

## Studi Model Cerucuk Ferosemen Berlubang Terhadap Kapasitas Beban di Atas Tanah Lunak

Masdar Helmi<sup>1)</sup>, Ardi Elsa Brina<sup>2)</sup>, Fikri Alami<sup>3)</sup>, Iswan<sup>4)</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
Email: [masdar.helmi@eng.unila.ac.id](mailto:masdar.helmi@eng.unila.ac.id)<sup>1)</sup>, [elsabrina23@gmail.com](mailto:elsabrina23@gmail.com)<sup>2)</sup>,  
[fikrialami@gmail.com](mailto:fikrialami@gmail.com)<sup>3)</sup>, [syahiswan72@gmail.com](mailto:syahiswan72@gmail.com)<sup>4)</sup>

Corresponding Author: [elsabrina23@gmail.com](mailto:elsabrina23@gmail.com)

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i2.715>

(Received: February 2022 / Revised: July 2022 / Accepted: August 2022)

### Abstrak

Cerucuk ferosemen merupakan salah satu ide yang bisa dijadikan alternatif mengatasi permasalahan tanah lunak akibat rendahnya daya dukung terhadap beban di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas model cerucuk ferosemen terhadap beban aksial di atas tanah lunak ditinjau dari batas penurunan maksimum 2,54 cm. Terdapat 3 macam kondisi pengujian yaitu cerucuk tunggal berlubang, cerucuk tunggal tertutup dan cerucuk kelompok tertutup pada ujungnya (4 buah silinder). Variasi pengujian cerucuk tunggal berupa lama waktu di dalam tanah lunak, yaitu 1, 3, 7, dan 14 hari. Hasil pengujian dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Deformasi dan tegangan tanah lunak dianalisis menggunakan metode elemen hingga. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas terhadap beban meningkat seiring dengan bertambah lamanya perendaman. Pada variabel 14 hari, kapasitas maksimum cerucuk tunggal berlubang sebesar 0,80 kN dan meningkat drastis pada cerucuk tunggal tertutup sebesar 3,53 kN terjadi peningkatan signifikan sebesar 77,33%. Sedangkan kapasitas cerucuk kelompok tertutup memiliki kapasitas sebesar 9,91 kN.

Kata kunci: *Cerucuk ferosemen, tanah lunak, kapasitas dukung ( $q_{ultimit}$ ), faktor aman, FEM (Finite Element Method).*

### Abstract

Ferrocement pile is an idea to overcome the problem of soft soil which has a low bearing capacity to the load.. This study aims to analyze the bearing capacity of the ferrocement pile model against axial loads on soft soil in terms of the maximum settlement limit of 2.54 cm. There were three conditions of testing: single pile with a hollow at the bottom, single pile closed at the bottom, and group pile closed at the bottom. The variations of the test were the length of immersed in soft soil, namely 1, 3, 7, and 14 days. The deformation and stress were analyzed using a software of FEM (Finite Element Method). The test results show that the capacity of ferrocement pile to the load increases with the increase in the duration of immersion. In the 14-day variable, the maximum capacity in a single hollow ferrocement pile was 0.80 kN and increased significantly in a single closed ferrocement pile of 3.53 kN, or 77.33%. Meanwhile, the group closed ferrocement pile had a capacity of 9.91 kN.

Keywords: *Ferrocement pile, soft soil, bearing capacity ( $Q_{ultimate}$ ), safety factor, FEM (Finite Element Method).*

## 1. Latar Belakang

Dalam pekerjaan konstruksi baik bangunan gedung maupun jalan raya dihadapkan pada pertimbangan akan lokasi bangunan yang memiliki kondisi tanah yang secara geoteknis cocok dan dapat mendukung beban di atasnya. Salah satu jenis tanah yang sulit untuk memenuhi kriteria geoteknis yang baik dan membutuhkan penanganan khusus adalah tanah lunak. Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari partikel halus seperti lempung atau lanau. Tanah lunak juga memiliki kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi sehingga dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang (*WSP International*, 2001). Berbagai macam cara untuk mengatasi permasalahan tanah lunak terus dikembangkan baik menggunakan struktur bahan alami maupun bahan beton.

Seiring dengan perkembangan teknologi, teknik penanganan tanah lunak ini semakin banyak caranya, salah satunya dalam penelitian ini, diciptakan inovasi berupa model cerucuk pancang ferosemen (cerucangfero) berlubang terbuka dan tertutup. Cerucangfero dapat menjadi solusi alternatif yang lebih simpel, efisien dan menguntungkan dalam penanganan perbaikan tanah lunak. Volume tanah yang terkekang dan termampatkan di dalam pipa yang berlubang memberikan gaya perlawanan terhadap beban yang diberikan. Selain itu lekatan tanah di permukaan luar model pipa ferosemen juga semakin memperkuat daya dukung terhadap tanah sehingga dapat mengurangi dan mengantisipasi penurunan pada tanah lunak (Helmi, 2020). Korelasi luasan permukaan lekatan dan volume tanah yang termampatkan belum diketahui dengan jelas. Oleh karena itu pada penelitian ini akan menitikberatkan pada korelasi faktor-faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah lunak terhadap beban di atasnya.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian atas perlakuan benda uji di Laboratorium serta membandingkannya dengan analisis teori dan dengan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*).

### 2.1 Uji Laboratorium

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisis tanah yang meliputi *specific gravity*, kadar air, berat volume, analisa ukuran butiran tanah, dan batas *atterberg*. Sedangkan uji sifat mekanis tanah dilakukan dengan cara uji kuat tekan bebas dan uji triaksial. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Pengujian beban terhadap kapasitas dilakukan dalam sebuah bak baja berukuran 0,8 m x 0,9 m x 1 m.

#### 2.1.1 Bahan Penelitian

Tanah lunak yang digunakan dalam penelitian ini berupa tanah lempung yang berasal dari daerah Rawa Sragi Desa Belimbing Sari Kecamatan Jabung Kabupaten Lampung Timur (Nawawi, 2011). Mortar untuk ferosemen dibuat dari campuran semen, pasir dan air dengan perbandingan 1:2:0,5. Kawat halus yang digunakan berupa kawat jala dengan bukaan persegi berdiameter 0,5 mm dan bukaan 12,5 mm (Djausal, A., 2004).

Benda uji dibuat sebanyak 12 buah model cerucuk pancang ferosemen berbentuk silinder dengan variasi ukuran sebagai berikut:

1. Cerucangfero variabel berlubang tunggal dan tertutup dengan diameter 15,24 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 3 buah untuk masing-masing hari uji pembebanan (1, 3, 7, dan 14 hari).
2. Cerucangfero variabel berkelompok dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 4 buah untuk hari dengan pembebanan maksimal.

Untuk tiang cerucuk kelompok dibuat dengan kelompok persegi 2×2 dengan variasi spasi atau jarak rapat 2,5 d.

### 2.1.2 Pembuatan Benda Uji

Campuran mortar untuk fero semen dalam penelitian ini menggunakan perbandingan berat 1 pasir : 2 semen : 0,5 air (ACI Committee 549 1R, 2009). Bahan campuran fero semen yang sudah disiapkan terlebih dahulu ditimbang sesuai ketentuan dan kemudian diaduk manual hingga rata dengan menambahkan air sedikit demi sedikit, sampai didapatkan adukan mortar sudah memiliki nilai FAS yang cocok untuk pengadukan sebagai proses pembuatan mortar. Mortar tersebut lalu digunakan untuk bahan fero semen benda uji cerucangfero.

Sebelum dilakukan proses pelepasan, dipersiapkan rangka model fero semen yang merupakan cetakan silinder berupa pipa paralon sesuai ukuran benda uji beserta kawat jaring di dalamnya. Kemudian menuangkan adukan mortar ke dalam cetakan pipa yang telah dilapisi oli hingga mortar mengisi ruang penuh batas silinder cetakan pipa dalam. Setelah mortar cukup kering, cetakan pipa yang masih menempel pada model silinder cerucangfero dilepaskan. Setelah cetakan terlepas dengan baik, dilakukan perendaman model silinder cerucangfero selama 7 hari untuk menjaga agar tidak terjadi retak saat proses pengerasan.

### 2.1.3 Pengujian Pembebanan

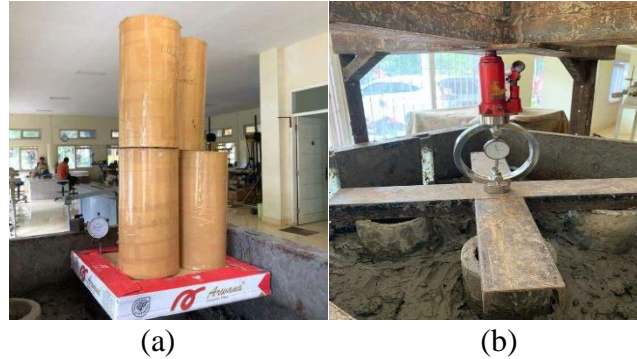
Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, dilaksanakan sesudah cerucangfero didiamkan tertanam di dalam tanah selama variabel hari yang ditentukan (1, 3, 7, dan 14 hari). Pengujian ini dibedakan atas dua jenis, yaitu pengujian model tunggal (3 buah sampel benda uji di tiap pengujian) dan model kelompok dengan variabel hari maksimum. Cerucuk diberikan pembebanan dengan beban manual menggunakan beton silinder dan *Hydraulic Jack* dengan batas penurunan 2,45 cm (D. Nasution *et al.* 2018). Adapun langkah-langkah pengujian pembebanan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan dan sampel tanah yang digunakan
2. Menancapkan 12 benda uji model cerucangfero dan membiarkannya terendam di dalam tanah selama variabel hari yang ditentukan untuk melihat pengaruh perlekatan tanah dengan beton (3 buah benda uji untuk masing-masing variabel hari) sedalam 30 cm.



Gambar 1. Perendaman cerucuk pancang fero semen tunggal

3. Melakukan penstabilan posisi model cerucangfero agar siap untuk pembebanan. Pada masing-masing variabel hari pembebanan, model cerucangfero diberikan beban merata lapis demi lapis berupa beton silinder seberat 12,1 kg untuk cerucangfero tunggal dan menggunakan *Hydraulic Jack* untuk cerucangfero kelompok.



Gambar 2. Uji pembebanan cerucuk pancang ferosemen. (a) Tunggal; (b) Kelompok

4. Dikarenakan keterbatasan fasilitas dan bahan uji di laboratorium, pengujian dilakukan setelah selesai masing-masing variabel hari. Setelah satu variabel hari selesai, model cerucangfero diangkat dan dilakukan rekondisi tanah kembali untuk dilakukan penanaman benda uji variabel hari selanjutnya.
5. Hasil pengujian diplot ke dalam grafik beban vs penurunan dan daya dukungnya ditentukan menggunakan batas penurunan 2,54 cm. Diambil nilai rerata dari 3 kali uji pembebanan pada setiap variasi sampel.

## 2.2 Analisis Teori

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukung lebih kecil dari  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai *standard penetration test* lebih kecil dari 4 (N-value). Jika lapisan tanah lunak dibebani, maka tanah akan mengalami penurunan (*settlement*). Penurunan yang terjadi dalam tanah disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur di atasnya.

### 2.2.1 Metode Terzaghi

Pada penelitian ini di mana fondasi yang dipakai adalah pemodelan dari cerucuk pancang ferosemen yang tertutup dan terbuka di bagian ujungnya maka dipakai rumus untuk fondasi dalam dengan ( $D_f/B > 1$ ) berbentuk lingkaran dengan faktor gesekan dinding fondasi yang diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$P_u' = q_u A_p + \Pi d f_s D_f \quad (1)$$

Keterangan

$P_u'$  = beban ultimit total untuk fondasi dalam (kN)

$q_u = 1,3 cN_c + p_o.N_q + 0,3 \gamma. B.N_\gamma$  (kN/m<sup>2</sup>)

$A_p$  = luas dasar fondasi (m<sup>2</sup>)

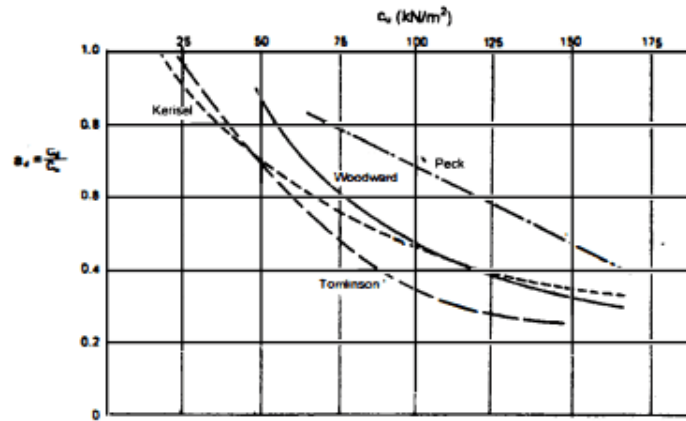
$D = B$  = diameter fondasi (m)

$f_s$  = faktor gesekan

$D_f$  = kedalaman fondasi (m)

### 2.2.2 Metode Meyerhof

Daya dukung fondasi tiang pancang tunggal dapat diperhitungkan berdasarkan pada tahanan ujung maupun akibat gesekan sepanjang badan tiang. Perhitungan kapasitas atau tahanan ultimit selimut tiang ( $f_s$ ) dengan metode Alpha menggunakan rumus yang sangat sederhana yaitu faktor Alpha ( $\alpha$ ) dikalikan dengan kuat geser undrained tanah ( $c_u$ ) (Hardiyatmo, 2003).



Gambar 3 Faktor adhesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (McClelland, 1974).

Tahanan gesek dinding ultimit yang didasarkan pada metode alpha dengan persamaan berikut:

$$Q_s = F_w \cdot \alpha \cdot c_u \cdot A_s \quad (2)$$

Keterangan

$Q_s$  = tahanan gesek dinding ultimit (kN)

$F_w$  = faktor bentuk tiang ( $F_w = 1$  untuk tiang diameter seragam)

$\alpha$  = faktor adhesi antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya ( $\text{kN/m}^2$ )

$c_u$  = kohesi tak terdrainase;  $A_s$  = luas selimut tiang ( $\text{m}^2$ )

Tahanan 'ultimit' ujung ( $q_b$ ) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_b = A_b \cdot c \cdot N_c \quad (3)$$

Keterangan

$Q_b$  = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

$A_b$  = luas penampang ujung bawah tiang ( $\text{m}^2$ )

$c$  = kohesi tanah yang terletak di bawah ujung tiang ( $\text{kN/m}^2$ )

$N_c$  = faktor kapasitas dukung (tanah berbutir halus  $N_c = 9$ )

Dari keduanya didapat dalam persamaan (4)

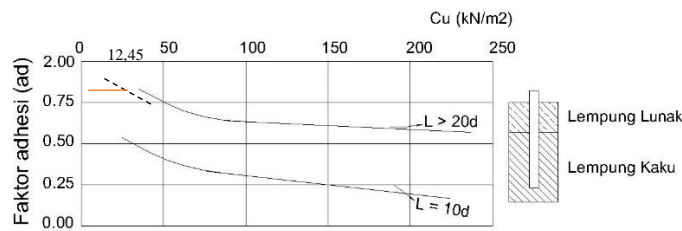
$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \quad (4)$$

### 2.2.3 Metode Tomlinson

Pada metode Tomlinson persamaan tahanan gesek ultimit metode ini adalah sebagai berikut.

$$Q_s = \alpha \cdot c_u \cdot A_s \quad (5)$$

Nilai  $\alpha$  didapatkan dari grafik Tomlinson pada Gambar 4



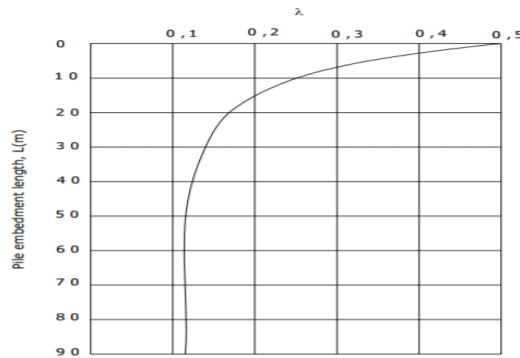
Gambar 4 Hubungan antara faktor adhesi ( $\alpha$ ) dan kohesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung lunak (Tomlinson, 1977)

**2.2.4 Metode Lamda ( $\lambda$ )**

Menurut Vijayvergiya dan Focht, metode ini menggunakan koefisien  $\lambda$  untuk memperoleh tahanan gesek tiang pancang. Persamaan tahanan gesek ultimit metode ini adalah sebagai berikut.

$$Q_s = \lambda(p_o' + 2Cu)A_s \tag{6}$$

di mana:  $\lambda$  = koefisien gesek dinding



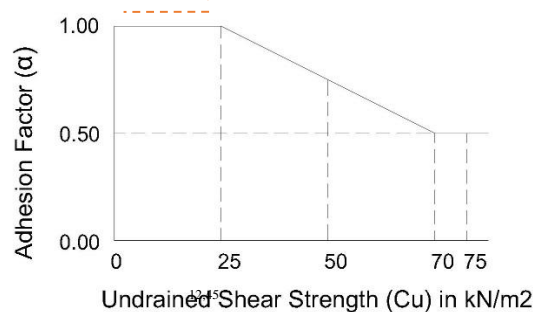
Gambar 5 Hubungan antara koefisien gesek dinding ( $\lambda$ ) dengan kedalaman penetrasi tiang (Vijayvergiya dan Focht, 1972)

**2.2.5 Metode U.S Army Corps**

Pada metode US Army Corps maka persamaan tahanan gesek ultimit metode ini adalah sebagai berikut.

$$Q_s = f_s \cdot A_s \cdot t \text{ lapisan} \tag{7}$$

Nilai  $\alpha$  tiap lapis didapatkan dari Grafik Metode U.S. Army Corps seperti pada Gambar 6



Gambar 6 Nilai  $\alpha$  dalam metode U.S Army Corps.



### 2.2.6 Kapasitas Tiang kelompok

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Pada tiang tunggal luas zone tertekan pada bagian bawah tiang sangat lebih kecil daripada luas zona tertekan untuk kelompok tiang yang menyebabkan penurunan kelompok tiang menjadi lebih besar dari pada penurunan tiang tunggal. Umumnya model keruntuhan blok terjadi bila rasio jarak tiang dibagi diameter ( $s/d$ ) sekitar  $< 2$  sehingga diperlukan efisiensi tiang karena besarnya kapasitas total menjadi tereduksi dengan nilai reduksi yang tergantung dari ukuran, bentuk kelompok, jarak, dan panjang tiangnya. Namun, bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang lebih besar, maka dipakai kapasitas tiang tunggal kali jumlahnya seperti pada persamaan berikut.

$$Q_g = n Q_u \quad (8)$$

Keterangan

$Q_g$  = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

$n$  = jumlah tiang dalam kelompok

$Q_u$  = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan

### 2.3 Finite Element Methode (FEM)

Program pada penelitian ini menggunakan sebuah *software* berbasis pada metode elemen hingga. Program ini merupakan program analisis geoteknik yang dapat menganalisa deformasi dan stabilitas struktur tanah secara 2 dimensi dan dapat juga secara 3 dimensi yang dapat memodelkan perilaku tanah mendekati keadaan sebenarnya. Program ini menerapkan metode antar muka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva. Dalam analisis ini digunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dengan model Mohr-Coulomb (*perfect-plasticity*).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Uji Fisis

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan dari sampel yang diambil dari lokasi, maka diperoleh data seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian sifat fisis tanah asli

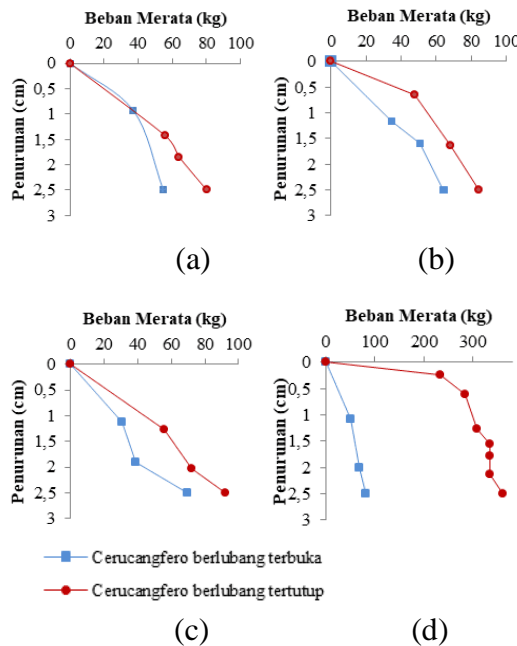
No.	Pengujian	Satuan	Hasil Uji
1	Kadar Air ( $w$ )	%	82,0750
2	Berat Volume	gr/cm <sup>3</sup>	1,3180
3	<i>Spesific Gravity</i> ( $G_s$ )		2,5823
4	Analisis Saringan		
	a. Lolos Saringan No. 4	%	100
	b. Lolos Saringan No. 200	%	72,49
5	Batas Atterberg		
	a. Batas Cair ( $LL$ )	%	74,27
	b. Batas Plastis ( $PL$ )	%	31,51
	c. Indeks Plastisitas ( $PI$ )	%	42,76

### 3.2 Uji Mekanis

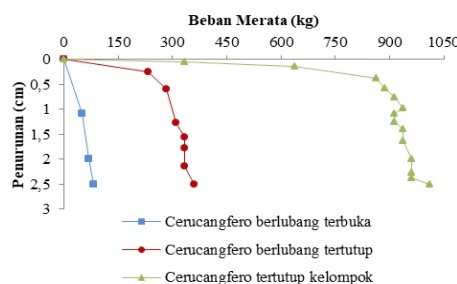
Berdasarkan hasil pengujian triaksial tanah lunak menunjukkan parameter kekuatan geser tanah berupa nilai kohesi ( $c$ ) sebesar  $12,45 \text{ kN/m}^2$  dan sudut geser ( $\phi$ ) sebesar  $2^\circ$ . Berdasarkan pengujian kuat tekan bebas, didapatkan tegangan ultimit ( $qu$ ) sebesar  $0,0579$  maka dapat disimpulkan bahwa tanah dalam penelitian ini tergolong tanah lempung sangat lunak ( $qu < 0,25$ ) yaitu tanah yang memiliki nilai kadar air yang tinggi.

### 3.3 Perilaku Perkuatan Cerucuk Pancang Ferosemen

Uji pembebanan pada tanah yang diperkuat cerucuk dengan model tunggal dilakukan sebanyak 3 kali dengan beban manual sedangkan pengujian model tunggal pada variabel hari maksimum 14 hari (dikarenakan tidak mampu lagi menahan beban merata untuk mencapai target penurunan) dan uji kelompok metode pembebanan yang digunakan adalah dengan menggunakan beban sesaat *hydraulic jack*. Pengujian dilakukan berdasarkan pernyataan Meyerhof (1956) dengan penurunan izin yang terjadi pada lapisan tanah dasar akibat beban di atasnya adalah sebesar  $2,54 \text{ cm}$  (1 inchi).



Gambar 7 Grafik perbandingan beban merata dengan penurunan pada cerucangfero tunggal. (a) 1 hari; (b) 3 hari; (c) 7 hari; (d) 14 hari.



Gambar 8 Grafik perbandingan beban merata maksimum dengan penurunan pada cerucangfero tunggal dan kelompok variabel 14.hari.



Pada gambar 3 cerucangfero berlubang terbuka, variabel 1 hari didapatkan beban maksimum sebesar 54,77 kg, 3 hari sebesar 64,13 kg, 7 hari sebesar 69,47 kg, dan 14 hari sebesar 81,57 kg. Sedangkan cerucangfero berlubang tertutup variabel 1 hari didapatkan beban maksimum sebesar 80,24 kg, 3 hari sebesar 84,28 kg, 7 hari sebesar 92,34 kg dan 14 hari sebesar 360,44 kg. Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa beban maksimum yang didapat dari pengujian kelompok ini sebesar 1010,91 kg. Hasil menunjukkan bahwa semakin lama umur cerucangfero tertanam di dalam tanah lunak maka kekuatan menahan beban akan semakin meningkat. Fenomena ini dimungkinkan karena butiran tanah yang terdesak pada saat dimasukkan cerucangfero kembali bergerak menekan cerucangfero sehingga struktur butiran tanah disekitar tinga semakin pada dan lekatan antara permukaan tiang dan butiran tanah yang semakin kuat.

Tabel 2 Rekapitulasi hasil kapasitas dukung cerucuk pancang ferosemen uji laboratorium

Model Cerucangfero	Kapasitas Ultimit (kN)			
	Hari ke-			
	1	3	7	14
Tertutup	0,79	0,83	0,90	3,53
Terbuka	0,53	0,63	0,68	0,80
Kelompok				9,91

Jika dibandingkan dengan cerucangfero berlubang terbuka, hasil beban maksimum cerucangfero berlubang tertutup lebih besar. Hal ini mungkin dikarenakan pada cerucangfero berlubang tertutup didapat mekanisme gesekan selimut luar dan tahanan ujung dengan luas penampang lebih besar dan bersifat pejal sehingga desakan ujung tiang terhadap tanah memiliki daya dukung yang lebih handal. Sedangkan cerucangfero berlubang terbuka dapat dikatakan kurang efektif dikarenakan permukaan bidang ferosemen yang kecil tidak menghasilkan tahanan ujung cerucuk yang besar sedangkan tahanan gesek di sekitar dinding selimut dalam dan luar cerucuk tidak cukup menghasilkan kenaikan kapasitas dukung yang signifikan sehingga kurang mampu mendukung perlawanan tanah terhadap desakan beban aksial di atasnya.

Terjadi peningkatan yang jauh signifikan antara uji cerucangfero tunggal terbuka dengan cerucangfero tertutup dan kelompok. Hal ini dapat dilihat dari sifat tanah dan material betonnya yang kemungkinan terdapat proses yang terjadi antara lekatan tanah dan tiang lebih maksimal dengan kerapatan friksi dan *bearing* tanah yang semakin memadat seiring bertambahnya hari.

### 3.4 Analisis Kapasitas Dukung Cerucuk Pancang Ferosemen

Perhitungan daya dukung secara empiris dilakukan dengan menggunakan rumus daya dukung tanah menurut teori para ahli. Berdasarkan hasil analisis teori kapasitas dukung tiang dalam tanah lempung dari beberapa ahli, mayoritas kapasitas terbesar terletak pada daya dukung ujungnya (*end bearing pile*) sebesar 1,98 kN dengan model cerucangfero tertutup dengan permukaan benda uji yang bersifat pejal lebih besar menahan distribusi beban dibandingkan dengan model cerucangfero ujung terbuka dengan luasan permukaan benda uji yang lebih kecil. Sedangkan untuk tahanan gesek dinding terbesar terdapat pada cerucangfero ujung

terbuka dikarenakan terdapat dua gesekan dari selimut luar dan selimut dalam. Tahanan gesek tiang  $Q_s$  (*skin friction*) terbesar didapat dari metode Alpha ( $\alpha$ ) yaitu sebesar 2,06 kN untuk cerucangfero ujung tertutup dan 3,67 kN untuk cerucangfero ujung terbuka.

Tabel 3 Hasil analisis teori kapasitas dukung cerucuk pancang ferosemen

Metode Analisis	Model Cerucangfero	Kapasitas Dukung (kN)		
		Ujung (Qp)	Selimut (Qs)	Ultimit (Qu)
Metode Terzaghi				
	Tertutup	1,83	0,03	1,86
	Terbuka	0,75	0,05	0,80
Metode Meyerhof				
	Tertutup	1,98	-	
	Terbuka	0,82	-	
Metode Tomlinson				
	Tertutup	1,98	1,66	3,64
	Terbuka	0,82	2,95	3,77
Metode $\alpha$				
	Tertutup	1,98	2,06	4,05
	Terbuka	0,82	3,67	4,49
Metode $\lambda$				
	Tertutup	1,98	1,73	3,71
	Terbuka	0,82	3,09	3,91
Metode U.S Army Corps				
	Tertutup	1,98	0,52	2,50
	Terbuka	0,82	0,93	1,75

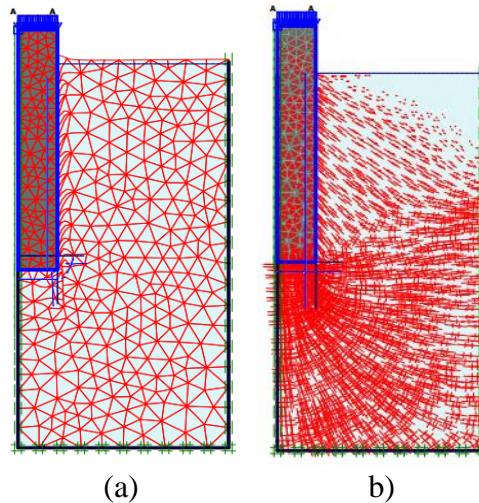
Sehingga dapat dilihat daya dukung ultimit terbesar dengan mengakumulasi besar tahanan ujung dan tahanan geseknya diperoleh pada metode Meyerhoff – Alpha dengan  $Q_u = 4,05$  kN untuk cerucangfero ujung tertutup dan  $Q_u$  sebesar 4,49 kN untuk cerucangfero ujung terbuka.

### 3.5 Pemodelan Menggunakan FEM (*Finite Element Method*)

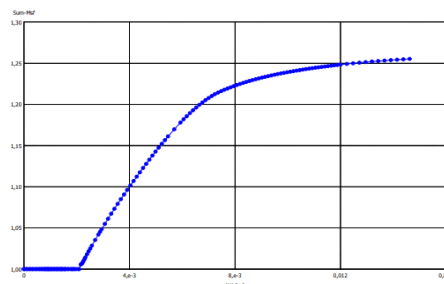
Setelah dilakukan *input* geometri dan parameter untuk seluruh pemodelan proses selanjutnya adalah proses kalkulasi dan menampilkan dari *output FEM* (*Finite Element Method*).

Pada Gambar 5 (a) deformasi yang terjadi memperlihatkan penurunan total sebesar  $14,63 \times 10^{-3}$  m dengan skala perpindahan 2,00 kali yang berarti penurunan deformasi yang terjadi sesungguhnya adalah sebesar  $29,26 \times 10^{-3}$  m. Bagian tiang akan turun dan tanah disekitarnya ikut terseret mengikuti penurunan tiang.

Tegangan efektif semakin kebawah semakin besar. Sedangkan pada Gambar 5 (b) warna biru yang terletak dipermukaan tanah menggambarkan kondisi tanah tersebut aman dan tidak mengalami pergeseran dan warna merah menunjukkan pergeseran terbesar terjadi pada bagian bawah ujung cerucuk sebesar  $88,81 \text{ kN/m}^2$ .



Gambar 9 Hasil *output FEM*. (a) Jaringan elemen terdeformasi; (b) Tegangan efektif



Gambar 10 Tampilan kurva faktor aman

Nilai faktor aman yang didapat dari *FEM* adalah sebesar  $F_s = 1,2553$ , nilai ini sudah memenuhi dan dapat dikatakan aman karena berada pada posisi stabil ( $F_s > 1,25$ ). Maka nilai  $Q_u$  *FEM* adalah nerdaearkan  $Q_u$  sebesar  $\sum M_{sf} \times P_u$  menghasilkan  $Q_u$  sebesar 100,7253 kg atau 0,99 kN

Hasil perhitungan daya dukung teoritis didapat lebih besar dari uji laboratorium dan terdapatnya selisih yang cukup jauh dengan hasil *FEM*. Hal ini terjadi mungkin karena faktor-faktor: struktur tanah berubah-ubah dalam jangka pendek pada saat pemasangan atau pencabutan benda uji, perlakuan rekondisi tanah di dalam bak di tiap pengujian seperti penyeragaman *sampling* tanah, serta penjuenan yang kurang baik. Selain itu tidak digunakannya nilai *SF* (*Safety Factor*) dalam perhitungan, menyesuaikan pengujian sebenarnya di laboratorium. Namun demikian hasil *FEM* menunjukkan penurunan 2,92 cm yang tidak jauh berbeda dengan batas ijin penurunan 2,54 cm.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan analisis teoritis serta pemodelan dengan *FEM* diperoleh kesimpulan bahwa semakin lama waktu cerucangfero tertanam di dalam tanah lunak maka kemampuan menahan beban semakin meningkat dan kemampuan maksimal terjadi pada umur 14 hari. Pada model cerucangfero tunggal umur 14 hari, cerucangfero ujung tertutup memiliki kemampuan menahan beban lebih besar 77,33% dibandingkan cerucangfero

terbuka. Berdasarkan analisis teoritis, kapasitas ujung tiang (end bearing pile) metode Meyerhof lebih besar yaitu sebesar 1,98 kN (ujung tertutup) dan 0,82 kN (ujung terbuka), sedangkan hasil analisis teori dari tahanan gesek tiang (skin friction) didapat kapasitas terbesar pada metode Alpha ( $\alpha$ ) yaitu sebesar 2,06 kN (ujung tertutup) dan 3,67 kN (ujung terbuka). Sehingga daya dukung ultimit terbesar diperoleh pada metode Meyerhoff – Alpha dengan  $Q_u$  sebesar 4,05 kN (ujung tertutup) dan  $Q_u$  sebesar 4,49 kN (ujung terbuka). Hasil kapasitas cerucangfero dari uji pembebanan di laboratorium variabel 1 hari memberikan selisih nilai yang cukup besar senilai 86,79% terhadap hasil pemodelan menggunakan FEM.

#### 4.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan dari hasil pemodelan ini yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat mencoba adanya pemodelan lebih lanjut mengenai jenis tanah yang dipakai sebagai bahan pemodelan. menggunakan tanah jenis lain atau tanah berlapis.
2. Perlu adanya pemodelan lebih lanjut mengenai metode, variasi jarak perkuatan ataupun dari model cerucangfero itu sendiri agar didapatkan hasil kapasitas dukung yang lebih besar dan efisien.

#### Daftar Kepustakaan

- ACI Committee 549 1R, 2009. Guide for the Design , Construction , and Repair of Ferrocement Reported, 93 (Reapproved).
- D. Nasution, L., Munirwansyah, M., and Saleh, S.M., 2018. Analisis Hkritis Terhadap Daya Dukung Tanah Dasar. Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, 1 (2), 39–46.
- Djausal, A., 2004. Pengantar Ferosemen. Bandar Lampung: Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 1996. Teknik Fondasi 1. Gramedia Pustaka Utama, 275.
- Hardiyatmo, H. C., 2002. Teknik Fondasi 2. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H.C., 2003. Mekanika Tanah II. Gadjah Mada University Press.
- Helmi, M., 2020. Konstruksi matras ferosemen cerucuk bambu (matferumbu) untuk peningkatan daya dukung tanah lunak. Paten No. IDS000002949. Ditjen HKI Kemenkumham RI
- Nawawi, 2017. "Studi Analisis Penurunan Tanah Lempung Lunak dan Tanah Lempung Organik Menggunakan Pemodelan Matras Beton Bambu". Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- SNI 03-6825: 2002. Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- WSP International, 2001. Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak. Pusat Litbang Prasarana Transportasi.