

# Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan Metode Elemen Hingga

FADJAR MOHAMAD ELFAAZ, INDRA NOER HAMDHAN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung  
e-mail: fahzelfaaz@gmail.com

## ABSTRAK

*Fondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang memikul dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah pendukung yang berada dibawahnya. Fondasi tiang sering digunakan pada konstruksi yang memikul beban berat. Pada beberapa kasus tertentu, tiang memiliki kapasitas aksial yang baik namun gagal terhadap beban lateral. Analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal dilakukan dengan cara melakukan pemodelan menggunakan metode elemen hingga pada jenis tanah lempung lunak dan pasir lepas, kepala tiang bebas dan kepala tiang terjepit, serta variasi ukuran penampang tiang. Kapasitas lateral akan meningkat sebesar 33% - 40% dengan memperbesar penampang tiang, dan meningkat sebesar 22% - 37% dengan menerapkan sistem jepit pada kepala tiang. Fondasi yang memikul beban lateral akan mengalami defleksi maksimum arah lateral di daerah permukaan. Pada kondisi tanah buruk seperti lempung lunak, perbaikan tanah permukaan dengan pasir padat setebal 1,5 m - 3 m dapat dilakukan.*

**Kata kunci:** *beban lateral, defleksi lateral, daya dukung lateral, tahanan friksi, metode Reese Matlock, metode elemen hingga.*

## ABSTRACT

*The foundation is part of engineering system to bear and distribute the load of the upper structure to the ground support. Pile foundation is often used in constructions that carry heavy loads. In some cases, the pile has a good axial capacity but failed to lateral loads. Lateral bearing capacity analysis of single pile by performing modeling using finite element method in soft clay and loose sand, free head and fixed head, and variety of cross-sectional size of the pile. Lateral capacity will increase 33% - 40% by enlarging the cross section of the pile, and increase 22% - 37% by applying fixed system on the head. The foundation that bears the lateral load will have a maximum lateral deflection on surface area. On poor ground conditions such as soft clay, soil improvement surfaces with dense sand thickness of 1,5 m - 3 m can be done.*

**Keywords:** *lateral load, lateral deflection, lateral bearing capacity, friction resistance, Reese Matlock method, finite element method.*

## 1. PENDAHULUAN

Fondasi tiang digunakan pada konstruksi yang memikul beban berat seperti jembatan, bangunan bertingkat, pabrik, dan konstruksi pantai seperti dermaga. Fondasi tiang dirancang agar mampu menahan beban aksial maupun beban lateral. Beban lateral yang diterima fondasi tiang bergantung kepada struktur atas yang meneruskan beban ke fondasi tiang. Penentuan kapasitas daya dukung lateral selain memperhitungkan beban lateral, karakteristik tanah dan defleksi lateral yang terjadi juga perlu diperhitungkan. Defleksi maksimum arah lateral yang terjadi tidak boleh melebihi defleksi lateral yang diizinkan.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal menggunakan metode elemen hingga dengan memodelkan secara 3D menggunakan PLAXIS 3D AE. Tugas akhir ini bukan berupa studi kasus, melainkan penelitian untuk mengetahui daya dukung lateral fondasi tiang tunggal berdasarkan defleksi lateral yang diizinkan pada tanah homogen dan tanah non-homogen.

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ukuran penampang tiang, jenis tanah, dan kondisi kepala tiang terhadap kapasitas lateral fondasi tiang tunggal.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Fondasi Tiang

Fondasi tiang merupakan fondasi dalam, dimana perbandingan kedalaman dan lebar fondasi sama dengan atau lebih besar dari 4 ( $L/B \geq 4$ ). Pada penggunaannya, fondasi tiang terdiri atas tiang tunggal dan kelompok tiang. Dasar pemilihan penggunaan tiang tunggal dan kelompok tiang bergantung kepada besar beban, luas area pembebanan dan karakteristik tanah yang akan dibebani. Berdasarkan mekanisme pemikulan beban, fondasi tiang dibedakan atas *end bearing pile* dan *friction pile*, sedangkan berdasarkan metode konstruksi, fondasi tiang dibedakan atas fondasi tiang bor dan fondasi tiang pancang. Fondasi tiang dirancang untuk dapat memikul beban aksial dan beban lateral. Beban aksial adalah beban dalam arah vertikal, sedangkan beban lateral adalah beban dalam arah horizontal. Beban dalam arah horizontal contohnya adalah beban angin, beban gempa, tekanan tanah lateral, dan hempasan ombak atau kapal pada sisi struktur dermaga.

### 2.2 Defleksi Lateral Izin

Penentuan defleksi desain dalam arah lateral ( $\delta_x$ ) pada *upper structure* berdasarkan SNI 1726-2012, dimana defleksi desain antar tingkat atau biasa disebut *story drift* ( $\Delta$ ) merupakan perbandingan antara defleksi lateral desain dengan tinggi tingkat ( $\delta_x/h_{sx}$ ). Defleksi desain antar tingkat harus lebih kecil atau sama dengan defleksi antar tingkat yang diizinkan ( $\delta_x/\delta_{izin}$ ). Defleksi lateral yang diizinkan pada fondasi tiang bergantung kepada kategori struktur dan kategori resiko gempa dari *upper structure*. Pada umumnya defleksi lateral yang diizinkan pada fondasi tiang tidak lebih dari 2,50 cm.

### 2.3 Daya Dukung Lateral Metode Reese Matlock

Beban lateral yang diizinkan dapat diperoleh berdasarkan 2 kriteria, yaitu dengan membagi beban ultimit dengan suatu faktor keamanan dan berdasarkan defleksi maksimum yang diizinkan. Teori Reese Matlock menentukan kapasitas lateral ultimit berdasarkan defleksi lateral izin, metode ini menggunakan pendekatan reaksi *subgrade*. Pada metode ini, tiang dibedakan berdasarkan tiang kaku (tiang pendek) dan tiang elastik (tiang panjang) serta kondisi kepala tiang terjepit dan bebas.

### 2.3.1 Kepala Tiang Bebas (*Free Head*)

Defleksi  $y_x$  dan momen  $M_x$  dapat dihitung dengan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** berikut:

$$y_x = y_A + y_B = A_x \frac{H \cdot T^3}{E_p \cdot I_p} + B_x \frac{M \cdot T^2}{E_p \cdot I_p} \quad \dots (1)$$

$$M_x = M_A + M_B = A_m \cdot H \cdot T + B_m \cdot M \quad \dots (2)$$

dimana:

- $H$  : beban lateral yang bekerja di kepala tiang (kN)
- $T$  : faktor kekakuan (satuan panjang)
- $M$  : momen yang bekerja di kepala tiang (kN.m)
- $E_p$  : modulus elastisitas tiang (kN/m<sup>2</sup>)
- $I_p$  : inersia penampang tiang (m<sup>4</sup>)
- $A$  dan  $B$  : koefisien Reese & Matlock untuk kepala tiang bebas

Harga koefisien  $A$  dan  $B$  dapat dilihat pada **Tabel 1** untuk kondisi kepala tiang bebas yang besarnya bervariasi terhadap  $Z = x/T$  ; dimana  $Z$  adalah koefisien kedalaman,  $x$  adalah kedalaman yang ditinjau dan  $T$  adalah faktor kekakuan.

**Tabel 1. Koefisien  $A$  dan  $B$  untuk Kondisi Kepala Tiang Bebas (R.J. Woodward. Et.al., 1972)**

Z	A <sub>x</sub>	A <sub>m</sub>	B <sub>x</sub>	B <sub>m</sub>
0,0	2,435	0,000	1,623	1,000
0,1	2,273	0,100	1,453	1,000
0,2	2,112	0,198	1,293	0,999
0,3	1,952	0,291	1,143	0,994
0,4	1,796	0,379	1,003	0,987
0,5	1,644	0,459	0,873	0,976
0,6	1,496	0,532	0,752	0,960
0,7	1,353	0,595	0,642	0,939
0,8	1,216	0,649	0,540	0,914
0,9	1,086	0,693	0,448	0,885
1,0	0,962	0,727	0,354	0,852
1,2	0,738	0,767	0,223	0,775
1,4	0,544	0,772	0,112	0,688
1,6	0,381	0,746	0,029	0,594
1,8	0,247	0,696	0,030	0,498
2,0	0,142	0,628	0,070	0,404
3,0	-0,075	0,225	0,089	0,059
4,0	-0,050	0,000	0,028	-0,042
5,0	-0,009	-0,033	0,000	-0,026

### 2.3.2 Kepala Tiang Terjepit (*Fixed Head*)

Defleksi  $y_x$  dan momen  $M_x$  dapat dihitung dengan **Persamaan 3** dan **Persamaan 4** berikut:

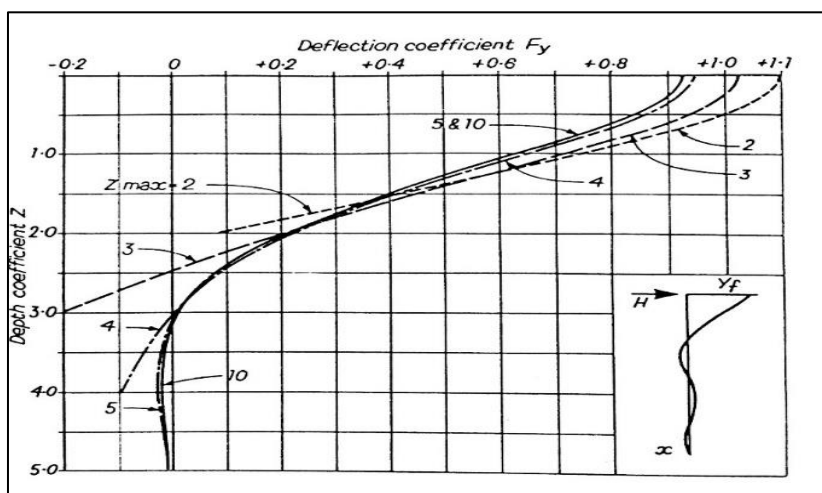
$$y_x = F_y \cdot \frac{H \cdot T^3}{E_p \cdot I_p} \quad \dots (3)$$

$$M_x = F_m \cdot H \cdot T \quad \dots (4)$$

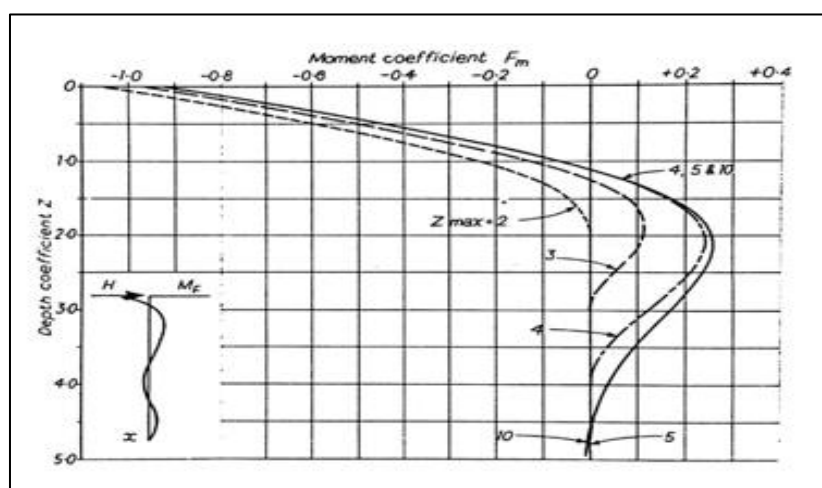
dimana:

- $H$  : beban lateral yang bekerja di kepala tiang (kN)
- $T$  : faktor kekakuan (satuan panjang)
- $E_p$  : modulus elastisitas tiang (kN/m<sup>2</sup>)
- $I_p$  : inersia penampang tiang (m<sup>4</sup>)
- $F_y$  dan  $F_m$  : koefisien Reese & Matlock untuk kepala tiang terjepit

Harga  $F_y$  dan  $F_m$  dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1 (a).** Koefisien  $F_y$  untuk kepala tiang terjepit (Reese & Matlock, 1956)



**Gambar 1 (b).** Koefisien  $F_m$  untuk kepala tiang terjepit (Reese & Matlock, 1956)

### 3. ANALISIS DATA

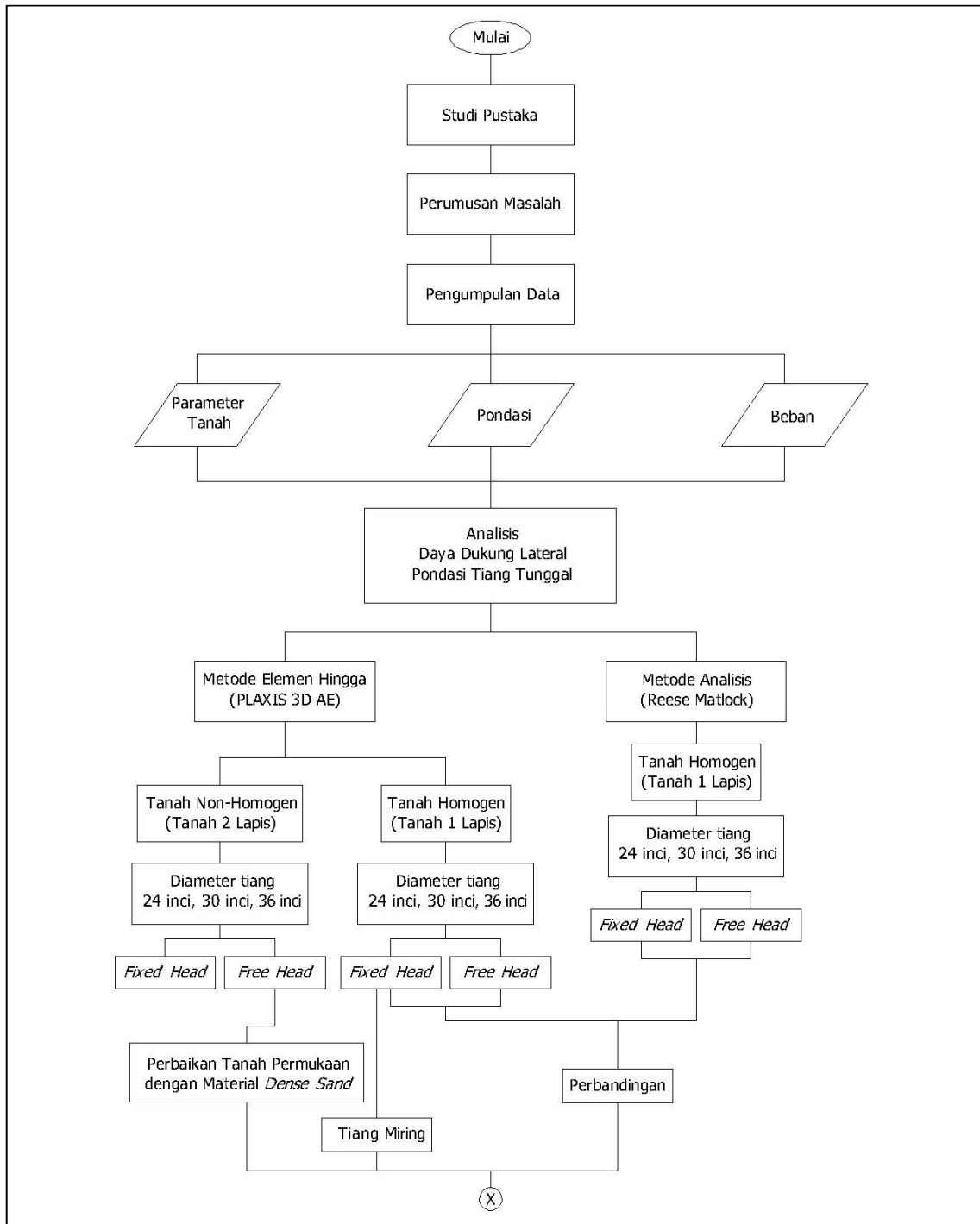
#### 3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk tugas akhir ini berupa data parameter tanah dan data fondasi. Parameter tanah yang digunakan adalah parameter tanah lempung lunak, pasir lepas, dan pasir padat yang diperoleh dari parameter yang direkomendasikan oleh Mayerhof (1956), Terzaghi & Peck (1967), dan Bowles (1997).

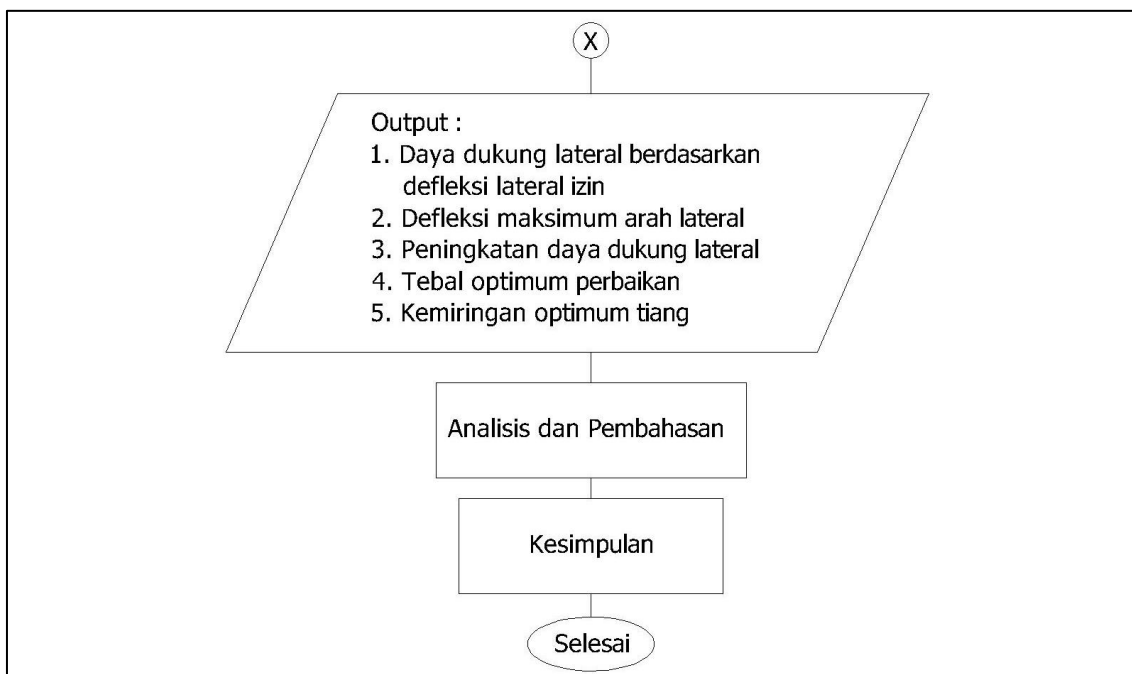
Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Tunggal  
Menggunakan Metode Elemen Hingga

**3.2 Analisis Menggunakan Program PLAXIS 3D AE**

Analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal dilakukan dengan cara melakukan pemodelan dengan program PLAXIS 3D AE yang berbasis metode elemen hingga, sehingga diperoleh daya dukung berdasarkan defleksi lateral izin. Tahapan analisis pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Bagan alir analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal**



**Gambar 2. Bagan alir analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal (lanjutan)**

Data parameter tanah dan data fondasi yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

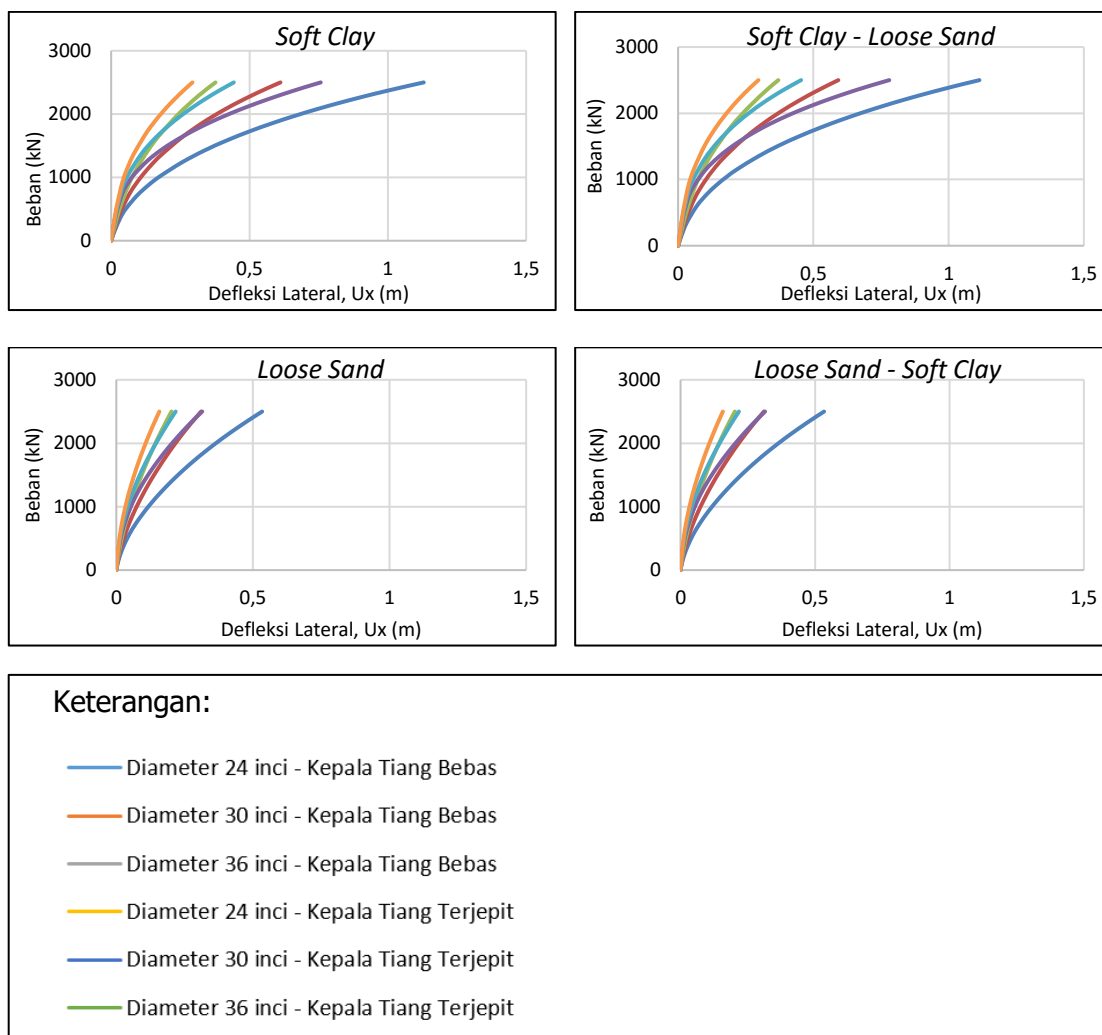
**Tabel 2. Data Parameter Tanah dan Data Fondasi**

Parameter	Jenis Tanah		Pile (Concrete)
	<i>Soft Clay</i>	<i>Loose Sand</i>	
$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	16	18	25
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	19	25
$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	5.000	17.000	27.081.137,35
$\nu'$	0,35	0,25	0,20
$C$ (kN/m <sup>2</sup> )	15	10	-
$\phi$ (°)	10	35	-
$\Psi$ (°)	0	5	-
Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	<i>Linear Elastic</i>

### 3.3 Analisis Daya Dukung Lateral Metode Elemen Hingga

Analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal metode elemen hingga dilakukan pada tanah homogen 1 lapis berupa tanah *soft clay* dan *loose sand* dan tanah 2 lapis berupa tanah *soft clay – loose sand* dan *loose sand – soft clay*. Variasi ukuran penampang tiang yang digunakan adalah tiang diameter 24 inci, 30 inci, dan 36 inci, dengan panjang terbenam 20 m, serta kondisi kepala tiang bebas dan terjepit. Grafik hubungan defleksi lateral dan beban dapat dilihat pada **Gambar 3**. Daya dukung lateral diperoleh dengan batasan lendutan izin sebesar 2,5 cm. Rekapitulasi hasil analisis daya dukung lateral fondasi tiang tunggal dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

## Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan Metode Elemen Hingga



**Gambar 3. Grafik hubungan defleksi lateral dan beban**

**Tabel 3. Rekapitulasi Daya Dukung Lateral pada Tanah 1 Lapis**

Diameter (inci)	<i>Soft Clay</i>		<i>Loose Sand</i>	
	<i>Free Head</i>	<i>Fixed Head</i>	<i>Free Head</i>	<i>Fixed Head</i>
	$Q_A$ (kN)	$Q_A$ (kN)	$Q_A$ (kN)	$Q_A$ (kN)
24	279,81	526,21	362,64	662,12
30	348,24	576,22	470,87	742,65
36	420,22	631,17	594,12	838,36

**Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Lateral pada Tanah 2 Lapis**

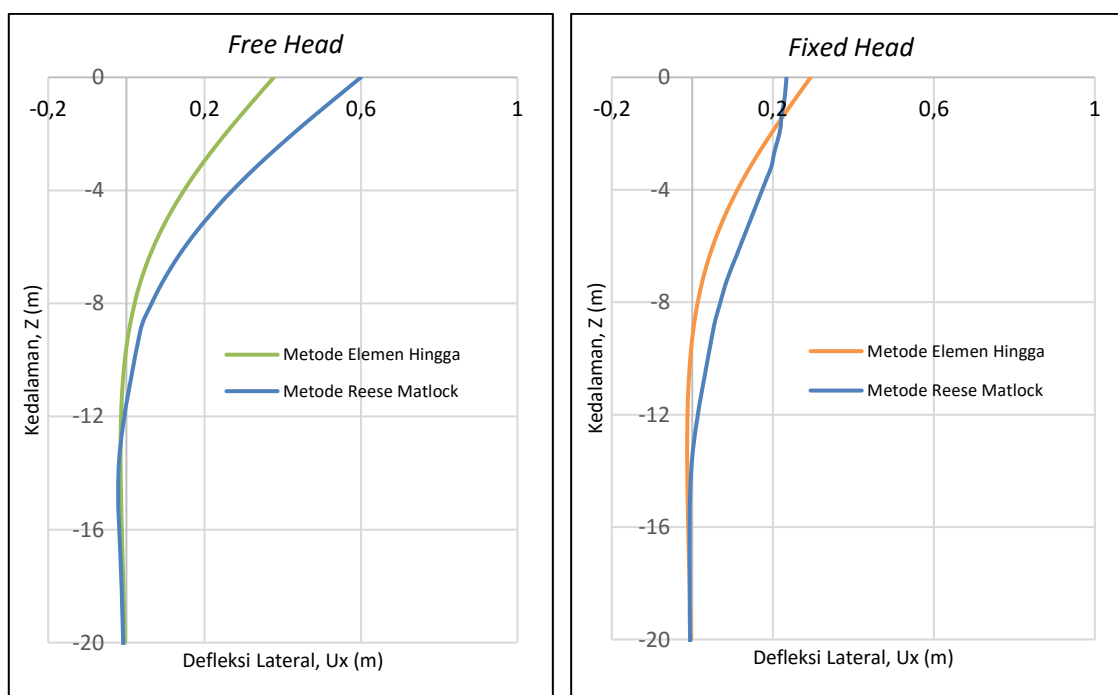
Diameter (inci)	<i>Soft Clay - Loose Sand</i>		<i>Loose Sand - Soft Clay</i>	
	<i>Free Head</i>	<i>Fixed Head</i>	<i>Free Head</i>	<i>Fixed Head</i>
	$Q_A$ (kN)	$Q_A$ (kN)	$Q_A$ (kN)	$Q_A$ (kN)
24	278,34	535,89	353,28	660,56
30	351,66	587,20	475,98	739,89
36	423,90	645,15	589,26	834,43

Hasil analisis menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa untuk meningkatkan daya dukung lateral, yaitu dengan meningkatkan tahanan friksi dengan memperbesar luas selimut dengan cara memperbesar ukuran penampang. Alternatif lain yaitu dengan memperpanjang tiang, namun perlu diperhatikan kelangsingan tiang. Peningkatan daya dukung lateral cukup signifikan dengan menerapkan sistem jepit pada kepala tiang karena pada fondasi tiang panjang defleksi lateral maksimum terjadi pada lapis tanah permukaan. Pada tiang yang memikul beban lateral menunjukkan bahwa lapisan tanah dipermukaan paling dominan memikul beban lateral sehingga kondisi tanah permukaan harus baik, hal tersebut menjadi latarbelakang dilakukan analisis perbaikan tanah permukaan dengan *dense sand*.

### 3.4 Perbandingan Metode Elemen Hingga dan Metode Reese Matlock

Analisis daya dukung lateral metode elemen hingga dan metode Reese Matlock memberikan variasi daya dukung yang akan dibandingkan dan dibahas pada tugas akhir ini. Perbandingan antara kedua metode tersebut menunjukkan bahwa pada tanah *soft clay* maupun *loose sand* pada kondisi kepala tiang bebas, hasil analisis metode elemen hingga memberikan daya dukung lateral yang lebih besar dibandingkan metode Reese-Matlock yang dibuktikan dengan defleksi lateral yang lebih kecil, sedangkan pada kondisi kepala tiang terjepit berperilaku sebaliknya. Pada tanah *soft clay* maupun *loose sand* untuk kondisi kepala tiang bebas menunjukkan bahwa semakin besar penampang tiang, semakin besar perbedaan antara kedua metode tersebut, hal tersebut dibuktikan dengan grafik diantara kedua metode yang semakin tak berhimpit, sedangkan pada kondisi kepala tiang terjepit berperilaku sebaliknya.

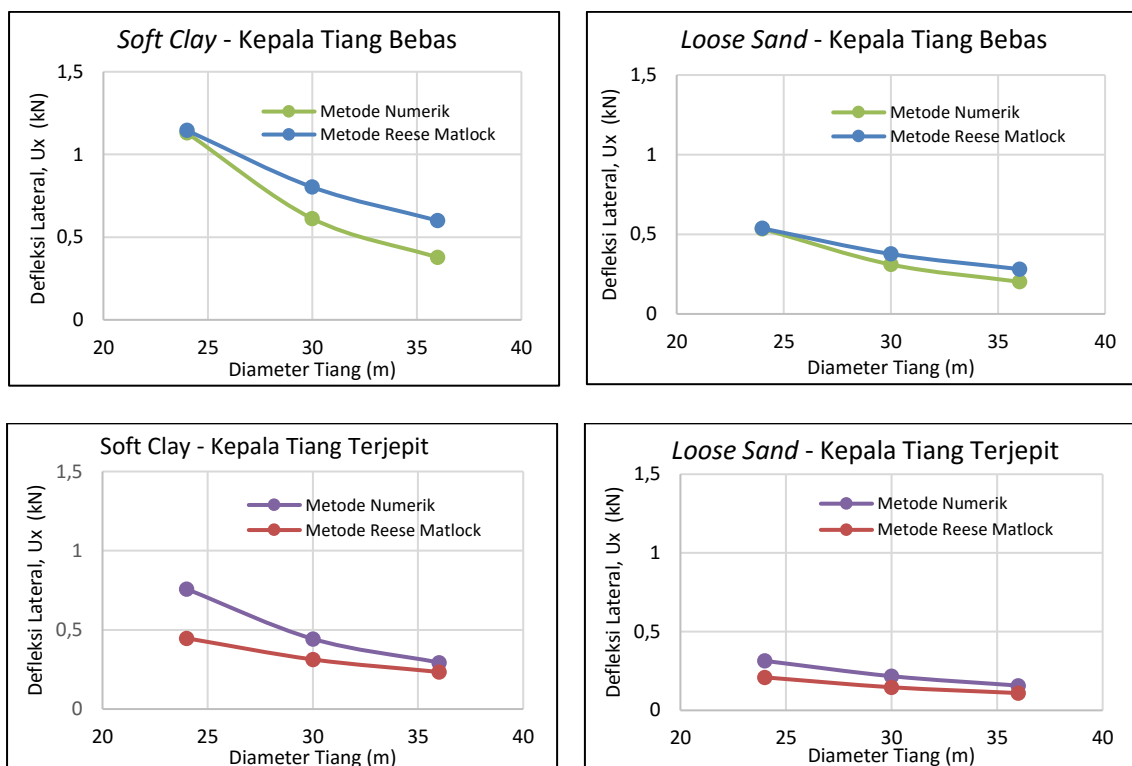
Pada metode Reese Matlock untuk tanah berbutir kasar dan lempung terkonsolidasi normal reaksi tanah *subgrade* dianggap bertambah secara linear terhadap kedalaman. Perbedaan diantara kedua metode tersebut bergantung kepada parameter tanah yang digunakan, banyaknya penyederhanaan, dan asumsi-asumsi yang digunakan. Pengujian di lapangan merupakan acuan karena paling menunjukkan kondisi tanah yang sebenarnya. Perbandingan defleksi lateral antara kedua metode dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



**Gambar 4. Perbandingan defleksi lateral metode elemen hingga dan Reese Matlock**



## Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan Metode Elemen Hingga



**Gambar 5. Perbandingan defleksi lateral metode elemen hingga dan Reese Matlock untuk setiap jenis tanah, diameter, dan kondisi kepala tiang**

### 3.5 Perbaikan Tanah Permukaan

Analisis ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lateral fondasi tiang tunggal pada tanah eksisting *soft clay* dengan mengganti lapisan permukaan dengan *dense sand* sehingga defleksi lateral yang terjadi lebih kecil. Pada analisis ini akan dicoba ketebalan lapis pasir padat yang bervariasi untuk mengetahui ketebalan optimum yang diperlukan untuk meningkatkan daya dukung lateral fondasi tiang. Pasir padat yang digunakan akan di coba dengan nilai  $E_s$  dan  $\phi$  yang bervariasi untuk mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh. Data tanah yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 5** dan hasil analisis perbaikan tanah permukaan dengan *dense sand* dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 5. Data Parameter Tanah Eksisting dan Tanah Perbaikan**

Parameter Tanah	Data 1		Data 2		Data 3	
	Material Eksisting	Material Perbaikan	Material Eksisting	Material Perbaikan	Material Eksisting	Material Perbaikan
$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15	19	15	19	15	19
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	16	20	16	20	16	20
$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	10.000	60.000	10.000	<b>80.000</b>	10.000	60.000
$\nu'$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	20	10	20	10	20	10
$\phi$ (°)	10	30	10	30	10	<b>40</b>
$\Psi$ (°)	0	0	0	0	0	10

**Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisis**

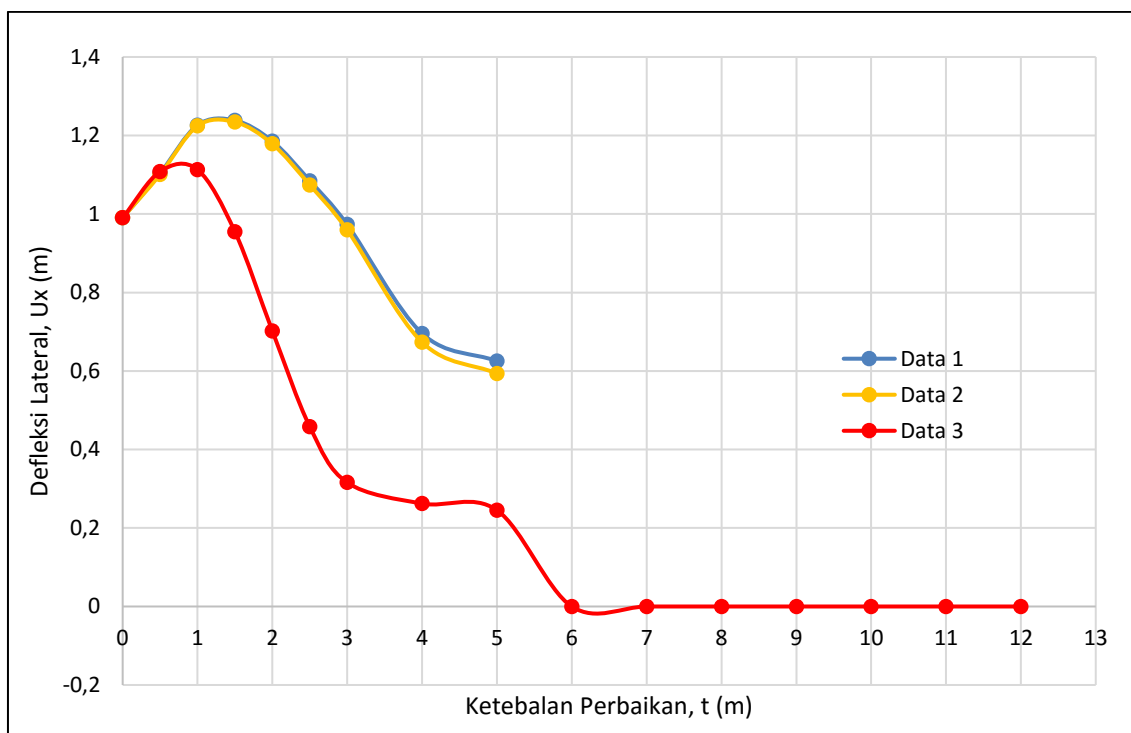
Lapisan Tanah	Data 1	Data 2	Data 3
	$U_x$ (m)	$U_x$ (m)	$U_x$ (m)
<i>Soft Clay</i>	<b>0,99019</b>	<b>0,99019</b>	<b>0,99019</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 0,5 m</i>	1,10349	1,10048	1,10806
<i>Soft Clay + Loose Sand 1,0 m</i>	1,22623	1,22436	1,11288
<i>Soft Clay + Loose Sand 1,5 m</i>	1,23827	1,23429	<b>0,95459</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 2,0 m</i>	1,18542	1,17842	<b>0,70204</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 2,5 m</i>	1,08457	1,07383	<b>0,45810</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 3,0 m</i>	<b>0,97314</b>	<b>0,95919</b>	<b>0,31574</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 4,0 m</i>	<b>0,69555</b>	<b>0,67330</b>	<b>0,26215</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 5,0 m</i>	<b>0,62519</b>	<b>0,59369</b>	<b>0,24529</b>
<i>Soft Clay + Loose Sand 6,0 m</i>	-	-	-2,28515E-06
<i>Soft Clay + Loose Sand 7,0 m</i>	-	-	-5,93405E-06
<i>Soft Clay + Loose Sand 8,0 m</i>	-	-	-9,68951E-06
<i>Soft Clay + Loose Sand 9,0 m</i>	-	-	-1,38778E-05
<i>Soft Clay + Loose Sand 10,0 m</i>	-	-	-1,88665E-05
<i>Soft Clay + Loose Sand 11,0 m</i>	-	-	-2,45834E-05
<i>Soft Clay + Loose Sand 12,0 m</i>	-	-	-3,09215E-05

Keterangan:

Data 1 -  $E_s$  dan  $\phi$  harga rata-rataData 2 - Harga  $E_s$  ditingkatkanData 3 - Harga  $\phi$  ditingkatkan

Analisis perbaikan tanah permukaan dengan *dense sand* menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa parameter  $\phi$  merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam meningkatkan daya dukung lateral fondasi tiang. Tegangan tanah akan terjadi ketika tanah menerima beban baik akibat berat sendiri maupun akibat beban luar yang menyebabkan tanah mengalami geser. Tanah harus mampu menahan geser yang disebabkan beban lateral, parameter yang menunjukkan kuat geser tanah adalah sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan kohesi ( $C$ ). **Tabel 6** menunjukkan bahwa parameter  $\phi$  berbanding terbalik dengan tebal lapis perbaikan, artinya semakin besar parameter  $\phi$  pada material perbaikan, semakin tipis tebal minimum perbaikan yang diperlukan. Perbandingan data 1, data 2, dan data 3 membuktikan bahwa penentuan parameter tanah merupakan masalah yang krusial, terlihat bahwa tebal optimum dipengaruhi parameter tanah yang digunakan. Parameter tanah yang tepat akan menghasilkan hasil analisis desain yang efisien. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketebalan optimum yang diperlukan untuk perbaikan yaitu sebesar 1,5 m – 3 m. Selain itu, dapat diketahui juga bahwa jika perbaikan dilakukan setebal 6 m, defleksi lateral akan sangat kecil dan aman, lebih dari 6 m perbaikan yang dilakukan tidak akan berpengaruh lagi. Defleksi lateral cenderung konstan jika perbaikan dilakukan lebih dari 6 m, sehingga dapat disimpulkan bahwa tebal lapisan yang mempengaruhi daya dukung lateral yaitu sedalam 6 m diukur dari muka tanah, kedalaman tersebut dapat digunakan sebagai acuan perbaikan tanah untuk meningkatkan kapasitas lateral. Perbandingan hasil analisis setiap data tanah dapat dilihat pada **Gambar 6**.

Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Tunggal  
Menggunakan Metode Elemen Hingga



**Gambar 6. Grafik hubungan ketebalan perbaikan tanah dan defleksi lateral**

### 3.6 Tiang Miring

Fondasi tiang khususnya tiang pancang umumnya dipancang tegak lurus, dalam kondisi tertentu misalnya fondasi untuk dermaga, fondasi tiang dipancang miring yang sering disebut *battle pile*. Tiang miring digunakan untuk menahan beban lateral yang disebabkan gelombang air laut dan benturan kapal terhadap dermaga. Analisis ini dilakukan dengan metode elemen hingga. Tiang miring yang dimodelkan diasumsikan mencapai tanah keras, sehingga tiang bertambah panjang untuk mencapai lapisan tanah tersebut. Hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7. Hasil Analisis Tiang Miring**

Kondisi Tiang	Kemiringan (°)	$U_x$ (m)	Peningkatan Daya Dukung (%)
Tiang Tegak - Kepala Tiang Terjepit	-	0,37918	-
Tiang Miring 1 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	2,9	0,37619	0,79
Tiang Miring 2 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	5,7	0,36395	4,02
Tiang Miring 3 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	8,5	0,35486	6,41
Tiang Miring 4 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	11,3	0,34398	9,28
Tiang Miring 5 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	14,0	0,31813	16,10
Tiang Miring 6 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	16,7	0,09993	73,65
Tiang Miring 10 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	26,7	0,07696	79,70
Tiang Miring 20 : 20 - Kepala Tiang Terjepit	45,0	0,03912	89,68

#### 4. KESIMPULAN

1. Kapasitas daya dukung lateral dapat ditingkatkan dengan memperbesar luas selimut tiang sehingga tahanan friksi meningkat dengan cara memperbesar ukuran penampang tiang.
2. Defleksi lateral maksimum terjadi di lapisan tanah permukaan sehingga tanah permukaan harus baik agar mampu memikul beban lateral.
3. Pada lapisan bawah berupa tanah pasir cenderung memperkecil defleksi lateral, sedangkan jika lapisan bawah berupa tanah lempung cenderung memperbesar defleksi lateral.
4. Pada kondisi kepala tiang terjepit, peningkatan daya dukung lateral akibat penambahan ukuran penampang lebih kecil dibandingkan pada kondisi kepala tiang bebas.
5. Hasil analisis perbaikan tanah permukaan dengan material *dense sand* menunjukkan bahwa parameter sudut geser dalam ( $\phi$ ) merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam meningkatkan daya dukung lateral fondasi tiang.
6. Tebal lapis perbaikan tanah permukaan bergantung kepada parameter tanah yang digunakan.
7. Semakin miring tiang, kapasitas lateral akan semakin meningkat.
8. Perbedaan hasil analisis metode elemen hingga dan Reese Matlock bergantung kepada parameter yang digunakan, banyaknya asumsi, dan penyederhanaan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bowles, Joseph E. Alih Bahasa Oleh Silaban, Pantur. (1988). Analisis dan Desain Fondasi Jilid 1 (Edisi 4). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. Alih Bahasa Oleh Mochtar, N. E., Indrasurya, B. M. (1985). Prinsip Teknik Geoteknikal. Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M. (2007). Principles of Foundation Engineering (7<sup>th</sup> Edition). Singapore: Cengage Learning.
- Plaxis (2013). Tutorial Manual 2013. Plaxis BV, Netherland.
- Schweiger, Helmut F. (2006). Numerical Methods in Geotechnical Engineering. London: Taylor & Francis Group plc.
- Tomlinson, M. J. (1995). Foundation Design and Construction (6<sup>th</sup> Edition). Singapore: Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd.
- Universitas Katolik Parahyangan. (2013). Manual Pondasi Tiang Edisi 4. Program Doktor dan Magister Teknik Sipil. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.