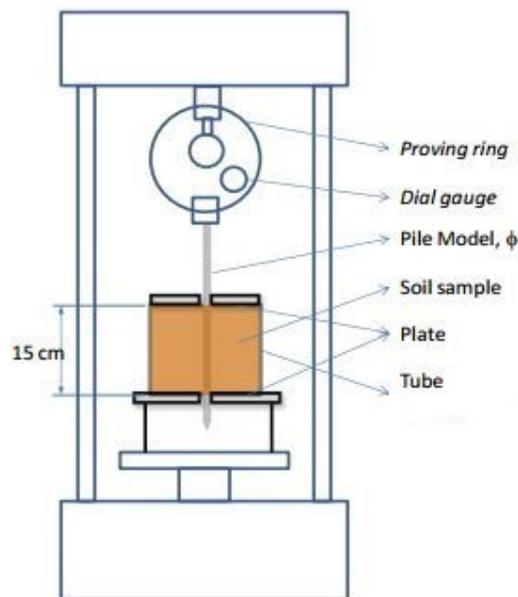
Lokasi pengambilan sample tanah di kampus Politeknik Negeri Semarang, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah yaitu Tembalang (lempung merah) $7^{\circ}3'10''$ LU $110^{\circ}26'3''$ BT. Untuk melihat perilaku perubahan daya dukung friksi pondasi tiang grup akibat kadar air terhadap waktu disusun 3 buah skenario. Skenario pertama dengan merendam benda uji selama 1 hari dan ditiriskan selama 1,3, dan 7 hari. Skenario ketiga dengan merendam benda uji selama 7 hari dan ditiriskan selama 1,3, dan 7 hari. Dan juga dibuat benda uji dengan kadar air asli, sehingga diperoleh 45 buah seri benda uji remolded.

Dalam pemodelan benda uji disusun 4 buah tiang dengan diameter 16 mm, untuk casing dari benda uji sendiri dibuat dari pipa PVC dengan diameter 3" dan tiang pancang digunakan dari mortar mutu tinggi yang dicetak dalam PVC diameter 16 mm sehingga diperoleh tiang beton. Untuk pemodelan tiang pancang dan pemodelan susunan tiang grup disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Susunan Model Tiang Pancang Dengan Jarak Antar Tiang

Alat yang digunakan untuk melakukan uji pembebanan pada tiang pancang tersebut menggunakan alat uji kuat tekan bebas. Cara kerja alat tersebut dengan menyetting alat terlebih dahulu sesuai dengan ketinggian benda uji. Menyediakan tempat pada bagian bawah benda uji sehingga saat diuji tekan ujung tiang tidak menyentuh apapun. Pastikan jarum dial menunjukkan pada angka 0. Pengujian kuat tekan dengan memutar stang putar searah jarum jam dengan kecepatan konstan, saat itulah dilakukan pembacaan dial hingga menunjukkan angka tertinggi sebelum terjadi penurunan untuk kemudian dicatat. Alat pembebanan skala laboratorium diilustrasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pengujian Tahanan Selimut Tiang

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian Properties Sample Tanah, serta kadar air (*water content*) dan batas-batas konsistensi (*atberg limits*) untuk sample tanah lempung Tembalang dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3.

Hasil pengujian kadar air (*water content*) pada tanah kondisi asli diperoleh sebagai berikut, tanah lempung Polines diperoleh (w) 38,71%. Sementara dari uji nilai batas-batas konsistensi (*Atterberg limits*) diperoleh hasil sebagai berikut: pada tanah lempung Polines nilai batas cair (LL) = 56,20 %, nilai batas plastis (PL) = 42,44 % dan indeks plastisitas (PI) = 13,76 % (Tabel 2).

Pengujian tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) dilakukan dengan pada sampel tanah pada kedalaman 1,2 sampai 1,8 meter. Dari beberapa sampel hasil uji tekan bebas diperoleh nilai kuat tekan maksimum dari ketiga jenis tanah lempung adalah sebagai berikut, tanah lempung Polines diperoleh (q_u) = 2,327 kg/cm² berdasar standar ASTM D 2166-66 termasuk kategori *very stiff*.

Sample tanah *Undistrib* dilakukan uji geser langsung (*Direct Shear*). Hasilnya didapatkan, pada tanah lempung Polines nilai kohesi tanah (c) = 0,298 Kg/cm² dan sudut gesek dalam (ϕ) = 27,31°

Tabel 1. Hasil Pengujian Properties Sample Tanah

Parameter, notasi	Satuan	Lempung Tembalang
Specific Gravity, Gs		2,59
Dry Density	g/cm ³	1,28
Void Ratio, e		1,03
Porosity, n		0,51
Degree of Saturation, Sr	%	97,72

Tabel 2. Kadar Air dan Batas Atterberg limits Sampel Tanah

No	Sampel	water content (%)	Atterberg limits (%)		
			LL	PL	PI
1	Polines	38,71	56,20	42,44	13,76

Tabel 3. Material Penyusun Sampel Tanah

No	Tanah	Kadar (%)			
		Gravel	Sand	Silt	Clay
1	Polines	0	14	11	75

3.1 Perbandingan daya dukung dengan kadar air

Tabel 4 pada Skenario 1 (S-1) menunjukkan daya dukung asli sebelum perlakuan sebesar 2,66 kN, kemudian daya dukung turun secara signifikan (39,8 %) menjadi 1,6 kN dengan peningkatan kadar air sebesar 16,42 %. Setelah dilakukan pendiaman pada suhu ruang selama 1 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 10,7 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,24 kN. Pada pendiaman suhu ruang selama 3 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 16,42 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,39 kN. Pada pendiaman suhu ruang selama 7 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 15,23 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,5 kN.

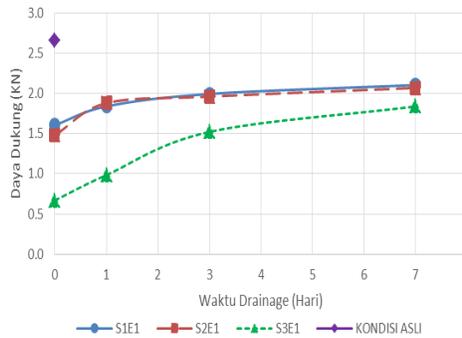
Selanjutnya pada Skenario 2 (S-2) menunjukkan daya dukung asli sebelum perlakuan sebesar 2,66 kN, kemudian daya dukung turun drastis (44,4 %) menjadi 1,48 kN dengan peningkatan kadar air sebesar 21,98 %. Setelah dilakukan pendiaman pada suhu ruang selama 1 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 11,06 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,4 kN. Pada pendiaman suhu ruang selama 3 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 20,19 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,48 kN. Pada pendiaman suhu ruang selama 7 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 23,56 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,59 kN (Tabel 4).

Tabel 4. Hasil Daya Dukung Dan Kadar Air untuk Skenario 1, 2 dan 3

WAKTU (hari)	DAYA DUKUNG (kN)			KADAR AIR (%)		
	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3
ASLI	2,66	2,66	2,66	26,72	26,72	26,72
0	1,60	1,48	0,67	43,14	48,70	52,66
1	1,84	1,88	0,98	32,44	37,64	37,64
3	1,99	1,96	1,52	27,91	28,51	26,39
7	2,10	2,07	1,84	23,95	25,14	24,31

Sedangkan pada Skenario 3 (S-3) menunjukkan daya dukung asli sebelum perlakuan sebesar 2,66 kN, kemudian daya dukung turun drastis (74,8 %) menjadi 0,67 kN dengan peningkatan kadar air sebesar 25,94 %. Setelah dilakukan pendiaman pada suhu ruang selama 1 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 15,02 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,31 kN. Pada pendiaman suhu ruang selama 3 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 26,27 % dan peningkatan daya dukung sebesar 0,85 kN. Pada pendiaman suhu ruang selama 7 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 28,35 % dan peningkatan daya dukung sebesar 1,17 kN (Tabel 4).

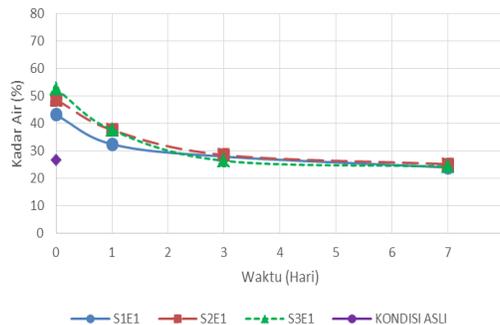
3.2 Daya dukung lempung Polines



Gambar 3. Hubungan Daya Dukung Dengan Waktu Lempung Polines

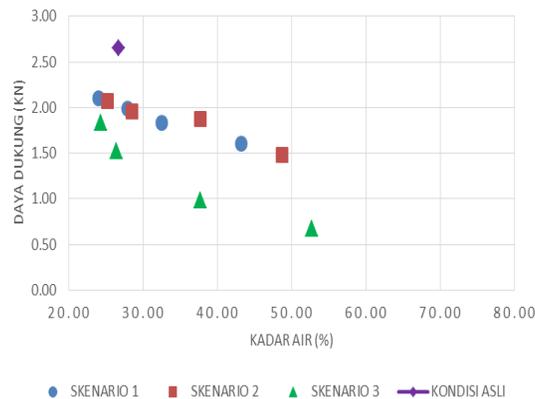
Gambar 3 menunjukkan hubungan antara daya dukung dengan waktu kondisi asli pada lempung Polines sebesar 2,66 kN, daya dukungnya menurun sebesar 39,8 % pada skenario 1, dari kondisi asli ke skenario 2 daya dukung menurun sebesar 55,6 %, dan pada kondisi asli ke skenario 3 daya dukung menurun sebesar 74,8 %. Pada hari ke-7 perlakuan pendiaman dalam suhu ruang, hasil daya dukung skenario 1 dan skenario 2 relatif sama sekitar 2,10 KN.

Kondisi asli lempung Polines sebesar 26,72 %. Perendaman selama sehari meningkatkan kadar air sebesar 16,42 %; perendaman selama 3 hari meningkatkan kadar air sebesar 21,98 %; dan perendaman selama 7 hari meningkatkan kadar air sebesar 25,94 %. Hingga perendaman selama 7 hari kadar air masih mengalami peningkatan, hal ini berarti kondisi tanah lempung dalam keadaan belum jenuh. Perlakuan pendiaman selama 7 hari pada ke-3 skenario menghasilkan kadar air yang relatif sama dan kembali ke kondisi awal.



Gambar 4. Hubungan Kadar Air Dengan Waktu Lempung Polines

3.3 Perbandingan daya dukung dengan kadar air



Gambar 5. Hubungan Daya Dukung Dengan Kadar Air Lempung Polines

Pada Gambar 5 menunjukkan hubungan daya dukung dengan kadar air pada lempung Polines. Kondisi ekstrim yang dialami lempung tersebut daya dukung mencapai 0,67 kN dan kadar air 52,66 % dimana daya dukung kondisi awal 2,66 kN dan kadar air 26,72 %.

4. Kesimpulan

Pengujian daya dukung friksi dalam penelitian ini telah berhasil menggambarkan perilaku daya dukung yang sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air. Perilaku yang timbul adalah daya dukung akan turun drastis seiring dengan meningkatnya kadar air dan mengalami pemulihan daya dukung hingga mendekati kondisi awal melalui proses pengeringan suhu ruang selama 7 hari. Dimana, daya dukung friksi tanah kondisi awal lokasi Tembalang menunjukan sebesar 2,66 kN pada kadar air 26,72 %. lokasi Pingit sebesar 1,81 kN pada kadar air 61,19%. lokasi Penggaron sebesar 2,49 kN pada kadar air 26,90 %.

Hasil karakteristik berdasarkan grain size analysis dari sample yang digunakan dalam penelitian ini Tembalang (sand 14%, silt 11%, clay 75%). Penelitian ini menggambarkan sebuah fenomena bahwa tanah lempung yang digunakan setelah mengalami penjenuhan dan pengeringan pada suhu ruang, daya dukung friksi tiang tidak kembali seperti kondisi awal walaupun kadar air sudah sama atau lebih rendah dari kondisi awal. Hal ini dikarenakan telah terjadi perubahan karakteristik tanah pada jarak antar partikel sehingga mempengaruhi nilai kohesi (ikatan antar partikel). Dimana perubahan nilai kohesi didalam material tanah mempengaruhi kekuatan geser tanah itu sendiri. Sehingga fenomena tersebut sangat mempengaruhi nilai daya dukung friksi pondasi tiang.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kami ucapkan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Semarang yang telah mendanai penelitian ini dengan skim penelitian unggulan Penelitian Program Doktor.

Daftar Pustaka

- [1] PT. Geo Pondasi Testing. Laporan Hasil Pengujian PDA Jembatan Cengger 2 Proyek Tol Semarang-Solo. Jakarta. (2016)
- [2] Tirto. "Pergeseran Jembatan Cisomang". <https://tirto.id/topik/pergeseran-jembatan-cisomang-585cc0cc49d015e91d57dedb>. (26 Desember 2016). (internet)
- [3] Ghazavi M, Ravanshenas P, and Lavasan A.A. "Analytical and Numerical Solution for Interaction between Batter Pile Group". *KSCE Journal of Civil Engineering*. 18(7); 2051-2063. (2014)
- [4] Ruihua Z, Run L, and Yangyang Z. "Analysis of Vertical Bearing Capacity of Single-row Pile Group of an Offshore Platform". *Mechanics and Material Journal*. Vol 188. Pp-54-59. (2012)
- [5] Indarto, I. "Penurunan Daya Dukung Pondasi Tiang Pada Tanah Ekspansif". *Development of Geotechnical Engineering in Civil Works and Geo-Environment*, Yogyakarta. (2011)
- [6] Kong G, Liu H, and Yang Q. "Matematisal Model and Analysis of Negatif Skin Friction of Pile Group in Consolidating Soil". Hindawi Publishing Corporation. Volume 2013. ID 956076. (2013)

-
- [7] Tiwari B, Ajmera, Kaya G. "Shear Strength Reduction at Soil Structure Interface". Geoflorida Advances in Analysis. Gsp 199.ASCE. (2010)
- [8] Hanna A, Morcoux G, and Helmy M. "Efficiency of Pile Groups Installed in Cohesionless Soil using Artificial Neural Networks". Canadian Geotechnical Journal. Vol 41. Number 6. (2004)