

Evaluasi Mekanisme Keruntuhan Geser pada Fondasi Tiang Menggunakan Simulasi Numeris

Rafa Amatullah Aini

Undergraduate Student of Civil Engineering Departement, Vocational College - Universitas Gadjah Mada

Devi Oktaviana Latif, Adhitya Yoga Purnama, Amalia Ula Hazhiyah

Departement of Civil Engineering, Voctional College - Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK: Fondasi merupakan suatu sistem struktur bawah dari bangunan yang berfungsi untuk menahan berat sendirinya dan seluruh beban gaya dari struktur atas. Untuk mendukung beban yang bekerja, parameter daya dukung fondasi tiang terdiri dari dua komponen yaitu tahanan ujung dan tahanan gesek. Pada beberapa kondisi tertentu, tahanan ujung tiang tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban yang ada diatasnya. Sehingga tahanan gesek berperan penting pada peningkatan daya dukung tiang secara keseluruhan. Saat ini, evaluasi terkait peningkatan tahanan gesek tiang belum banyak dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi secara numeris untuk melihat pengaruh penambahan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) terhadap perilaku pola keruntuhan dengan bahan tambahan pasta friksi. Simulasi pola keruntuhan geser dianalisis menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Hasil dari penelitian ini kapasitas tarik ultimit tiang tunggal pada tanah dengan nilai kohesi sebesar 25 kN/m^2 dan $\phi = 30^\circ$, 40 kN/m^2 dan $\phi = 35^\circ$, serta kohesi 50 kN/m^2 dan $\phi = 40^\circ$ untuk $L = 20 \text{ cm}$ dan $d = 5 \text{ cm}$ sebesar 3.068 kN , 5.508 kN , 6.692 kN dan dengan perpindahan vertikal sebesar $0,2474 \times 10^{-3} \text{ m}$ atau sebesar $4,948\% d$, $0,3848 \times 10^{-3} \text{ m}$ atau sebesar $7,696\% d$ dan $0,4433 \times 10^{-3} \text{ m}$ atau sebesar $8,866\% d$. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa tanah dengan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam tertinggi memberikan nilai tahanan tarik ultimit tiang tertinggi.

Kata Kunci: fondasi tiang, tahanan gesek, mekanisme keruntuhan

ABSTRACT: The foundation is an underground construction that functions to support its own weight and all the force loads of the superstructure. In supporting the load above, pile bearing capacity parameters consists of two components, end bearing resistance and friction resistance. In certain conditions, the end bearing pile resistance does not have sufficient bearing capacity to support the load on it. So that the frictional resistance plays an important role in increasing the pile bearing capacity. Nowdays, evaluations that related to the increase in pile frictional resistance have not been widely carried out. This study discusses the frictional resistance behavior of the foundation with the soil through the mechanism of the failure pattern with the additional material. Simulation of the shear failure pattern on the pile foundation was carried out using the finite element method. The results of this study are the ultimate tensile capacity of single piles on the soil with cohesion values of 25 kN/m^2 and $\phi = 30^\circ$, 40 kN/m^2 and $\phi = 35^\circ$, as well as cohesion 50 kN/m^2 and $\phi = 40^\circ$ for $L = 20 \text{ cm}$ and $d = 5 \text{ cm}$ is $3,068 \text{ kN}$, $5,508 \text{ kN}$, $6,692 \text{ kN}$ and with a vertical displacement of $0.2474 \times 10^{-3} \text{ m}$ or $4.948\% d$, $0.3848 \times 10^{-3} \text{ m}$ or $7.696\% d$, $0.4433 \times 10^{-3} \text{ m}$ or $8.866\% d$. These results indicate that the soil with the highest cohesion value (c) and internal shear angle gives the highest ultimate tensile resistance value of the pile.

Keywords: pile foundations, friction resistance, failure mechanism

1 PENDAHULUAN

Fondasi merupakan suatu sistem struktur bawah dari bangunan yang berfungsi untuk menahan berat sendirinya dan seluruh gaya yang berasal dari struktur atasnya. Pada

perencanaan desain dan pembangunan fondasi perlu dihitung nilai daya dukung fondasi. Pada jenis fondasi tiang nilai daya dukung didapatkan dari daya dukung ujung tiang (*end bearing capacity*) dan daya dukung gesek tiang (*friction bearing capacity*). Pada beberapa

kondisi tanah yang kurang baik, tahanan ujung tiang tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban yang ada diatasnya, sehingga daya dukung gesek berperan penting dalam menahan beban tiang secara keseluruhan. Das (2010) mengatakan jika kekuatan atau daya dukung tanah terlampaui, maka akan terjadi penurunan berlebihan yang mengakibatkan keruntuhan konstruksi. Pemasangan fondasi menggunakan metode tiang pancang dengan pengeboran dapat menyebabkan berkurangnya daya dukung gesek disekitar tiang. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka diperlukan bahan tambahan yang mampu meningkatkan nilai daya dukung gesek tanah sehingga daya dukung yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Bahan tambahan yang digunakan adalah pasta campuran tanah, *epoxy (hardener dan reisin)*, air serta semen. Penggunaan *epoxy* sebagai salah satu bahan perbaikan tanah telah diteliti sebelumnya oleh Latif & Prawoto (2019) dan menghasilkan kesimpulan terjadinya peningkatan nilai kohesi tanah dengan penambahan kadar air yang sesuai. Pada penelitian ini dilakukan simulasi secara numeris untuk melihat pengaruh penambahan nilai kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ) terhadap perilaku pola keruntuhan. Simulasi pola keruntuhan geser dianalisis menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*).

2 METODE - METHOD

2.1 Parameter Tanah

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tanah lempung berlanau yang berasal dari Imogiri, Bantul, Yogyakarta. Secara fisis butiran terlihat halus, berwarna merah, serta lunak jika terkena air. Menurut Hardiyatmo (2012) tanah dengan berat jenis 2,62 – 2,68 termasuk kedalam jenis tanah lempung yang mengandung lanau. Pemodelan tegangan dan regangan dilakukan menggunakan model material *Mohr-Coulomb*. Dalam pemodelan *Mohr-Coulomb* dibutuhkan 5 (lima) parameter diantaranya adalah modulus young (*E*), angka poisson (*v*), sudut gesek (ϕ), kohesi (*c*) dan sudut dilatasi (ψ). Berdasarkan (Bowles, 1997) maka parameter tanah yang digunakan dalam *input plaxis* adalah pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Tanah.

Data Teknis	Nilai	Satuan
Kadar air (<i>w</i>)	31,225	%
Berat jenis (<i>Gs</i>)	2,624	-
Berat volume basah (γ_b)	17,35	kN/m ³
Berat volume kering (γ_d)	13,14	kN/m ³
Modulus young (<i>E</i>)	9000	kN/m ²
Kohesi tanah (<i>c</i>)	21	kN/m ²
Sudut gesek (ϕ)	27	-
Angka poisson (<i>v</i>)	0,35	-
Sudut dilatasi (ψ)	0	-

Fondasi tiang dimodelkan sebagai *soil volume* untuk memberikan nilai kekuatan menyerupai mutu beton yang digunakan. Material beton yang digunakan adalah beton dengan mutu *f'c* 24 MPa. Nilai modulus young beton (*E_c*) adalah $2,3 \times 10^7$ dan angka *Poisson* (*v_c*) sebesar 0,15. Parameter tiang disajikan dalam Tabel 2 dibawah:

Tabel 2. Parameter Tiang.

Parameter	Nilai	Satuan
Modulus young (<i>E_c</i>)	$2,3 \times 10^7$	kN/m ³
angka Poisson (<i>v_c</i>)	0,15	-
<i>Rinter</i>	1	-

2.2 Skema Penelitian

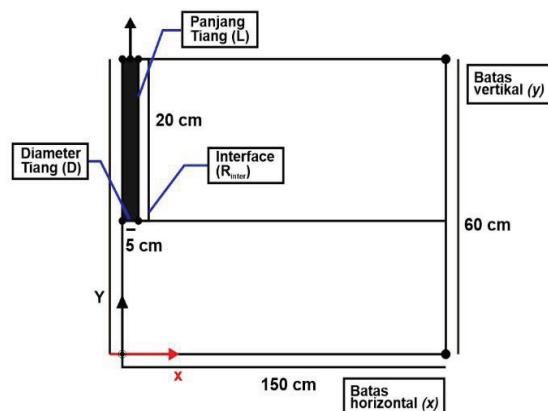
Pada penelitian ini, pemodelan dilakukan menggunakan ukuran bidang tinjauan sebesar 150 cm x 60 cm. Diameter tiang (*D*) menggunakan ukuran 5 cm dengan panjang tiang (*L*) 20 cm. Metode pemasangan fondasi diawali dengan membor tanah dengan kedalaman 20 cm dan diameter 5,5 cm, kemudian menuangkan campuran pasta *epoxy* ke dalam lubang bor dan memasukkan tiang fondasi secara vertikal kedalam lubang bor, setelah itu dilakukan pemeraman dengan variasi waktu. Setelah pemeraman, fondasi di uji tarik. Kemudian nilai tahanan gesek dikonversi menjadi nilai kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ).

$$fs = \frac{qs}{As} \quad (1)$$

Dengan mengasumsikan terjadi peningkatan nilai c dan ϕ , penelitian ini mensimulasikan perubahan variasi nilai nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) secara numeris dengan bantuan Plaxis 2D yang bertujuan mengetahui pengaruhnya terhadap mekanisme keruntuhan dari fondasi melalui nilai deformasi. Hasil pengujian secara numeris ini kemudian akan memberikan penguatan terhadap eksperimental di laboratorium terhadap pengaruh peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam terhadap tahanan gesek tiang melalui analisis mekanisme keruntuhan yang terjadi.

2.3 Pemodelan Tiang dan Simulasi Perubahan nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (ϕ)

Pemodelan tiang menggunakan model *axisymmetry* yang kemudian dianalisis melalui variasi beban berupa nilai gaya tarik hasil pengujian di Laboratorium. Gbr 1. menunjukkan pemodelan tiang pada simulasi Plaxis. Pada simulasi ini, dilakukan variasi perubahan nilai kohesi dan sudut geser dalam seperti pada Tabel 3 pada lapisan tanah pasta.



Gbr. 1. Pemodelan Tiang.

Perubahan nilai kohesi dan sudut geser dalam disimplifikasi pada lapisan tanah disekitar tiang. Untuk tahapan konstruksi dibagi menjadi tiga phase, yaitu *initial phase*, *construction* dan *loading*. Pada tahap *intial phase* tegangan-tegangan awal tanah akan dihitung, sedangkan fondasi dan beban belum diaktifkan. Pada tahap *construction* fondasi diaktifkan dan pada tahap *loading* beban baru kemudian diaktifkan. Karena pada pemodelan ini ingin mengetahui nilai peningkatan tegangan efektif dan regangan efektif maka digunakan *displacement load*. Hasil dari simulasi ini berupa grafik hubungan antara variasi nilai kohesi dengan tegangan efektif

serta regangan efektif dengan grafik hubungan antara variasi nilai sudut geser dalam (ϕ) dengan tegangan efektif.

Tabel 3 Variasi Nilai c dan ϕ .

Nilai	Variasi $\phi (^\circ)$		
	30	35	40
Variasi c (kN/m^2)	25	40	50

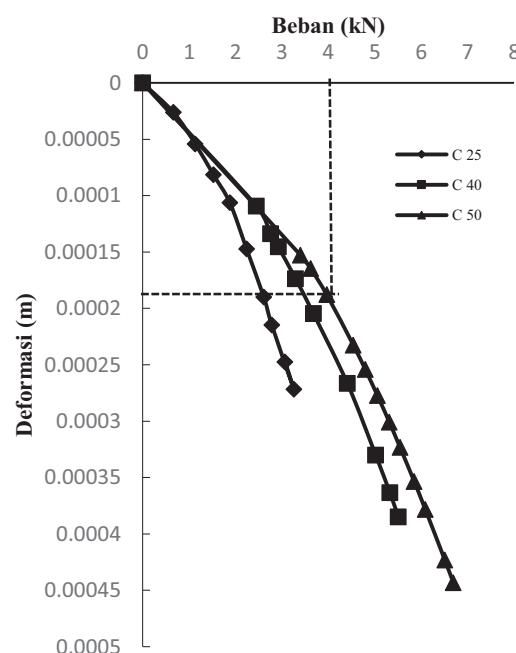
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perilaku pada pengujian tarik

Perilaku model fondasi tiang pada simulasi pengujian tarik yang dilakukan dapat dicermati melalui nilai parameter yang diperoleh, yaitu nilai perpindahan vertikal (δ) atau deformasi. Besarnya kapasitas tarik tiang tunggal didapatkan melalui pengujian di laboratorium. Deformasi yang terjadi saat runtuh ditunjukkan dalam Tabel 4 dibawah,

Tabel 4. Hasil Pengaman Persentase Perpindahan Vertikal pada Kapasitas Tarik Ultimit Tiang Tunggal .

c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	L (cm)	Qu (kN)	δ ($\times 10^{-3}$) (m)	δ/d (%)
25	30	20	3,068	0,2474	4,948
40	35	20	5,508	0,3848	7,696
50	40	20	6,692	0,4433	8,866



Gbr. 1. Kapasitas Tarik Tiang Tunggal Saat Runtuh.

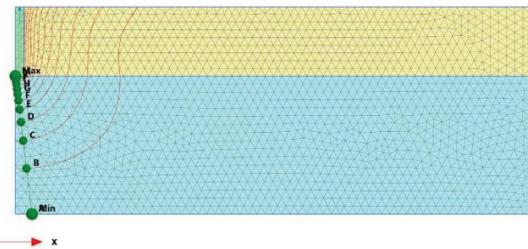
Dari Tabel 4 dan Gbr. 2 terlihat, bahwa kapasitas tarik ultimit tiang tunggal pada tanah dengan nilai kohesi 25 kN/m^2 dan $\phi = 30^\circ$ untuk $L = 20 \text{ cm}$ sebesar 3.068 kN dengan perpindahan vertikal sebesar $0,2474 \times 10^{-3} \text{ m}$ atau sebesar $4,948\%$ d. Sedangkan untuk tanah dengan nilai kohesi 40 kN/m^2 dan $\phi = 35^\circ$ untuk $L = 20 \text{ cm}$ dengan kapasitas tarik ultimit tiang sebesar 5.508 kN mengalami perpindahan vertikal $0,3848 \times 10^{-3} \text{ m}$ atau sebesar $7,696\%$ d. Pada tanah dengan nilai kohesi 50 kN/m^2 dan $\phi = 40^\circ$ untuk $L = 20 \text{ cm}$ dengan kapasitas tarik ultimit tiang sebesar 6.692 kN mengalami perpindahan sebesar $0,4433 \times 10^{-3} \text{ m}$ atau sebesar $8,866\%$ d. Selain itu, dapat dilihat juga pada Gbr. 2, seiring dengan penambahan nilai kohesi, pada nilai deformasi yang sama menghasilkan tahanan terhadap beban yang lebih besar. Sebagai contoh, pada nilai deformasi $0,0002 \text{ m}$ dengan nilai c sebesar 25 kN/m^2 beban yang dibutuhkan sebesar $2,67 \text{ kN}$, untuk nilai $c = 40 \text{ kN/m}^2$ beban yang dibutuhkan sebesar $3,62 \text{ kN}$ dan untuk nilai $c = 50 \text{ kN/m}^2$ beban yang dibutuhkan sebesar $4,12 \text{ kN}$. Oleh karena itu, dapat dinyatakan melalui penelitian bahwa kapasitas tarik ultimit tiang tunggal pada tanah akan bertambah seiring dengan bertambahnya nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah. Peningkatan nilai tersebut menginterpretasikan semakin besarnya nilai tahanan gesek tiang yang dihasilkan melalui peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam, sehingga nilai daya dukung tanah terhadap fondasi juga meningkat.

3.2 Interpretasi Hasil Uji Berdasarkan Titik-Titik Keruntuhan

Titik-titik keruntuhan yang terjadi pada *output* Plaxis 2D menunjukkan lokasi di mana tegangan yang terjadi berada dalam keadaan plastis.



Gbr. 2. Garis Pengaruh Keruntuhan untuk Tanah dengan $c = 25 \text{ kN/m}^2$.



Gbr. 3. Titik-Titik Keruntuhan untuk Tanah dengan $c = 25 \text{ kN/m}^2$.

Bagian merah diinterpretasikan sebagai zona pengaruh dari pemodelan seperti pada Gbr. 4. Kondisi batas dapat dikatakan mencukupi apabila titik-titik keruntuhan tidak berimpit dengan batas horizontal maupun batas vertikal. Sedangkan Gbr. 5 merepresentasikan garis pengaruh keruntuhan yang diakibatkan oleh fondasi tiang. Mekanisme keruntuhan terjadi akibat penambahan beban secara kontinyu yang mengakibatkan kecepatan deformasi semakin bertambah hingga mencapai keruntuhan geser. Pada awal penerapan beban tarik, tanah dibawah fondasi mengalami deformasi tanah ke arah lateral dan vertikal ke atas. Ketika beban terus ditambah, baji tanah kemudian terbentuk di dasar fondasi. Dengan terus bertambahnya beban, zona plastis terbentuk yang diikuti oleh retakan lokal dan geseran tanah disekeliling fondasi. Deformasi tersebut diikuti oleh gerakan tanah ke luar yang disertai dengan menggelembungnya tanah permukaan, dan kemudian tanah pendukung fondasi mengalami keruntuhan dengan bidang runtuhan berbentuk lengkung dan garis. Titik B pada Gbr. 5. memvisualisasikan sejauh mana garis pengaruh keruntuhan fondasi. Titik maksimal keruntuhan berada pada permukaan bawah fondasi dimana keruntuhan maksimal terjadi pada titik tersebut.

4 KESIMPULAN

Studi ini merupakan hasil analisis secara numeris menggunakan Plaxis 2D untuk mengetahui faktor pengaruh penambahan pasta friksi terhadap peningkatan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang kemudian ditinjau pengaruhnya terhadap mekanisme keruntuhan tiang. Kapasitas tarik ultimit yang terjadi pada tiang meningkat sejalan dengan peningkatan nilai kohesi. Sehingga perpindahan vertikal atau deformasi yang terjadi dapat direduksi dengan peningkatan nilai kohesi tersebut. Ini menunjukkan bahwa penambahan pasta friksi pada lapisan luar fondasi memberikan

peningkatan lekatan antara tanah dengan beton yang dapat diindikasikan dengan peningkatan nilai kohesi pada tanah. Pada studi ini, peningkatan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam(ϕ) memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai kapasitas tarik ultimit. Pada variasi nilai kohesi sebesar 50 kN/m^2 dan sudut geser dalam sebesar 40° menghasilkan nilai kapasitas tarik terbesar yaitu 6.692 kN atau mengalami peningkatan sebesar 54% dari nilai kohesi 25 kN/m^2 dan sudut geser dalam 30° . Seiring dengan penambahan nilai kohesi, pada nilai deformasi yang sama menghasilkan tahanan terhadap beban yang lebih besar. Peningkatan tersebut dapat juga dipengaruhi oleh komposisi dan lama waktu pemeraman dari pasta *epoxy*. Semakin besar bidang kontak antar butiran, maka gaya gesek yang terjadi pada bidang kontak antar butiran tanah semakin besar yang berarti nilai koefisien friksi dan tahanan gesek tanah meningkat.

PENGHARGAAN

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada atas dukungan, masukan, kritik dan saran pendukung bagi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA – REFERENCES

- Anagnostopoulos, C. (2015). Strength properties of an epoxy resin and cement-stabilized silty clay soil. *Applied Clay Science*, 114, 517–529. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.007>
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design Second Edition*. McGraw-Hill Book Company.
- Das, B. (2010). *Principals of Geotechnical Engineering*, Cengage Learning, Stamford, CT. Das, BM (1990). *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS-KENT Publishing Compacny.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I* (6th ed.). Gadjah Mada University Press.
- Latif, D. O., & Prawoto, H. (2019). *THE EFFECT OF EPOXY RESIN AND CEMENT ON SOIL*. 17, 163–167. <https://doi.org/10.5937/jaes1>
- Whitaker, T. (2013). *The design of piled foundations: structures and solid body mechanics*. Elsevier.

◦

◦