

## **TUGAS AKHIR**

**ANALISIS FAKTOR EFISIENSI DAN PERILAKU  
KELOMPOK TIANG AKIBAT BEBAN LATERAL  
MENGUNAKAN METODE FINITE DIFFERENCE  
DAN METODE ELEMEN HINGGA  
(*ANALYSIS OF THE EFFICIENCY FACTOR AND THE  
BEHAVIOR OF PILE GROUPS DUE TO LATERAL  
LOAD USING FINITE DIFFERENCE METHOD AND  
FINITE ELEMENT METHOD*)**

(Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung R.Soegondo Fakultas Ilmu Budaya  
Universitas Gadjah Mada)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Kartika Meidiana Hanifah  
13511141**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2018**

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS FAKTOR EFISIENSI DAN PERILAKU KELOMPOK TIANG AKIBAT BEBAN LATERAL MENGUNAKAN METODE FINITE DIFFERENCE DAN METODE ELEMEN HINGGA (*ANALYSIS OF THE EFFICIENCY FACTOR AND THE BEHAVIOR OF PILE GROUPS DUE TO LATERAL LOAD USING FINITE DIFFERENCE METHOD AND FINITE ELEMENT METHOD*)

dsusun oleh

**Kartika Meidiana Hanifah**  
13511141

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

diuji pada tanggal 15 Januari 2018

oleh Dewan Penguji:

**Pembimbing**  

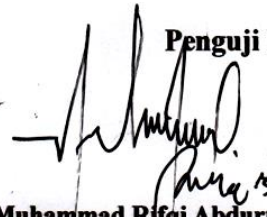

**Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.**  
NIK : 045110407

**Penguji I**



**Akhmad Marzuko, Ir., M.T.**  
NIK : 885110107

**Penguji II**




**Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.**  
NIK : 135111101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



  
**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIK : 955110103

## PERSYARATAN BEBAS PLAGIAT

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 November 2017

Yang membuat pernyataan,



Kartika Meidiana H

(13511141)

## DEDIKASI

*Alhamdulillahirobbil'alamin...*

*Teriring do'a dan rasa syukur kepada Allah SWT yang memberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran selama saya menyelesaikan Tugas Akhir ini..*

- ❖ *Terimakasih untuk kedua orang tua saya terutama Almarhumah ibu saya atas segenap cinta dan kasih sayang, do'a yang tak terputus, tulus, dan ikhlas. Terimakasih telah membesarkan, mendidik, dan berkorban dalam segala hal tanpa lelah.*
- ❖ *Kakak saya Sakti Ambarwati dan adik-adik saya Gavin Rajendra Novalino dan Kevin Rajendra Novalino yang melimpahkan dukungan serta motivasi yang bermakna.*
- ❖ *Teman-teman seperjuangan, terima kasih atas dukungan, motivasi, dan semangat dari kalian.*
- ❖ *Teruntuk sahabat-sahabatku yang menemaniku dalam kondisi senang maupun susah, motivasi dari kalian dan dukungan yang tak terhingga selama penyelesaian studi SI ini serta para Pendidikku, Bapak Ibu Dosen, dan Guru-guruku. Semoga kalian para pahlawan menjadi inspirasiku.*
- ❖ *Kampusku yang tercinta Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang memberikan saya banyak pembelajaran dan pengalaman yang sangat berharga.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral Menggunakan Metode Finite Difference dan Metode Elemen Hingga*. Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung R.Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing,
2. Bapak dan Ibu Dosen Penguji,
3. Bapak Budi Susanto, S.T, selaku *Team Leader* Proyek Fakultas Ilmu Budaya UGM,
4. Bapak Roni Widhi Hartanto, S.T, selaku Ahli Struktur Proyek Fakultas Ilmu Budaya UGM,
5. Seluruh staf dan karyawan PT. Elmacon Engineering, atas bimbingan dan kerja samanya selama penulisan Tugas Akhir,
6. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini,
7. Kakak dan adik penulis telah memberikan doa dan semangat sehingga selesainya Tugas Akhir ini,
8. Teman masa kecil saya Rismawati yang telah membantu mencari referensi buku,

9. Teman-teman terdekat penulis yang sama-sama sedang berjuang dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan teman-teman penulis yang berada di bangku sekolah yang telah memberikan dukungan dan semangat.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membaca.

Yogyakarta, 22 November 2017



Kartika Meidiana Hanifah

13511141

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERSYARATAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Faktor Efisiensi Kelompok Tiang	5
2.2 Perilaku Tiang Akibat Beban Lateral	6
2.3 Perbedaan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Tanah	12
3.1.1 Penyelidikan Tanah	12
3.1.2 Pengujian Tanah	12
3.1.3 Parameter Tanah	13

3.2	Pondasi	14
3.2.1	Pondasi Tiang Bor	15
3.2.2	Pengaruh Pemasangan Tiang Bor	16
3.3	Beban Lateral	16
3.3.1	Beban Lateral Ijin	18
3.3.2	Tiang Ujung Jepit dan Tiang Ujung Bebas	18
3.3.3	Metode Broms (Tiang dalam Tanah Granuler)	19
3.3.4	Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock)	29
3.3.4.1	Pada Tanah Granuler	30
3.3.5	Teori Dasar <i>Finite Difference</i>	32
3.4	Faktor Efisiensi dan Faktor Reduksi Kelompok Tiang	35
3.5	Program PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	36
3.5.1	Pendahuluan	36
3.5.2	Input Data	37
3.5.3	<i>Calculations</i> (Perhitungan dalam PLAXIS 3D <i>Foundation</i> )	38
3.5.4	<i>Output</i> perhitungan PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	38
3.6	Program MATLAB R2013a	40
<b>BAB IV METODELOGI PENELITIAN</b>		42
4.1	Metode Penelitian	42
4.2	Lokasi Penelitian	42
4.3	Pengumpulan Data	43
4.4	Analisis Pondasi <i>Bored Pile</i>	46
4.5	Pembahasan	47
4.6	Bagan Alir Penelitian	48
<b>BAB V ANALISIS PONDASI <i>BORED PILE</i></b>		51
5.1	Profil Proyek	51
5.1.1	Lokasi Proyek	51
5.2	Data Gedung R.Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM	52
5.2.1	Data Umum Proyek	52
5.2.2	Data Tanah	53
5.2.3	Data Tiang	56



5.3 Analisis Beban Lateral Tiang Tunggal	58
5.3.1 Metode Broms	58
5.3.2 Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock)	64
5.3.3 Metode Elemen Hingga Program PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	66
5.4 Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang dalam Berbagai Variasi Jumlah Tiang dan Jarak Tiang Akibat Beban Lateral Berdasarkan Defleksi Ijin	69
5.4.1 Metode <i>Finite Difference</i>	69
5.4.2 Metode Elemen Hingga Program PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	101
5.4.2.1 Pergerakan Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral Berdasarkan Defleksi Ijin	101
5.4.2.2 Gaya-gaya Internal Pondasi Kelompok Tiang	108
5.4.2.3 Momen Lentur Pondasi Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral	109
5.5 Analisis Pengaruh Jumlah Tiang Terhadap Perilaku Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral	113
5.6 Pembahasan	115
5.6.1 Hasil Analisis Beban Lateral Tiang Tunggal Berdasarkan Defleksi Ijin	115
5.6.2 Hasil Analisis Beban Lateral dan Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Berdasarkan Defleksi Ijin	116
5.6.3 Hasil Analisis Pergerakan Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral Berdasarkan Defleksi Ijin	120
5.6.4 Hasil Analisis Momen Lentur Kelompok Tiang	121
5.6.5 Hasil Analisis Pengaruh Jumlah Tiang Terhadap Perilaku Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral	125
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	129
6.1 Kesimpulan	129
6.2 Saran	130

PENUTUP	131
DAFTAR PUSTAKA	132
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian	7
Tabel 3.1	Nilai-nilai $n_h$ untuk Tanah Granuler ( $c=0$ )	24
Tabel 3.2	Koefisien Pondasi pada Tanah Granuler	31
Tabel 4.1	Data Parameter Tanah	44
Tabel 4.2	Jenis Tanah Secara Visual Titik Bor BM-01	44
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah yang Digunakan untuk Analisis Statis	55
Tabel 5.2	Data Parameter Tanah yang Digunakan PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	56
Tabel 5.3	Rekapitulasi Perhitungan $K_p$	59
Tabel 5.4	<i>Trial and Error</i> PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	67
Tabel 5.5	Perbedaan Hasil Beban Lateral Tiang Tunggal Berdasarkan Defleksi Ijin Metode Broms, Metode Solusi Elastik Metode Elemen Hingga	67
Tabel 5.6	Beban Lateral Pondasi Kelompok 3 Tiang	103
Tabel 5.7	Beban Lateral Pondasi Kelompok 6 Tiang	105
Tabel 5.8	Beban Lateral Pondasi Kelompok 9 Tiang	107
Tabel 5.9	Momen Lentur Maksimum Pondasi Tiang Tunggal	109
Tabel 5.10	Momen Lentur Maksimum Pondasi Kelompok 3 Tiang	110
Tabel 5.11	Momen Lentur Maksimum Pondasi Kelompok 6 Tiang	111
Tabel 5.12	Momen Lentur Maksimum Pondasi Kelompok 9 Tiang	112
Tabel 5.13	Perbandingan Beban Lateral Tiang Tunggal	115
Tabel 5.14	Perbandingan Beban Lateral dan Faktor Efisiensi Kelompok Tiang dengan Jarak Tiang Metode <i>Finite Difference</i>	116
Tabel 5.15	Perbandingan Beban Lateral Kelompok Tiang Hasil Program PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	117
Tabel 5.16	Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Hasil Program PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	117

Tabel 5.17 Momen Lentur Maksimum Kelompok Tiang Hasil Program

PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6

122

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Aplikasi Pondasi Tiang dalam Menahan Beban Lateral	17
Gambar 3.2	Definisi Tiang Ujung Jepit dan Ujung Bebas	19
Gambar 3.3	Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang dalam Tanah Granuler	20
Gambar 3.4	Tiang Ujung Jepit Pada Tanah Granuler	22
Gambar 3.5	Beberapa Tipe Pengujian Kapasitas Lateral Tiang	25
Gambar 3.6	Pergerakan Translasi pada Kelompok Tiang Akibat Gaya Lateral	26
Gambar 3.7	Pergerakan Rotasi pada Kelompok Tiang Akibat Gaya Lateral	26
Gambar 3.8	Zona Tegangan Plat	27
Gambar 3.9	Zona Pengaruh Kelompok Tiang	28
Gambar 3.10	Defleksi pada Pondasi Tiang Kaku dan Pondasi Tiang Elastis	29
Gambar 3.11	Beban Lateral dan Momen pada Pondasi Tiang	30
Gambar 3.12	Grafik Koefisien $C_y$ dan $C_m$ Pondasi Tiang	32
Gambar 3.13	Analisa <i>Finite Difference</i> untuk Tiang dengan Beban Lateral	34
Gambar 3.14	Faktor Efisiensi atau Faktor Reduksi Kelompok Tiang	36
Gambar 3.15	Bagan Alir PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	39
Gambar 3.16	Bagan Alir MATLAB R2013a	41
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian Pembangunan Gedung R.Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada	43
Gambar 4.2	Dimensi <i>Bored Pile</i>	45
Gambar 4.3	Tampak Atas Pondasi Kelompok Tiang Bor dan Arah Beban Lateral	46
Gambar 4.4	Bagan Alir Penelitian	50
Gambar 5.1	Lokasi Proyek Pembangunan Gedung R.Soegondo (Kompleks Inklus, Pusat Pelatihan Bahasa dan Jurusan) Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada	52
Gambar 5.2	Pondasi Tiang dengan Beban Lateral Arah Sumbu X	58
Gambar 5.3	Momen Maksimum $M_y$ Mencapai di Dua Lokasi	60

Gambar 5.4	Daya Dukung Ujung Batas <i>Bored Pile</i> pada Tanah Granuler	62
Gambar 5.5	Pemodelan Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock)	64
Gambar 5.6	Koefisien $C_y$ Pondasi Tiang pada Tanah Granuler	66
Gambar 5.7	Beban Lateral Tiang Tunggal pada Tanah Homogen Hasil PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	68
Gambar 5.8	<i>Finite Difference</i> untuk Tiang Tunggal dengan Beban Lateral Arah Sumbu X	69
Gambar 5.9	Perintah Pada MATLAB Tiang Tunggal	75
Gambar 5.10	Pergerakan Pondasi Tiang Tunggal Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X	76
Gambar 5.11	<i>Finite Difference</i> untuk Kelompok Tiang Jarak 4D dengan Beban Lateral Arah Sumbu X	77
Gambar 5.12	Perintah Pada MATLAB Kelompok Tiang Jarak 4D	83
Gambar 5.13	Pergerakan Pondasi Kelompok Tiang Jarak 4D Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X	84
Gambar 5.14	<i>Finite Difference</i> untuk Kelompok Tiang Jarak 5D dengan Beban Lateral Arah Sumbu X	85
Gambar 5.15	Perintah Pada MATLAB Kelompok Tiang Jarak 5D	83
Gambar 5.16	Pergerakan Pondasi Kelompok Tiang Jarak 5D Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X	92
Gambar 5.17	<i>Finite Difference</i> untuk Kelompok Tiang Jarak 6D dengan Beban Lateral Arah Sumbu X	93
Gambar 5.18	Perintah Pada MATLAB Kelompok Tiang Jarak 6D	99
Gambar 5.19	Pergerakan Pondasi Kelompok Tiang Jarak 6D Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X	100
Gambar 5.20	Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Tiang Tunggal Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	101
Gambar 5.21	Pergerakan Tiang Tunggal Kondisi Kepala	

Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	102
Gambar 5.22 Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Kelompok 3 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	103
Gambar 5.23 Pergerakan Pondasi Kelompok 3 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	104
Gambar 5.24 Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Kelompok 6 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	105
Gambar 5.25 Pergerakan Pondasi Kelompok 6 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	106
Gambar 5.26 Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Kelompok 9 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	107
Gambar 5.27 Pergerakan Pondasi Kelompok 9 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral	108
Gambar 5.28 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Tiang Tunggal	109
Gambar 5.29 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Kelompok 3 Tiang	110
Gambar 5.30 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Kelompok 6 Tiang	111
Gambar 5.31 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Kelompok 9 Tiang	112
Gambar 5.32 Defleksi Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral	113
Gambar 5.33 Momen Lentur Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral	114
Gambar 5.34 Grafik Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Dengan Variasi Jumlah Tiang	118
Gambar 5.35 Grafik Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Jarak 4D, 5D, dan 6D	119
Gambar 5.36 Pergerakan Lateral Maksimum Terjadi di Dekat Kepala Tiang	120
Gambar 5.37 Grafik Momen Positif Maksimum Terhadap Jarak Tiang	123
Gambar 5.38 Grafik Momen Negatif Maksimum Terhadap Jarak Tiang	123
Gambar 5.39 Grafik Momen Positif Maksimum Terhadap Jumlah Tiang	124
Gambar 5.40 Grafik Momen Negatif Maksimum Terhadap Jumlah Tiang	124
Gambar 5.41 Defleksi Terhadap Jumlah Tiang Dalam Satu Kelompok	125

Gambar 5.42 Persentase Perubahan Defleksi Kelompok Tiang Setiap Pertambahan Beban Sebesar 1000 kN Terhadap Jumlah Tiang	126
Gambar 5.43 Momen Lentur Terhadap Jumlah Tiang Dalam Satu Kelompok	126
Gambar 5.42 Persentase Perubahan Momen Lentur Kelompok Tiang Setiap Pertambahan Beban Sebesar 1000 kN Terhadap Jumlah Tiang	127



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Time Schedule*

Lampiran 2 Data Tanah

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CPT	=	<i>Cone Penetration Test</i>
SPT	=	<i>Standard Penetration Test</i>
qc	=	Tahananam konus
p <sub>u</sub>	=	Tahanan ultimit (kN/m <sup>2</sup> )
p <sub>o</sub>	=	Tekanan <i>overburden</i> efektif (kN/m <sup>2</sup> )
H <sub>u</sub>	=	Beban lateral ultimit (kN)
c	=	Kohesi (kg/cm <sup>2</sup> )
φ	=	Sudut geser (°)
γ <sub>dry</sub>	=	Berat isi tanah kering (kN/m <sup>3</sup> )
γ	=	Berat volume tanah (kN/m <sup>3</sup> )
E <sub>ref</sub>	=	<i>Modulus young</i> (kN/m <sup>2</sup> )
ν	=	<i>Poisson's ratio</i>
ψ	=	Sudut dilatasi (°)
k <sub>y</sub>	=	Permeabilitas arah vertikal
k <sub>x</sub>	=	Permeabilitas arah horizontal
E <sub>p</sub>	=	Modulus elastis pondasi (kN/m <sup>2</sup> )
e	=	<i>Void ratio</i>
n <sub>h</sub>	=	Koefisien variasi modulus Terzaghi (tanah granuler pasir padat = 19400 kN/m <sup>3</sup> )
L	=	Nilai kedalaman pondasi (m)
B	=	Nilai lebar pondasi (m)
d	=	Diameter tiang (m)
y <sub>o</sub>	=	Defleksi tiang akibat beban lateral (mm)
M <sub>y</sub>	=	Tahanan momen tiang atau momen maksimum yang mampu ditahan tiang (kN.m)
M <sub>mak</sub>	=	Momen maksimum (kN.m)
f	=	Kedalaman momen maksimum pada jarak f (m)

$I_p$	= Momen inersia tampang pondasi ( $m^4$ )
$H_u/H$	= Beban lateral ijin pada defleksi torsi (kN)
$D_r$	= Kerapatan relatif
$M_g$	= Momen maksimum (kN.m)
$\theta_z$	= Tekuk tiang
$M_z$	= Momen pada tiang (kN.m)
$V_z$	= Gaya geser pada tiang (kN)
$p'_z$	= Reaksi pada tiang
$T$	= Karakteristik panjang tiang (m)
$z$	= Kedalaman (m)
$P$	= Tekanan
$k_h$	= Koefisien reaksi tanah dalam arah horizontal ( $kN/m^3$ )
$n$	= Banyaknya interval sepanjang tiang
$\eta$	= Efisiensi kelompok tiang
$H_i$	= Beban lateral pada tiang ke-i (kN)
$H_{tunggal}$	= Beban lateral pada tiang tunggal (kN)
$n$	= Jumlah tiang
$S_x$	= <i>Slope</i> dikepala tiang
$p_x$	= Perlawanan tanah
$\alpha_i$	= Koefisien pergerakan lateral tiang setiap interval (titik)
$\delta$	= Koefisien pembagi interval tiang (m)

## ABSTRAK

Kapasitas pembebanan lateral dari suatu kelompok tiang bukan merupakan penjumlahan dari kapasitas lateral masing-masing tiang. Dalam suatu perhitungan kapasitas pembebanan lateral tiang diperlukan adanya faktor efisiensi atau faktor reduksi. Penelitian ini juga dilakukan analisis perilaku kelompok tiang akibat beban lateral. Perilaku kelompok tiang adalah interaksi antar tiang dalam satu kelompok tiang. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelompok tiang bila sebuah tiang diberi beban lateral tergantung dari posisi tiang dalam kelompok, jarak antar tiang, jumlah tiang, dan kondisi jepit kepala tiang. Beban lateral pada kepala tiang menyebabkan defleksi pada kepala tiang dan terjadi bending momen sepanjang tiang. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor efisiensi, pergerakan tiang dan momen lentur pada tiang tunggal dan kelompok tiang 3, 6, dan 9 dengan jarak 4D, 5D, dan 6D ketika menerima beban lateral pada kepala tiang yang kondisinya terjepit (*fixed head*).

Perhitungan beban lateral tiang tunggal menggunakan Metode Broms, Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock) dan Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Perhitungan beban lateral kelompok tiang menggunakan sistem *trial and error* dengan mengganti besarnya beban lateral. Beban lateral diberikan dengan pembebanan arah sumbu X. Batasan pergerakan pada kepala tiang adalah sebesar 6 mm. Penelitian faktor efisiensi, defleksi dan momen lentur tiang dilakukan menggunakan Metode *Finite Difference* dan Metode Elemen Hingga menggunakan Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6.

Faktor efisiensi kapasitas lateral berdasarkan defleksi yang diijinkan, dengan menggunakan Metode *Finite Difference* jarak tiang yang semakin besar maka nilai dari faktor efisiensi kelompok tiang akan membesar dan mendekati satu yang merupakan faktor efisiensi dari tiang tunggal. Berdasarkan hasil perhitungan Metode Elemen Hingga menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 faktor efisiensi terhadap jarak tiang semakin besar jarak antar tiang dalam satu kelompok tiang maka semakin besar faktor efisiensinya dan faktor efisiensi terhadap jumlah tiang semakin besar jumlah tiang dalam satu kelompok tiang maka semakin kecil faktor efisiensinya. Hasil perhitungan Metode *Finite Difference* dan perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 semakin besar jarak antar tiang maka pergerakan tiang akan mendekati tiang tunggal. Hasil perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 jumlah tiang kelipatan tiga pada kelompok tiang dengan *pile cap* berbentuk bujur sangkar dan persegi panjang akan menghasilkan nilai momen lentur maksimum yang relatif sama pada masing-masing kelompok tiang akibat beban lateral berdasarkan defleksi ijin. Pengaruh jumlah tiang terhadap perilaku kelompok tiang akibat variasi beban lateral dengan jarak tiang *eksisting* menggunakan Metode Elemen Hingga dengan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah linear dimana semakin banyak jumlah tiang dalam kelompok tiang maka defleksi dan momen lentur akan semakin kecil. Pada kelompok 3 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 34% - 56% dan moemen lentur tiang sebesar 32% - 56%. Pada kelompok 6 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 35% - 48% dan moemen lentur tiang sebesar 34% - 61%. Pada kelompok 9 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 25% - 40% dan moemen lentur tiang sebesar 36% - 58%. Hubungan defleksi tiang dengan momen lentur yaitu semakin besar defleski tiang maka momen lentur juga akan semakin besar.

**Kata kunci:** Faktor Efisiensi, Perilaku Tiang, *Finite Difference*, PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6

## ABSTRACT

*The lateral loading capacity of a pile group is not the sum of the lateral capacity of each pile. So, in a pile lateral loading capacity calculation, an efficiency factor or the reduction factor is needed. This study also analyzes the behavior of pile groups due to lateral load. The behavior of pile groups is the interaction between the piles and pile group. Factors affecting a pile group one pile are given lateral load are depending on the pile's position in the group, the distances between piles, the number of piles and mast head clamp conditions. Lateral load on the mast head causes deflection of on the pile head and bending moments occur along the pile. This study is conducted to determine the efficiency factor, deflection and bending moment on the single pile and pile group 3, 6, and 9 with a distance of 4D, 5D and 6D when they receive a static lateral load on wedged mast head (fixed head).*

*The calculation of lateral load uses the Broms, Elastic Solutions (Reese and Matlock) methods and PLAXIS 3D Foundation Version 1.6. Lateral load is given with the loading direction of the X-axis. The limitation of movement on the pile head is within 6 mm. The study of the efficiency factor, mast deflection and bending moment factors is conducted using the Finite Difference method and the finite element method using PLAXIS 3D Foundation Version 1.6.*

*The lateral efficiency factor based on the allowable deflection, using the Finite Difference Method of increasing pile distance, the value of the pile group efficiency factor will be enlarged and close to one which is the efficiency factor of the single pile. Based on the calculation of Finite Element Method using PLAXIS 3D Foundation Version 1.6 efficiency factor to the pile distance the greater the distance between the piles in a pile group the greater the efficiency factor and the efficiency factor to the number of piles the greater the number of piles in a pole group the smaller the efficiency factor. The results of Finite Difference Method and PLAXIS 3D Foundation Version 1.6 calculation, the greater the distance between piles, the movement of the pile will approach the single pile. The result of the calculation of PLAXIS 3D Foundation Version 1.6 of the number of three-pile multiples in the pile group with square and rectangular pile caps will result in the relative maximum relative moment values in each pile group due to lateral loads based on the permit deflection. The effect of the number of piles on the behavior of the pile group due to lateral load variations with the existing pile spacing using the Element Method Up to PLAXIS 3D Foundation Version 1.6 is linear where the more piles in the pile group the deflection and bending moment will be smaller. In groups of 3 piles, with a load of 1000 kN to 4000 kN load there was a deflection increase of 34% - 56% and pile bending moments of 32% - 56%. In groups of 6 piles, with a load of 1000 kN to 4000 kN load there was a deflection increase of 35% - 48% and pile bending moments of 34% - 61%. In groups of 9 piles, with a load of 1000 kN to 4,000 kN load there was a deflection increase of 25% - 40% and pile bending moments of 36% - 58%. The correlation of the pile deflection with the bending moment is the greater the deflated pile then the bending moment will also be greater.*

**Keyword:** *Efficiency Factor, Pile Behavior, Finite Difference, PLAXIS 3D Foundation Version 1.6*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kota Yogyakarta yang dijadikan sebagai kota pendidikan dapat membuka peluang untuk menimba ilmu. Hal inilah yang telah membuat perluasan perpindahan penduduk dari luar kota maupun dari luar negeri ke Yogyakarta. Perpindahan penduduk ini dapat memberi sumbangan bagi kemajuan kota, namun mengakibatkan permasalahan yang cukup signifikan untuk dipertimbangkan yaitu peningkatan populasi. Meningkatnya populasi penduduk dan terbatasnya lahan merangsang peningkatan pembangunan konstruksi gedung bertingkat, terutama dibidang pendidikan yaitu gedung perkuliahan. Manajemen konstruksi yang baik sangat diperlukan guna mendapatkan bangunan yang berkualitas.

Setiap bangunan yang berdiri di atas permukaan tanah memerlukan pondasi sebagai pendukung dari bangunan. Agar dapat berfungsi optimal, handal, dan ekonomis, maka jenis pondasi yang digunakan disesuaikan dengan fungsi struktur dan kondisi tanah dimana struktur tersebut akan dibangun. Pondasi merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam suatu pekerjaan teknik sipil, karena pondasi inilah yang memikul dan menahan suatu beban yang bekerja di atasnya yaitu beban konstruksi atas.

Pondasi yang baik pada umumnya harus dapat menahan beban-beban yang akan terjadi. Salah satu beban yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan pondasi adalah beban lateral pondasi. Beban lateral yang terjadi pada suatu pondasi merupakan akibat dari: tekanan tanah lateral, beban angin, beban gempa, hempasan gelombang laut (untuk pondasi lepas pantai), beban benturan kapal (untuk pondasi dermaga), beban rem kendaraan pada struktur jembatan, dan lain-lain (Dewi, 2009).

Kapasitas pembebanan lateral antara sebuah pondasi tiang dengan pondasi kelompok tiang berbeda. Kapasitas pembebanan lateral dari suatu kelompok tiang bukan merupakan penjumlahan dari kapasitas lateral masing-masing tiang. Dalam

suatu perhitungan kapasitas pembebanan lateral tiang diperlukan adanya faktor pengali untuk mengetahui kapasitas kelompok tiang. Faktor pengali tersebut bisa dikenal dengan faktor efisiensi atau faktor reduksi. Gaya lateral yang dialami oleh suatu kelompok tiang tidak sepenuhnya menyebabkan translasi tetapi dapat menimbulkan gaya aksial tarik dan gaya aksial tekan terhadap kelompok tiang. Kapasitas lateral pondasi perlu diperhitungkan dalam mendesain suatu pondasi (Dewi, 2009).

Pondasi didesain hanya terdiri dari satu tiang ataupun dapat dikelompokkan dalam sebuah kelompok tiang sesuai dengan besarnya beban yang akan dipikul oleh tiang. Dari sejumlah hasil percobaan dengan menggunakan tes beban menunjukkan bahwa tiang-tiang vertikal dapat menahan beban lateral melalui tegangan geser, momen lentur, dan ketahanan tanah lateral (*lateral soil resistance*) (Ashour dan Norris, 2000).

Dasar dari analisis perilaku kelompok tiang akibat beban lateral adalah interaksi antar tiang dalam satu kelompok tiang. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelompok tiang bila sebuah tiang diberi beban lateral tergantung dari posisi tiang dalam kelompok, jarak antar tiang, jumlah tiang, dan kondisi jepit kepala tiang. Akibat beban lateral pada kepala tiang menyebabkan defleksi pada kepala tiang dan terjadi bending momen sepanjang tiang (Chen dan Hull, 1997).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang dipaparkan di sub-bab 1.1 dapat diambil beberapa masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana faktor efisiensi kapasitas lateral berdasarkan defleksi yang diijinkan dari suatu kelompok tiang dalam berbagai variasi jarak tiang menggunakan Metode *Finite Difference* dan Metode Elemen Hingga, dan variasi jumlah tiang menggunakan Metode Elemen Hingga ?
2. Bagaimana pergerakan kelompok tiang dalam berbagai variasi jarak tiang menggunakan Metode *Finite Difference* dan Metode Elemen Hingga, dan momen lentur kelompok tiang dalam berbagai variasi jumlah tiang

menggunkan Metode Elemen Hingga akibat beban lateral berdasarkan defleksi ijin?

3. Bagaimana pengaruh jumlah tiang terhadap perilaku kelompok tiang akibat variasi beban lateral dengan jarak tiang *eksisting* (jarak antar tiang yang digunakan pada proyek) menggunakan Metode Elemen Hingga?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut ini:

1. mengetahui faktor efisiensi kapasitas lateral berdasarkan defleksi yang diijinkan dari suatu kelompok tiang dalam berbagai variasi jarak tiang menggunakan Metode *Finite Difference* dan Metode Elemen Hingga, dan variasi jumlah tiang menggunakan Metode Elemen Hingga,
2. mengetahui pergerakan kelompok tiang dalam berbagai variasi jarak tiang menggunakan Metode *Finite Difference* dan Metode Elemen Hingga, dan momen lentur kelompok tiang dalam berbagai variasi jumlah tiang menggunakan Metode Elemen Hingga akibat beban lateral berdasarkan defleksi ijin, dan
3. mengetahui pengaruh jumlah tiang terhadap perilaku kelompok tiang akibat variasi beban lateral dengan jarak tiang *eksisting* (jarak antar tiang yang digunakan pada proyek) menggunakan Metode Elemen Hingga.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengetahui bagaimana perilaku kelompok tiang pada sistem tanah berlapis, dan
2. dapat dijadikan literatur tambahan bagi pembaca yang membutuhkan dan mendalami analisa mengenai perilaku lateral kelompok tiang.



### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang akan diteliti dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. pondasi tiang yang digunakan untuk penelitian adalah pondasi tiang bor sepanjang 16 meter yang berbentuk lingkaran dengan diameter tiang sebesar 0,60 meter,
2. data tanah yang digunakan adalah hasil uji tanah pada lahan proyek Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada,
3. kondisi tanah yang digunakan untuk penelitian adalah tanah granuler jenis pasir padat sesuai dengan hasil uji tanah proyek Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada,
4. kondisi kepala tiang bor adalah terjepit (dapat dilihat pada halaman 45),
5. metode statis yang digunakan adalah Metode Broms, Metode Solusi Elastik, dan Metode *Finite Difference*,
6. analisa dilakukan terhadap efek beban lateral pada arah sumbu X,
7. jarak antara pondasi tiang (dari as ke as) dalam satu kelompok tiang yang akan dianalisa adalah 4D, 5D, dan 6D,
8. jumlah tiang dalam suatu kelompok tiang yang akan dianalisa terhadap jarak antar tiang yaitu 3, 6, dan 9 tiang,
9. beban aksial sudah dihitung oleh PT.Rimasyada, sehingga tidak dicantumkan dalam perhitungan (dapat dilihat pada lampiran halaman 137),
10. jarak pondasi tiang *eksisting* dilokasi penelitian Tugas Akhir (Proyek Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada) adalah 3,5D,
11. penelitian hanya dilakukan pada tiang tegak (bukan tiang miring),
12. defleksi yang diijinkan di kepala tiang untuk bangunan gedung bertingkat sebesar 6 mm (dapat dilihat pada halaman 18),
13. menganalisa faktor efisiensi (faktor pengali), perilaku kelompok tiang tanpa efek *pilecap* pada program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6,
14. analisa hanya dilakukan terhadap perilaku tiang,
15. menggunakan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dan MATLAB R2013a.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Faktor Efisiensi Kelompok Tiang**

Pondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan beban-beban yang diterima oleh suatu bangunan, termasuk beban lateral. Tiap pondasi kelompok dari segi susunan formasi tiang dan jumlah tiang memiliki nilai kapasitas pembebanan lateral yang berbeda. Untuk mendapatkan nilai kapasitas pembebanan lateral dari suatu kelompok tiang diperlukan nilai faktor efisiensi dari kelompok tiang.

Penelitian yang dilakukan oleh Boris (2013) adalah tentang Analisis Kapasitas Kelompok Tiang Pancang Terhadap Beban Lateral Menggunakan Metode *Finite Difference*. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai efisiensi kelompok tiang. Hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian tersebut adalah dengan menggunakan metoda *Finite Difference*, menunjukkan bahwa susunan formasi tiang dan jumlah tiang mempengaruhi besar kecilnya nilai efisiensi kelompok tiang.

Penelitian yang dilakukan oleh Dewi (2009) adalah tentang Analisa Kapasitas Kelompok Tiang Terhadap Beban Lateral dengan Menggunakan PLAXIS 3D *Foundation*. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui efek jumlah tiang dalam kelompok tiang, kekakuan tanah dan konfigurasi tiang terhadap faktor efisiensi. Hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian tersebut adalah dengan menggunakan program elemen hingga berupa PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.5 menunjukkan bahwa efek jumlah tiang dalam kelompok tiang, kekakuan tanah dan konfigurasi tiang berpengaruh terhadap faktor efisiensi kelompok tiang.

## 2.2 Perilaku Tiang Akibat Beban Lateral

Perilaku pondasi tiang dapat diketahui dari responnya terhadap beban dan deformasi. Melalui perilaku ini dapat ditentukan kuat dukung pondasi tiang dalam menerima beban lateral. Dalam pekerjaan konstruksi bangunan, beberapa tiang bor dikelompokkan dengan kepala tiang untuk mendukung beban bangunan tersebut. Dengan demikian, perilaku pondasi tiang bor tersebut tidak hanya ditentukan oleh kemampuan tiang bor tunggal saja, tetapi oleh keseluruhan kelompok tiang bor. Dalam perkembangannya, analisis dan desain pondasi tiang banyak dilakukan dengan metode numerik seperti dilakukan oleh Zhang dan Small (2000), Tosini dkk. (2010). Analisis secara numerik yang sering digunakan adalah metode elemen hingga untuk memprediksi perilaku pondasi tiang terhadap gaya dan deformasi, serta tekanan tanah yang terjadi (Said dkk, 2009).

Penelitian yang dilakukan oleh Noviati (2014) adalah tentang *Shadowing Effect* Grup Tiang Akibat Gaya Lateral pada Gedung IKPT. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui defleksi dan momen lentur pada tiang tunggal dan kelompok tiang 3, 5, dan 7 ketika menerima beban lateral statis pada kepala tiang yang kondisinya terjepit (*fixed head*). Analisis defleksi dan momen lentur tiang dilakukan dengan menggunakan Software PLAXIS 3D *Foundation* V1.5. Beban lateral diberikan sekali dengan pembebanan dari 2 arah yang berbeda yaitu arah x dan z, sebesar 7 ton pertiang. Hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian tersebut adalah jumlah tiang yang ganjil pada grup tiang dengan bentuk *pile cap* yang berbeda, akan menghasilkan nilai defleksi maksimum yang berbeda berkisar diantara 0 - 5 % pada gedung bertingkat IKPT. Perbedaan bending momen 2 arah x akan lebih besar daripada bending momen - 3nya, sedangkan pada arah z keterbaliknya bending momen 2 arah z lebih kecil daripada bending momen - 3nya. Hal di dikarenakan perbedaan bentuk *pile cap* dan arah pembebanannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Muntohar (2013) adalah tentang Perilaku Pondasi Tiang Bor Kelompok dengan Metode Elemen Hingga 2D dan 3D. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk membandingkan beban dan deformasi hasil simulasi model 2D dan 3D dengan menggunakan PLAXIS 8 dan PLAXIS

3D *Foundation*. Hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian tersebut adalah hasil simulasi menunjukkan secara umum perilaku deformasi tiang bor pada model 2D dan 3D adalah sama, namun besaran deformasi tiang bor model 3D berkisar 10% dari deformasi pada model 2D. Sebaliknya, respon tiang bor terhadap gaya aksial pada model 3D lebih besar 50% daripada model 2D. Sedangkan respon tiang bor terhadap gaya geser dan momen lentur pada model 3D adalah 20% dan 10% lebih besar daripada model 2D.

Penelitian yang dilakukan oleh Firdaus (2011) adalah tentang Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan PLAXIS 2D pada Tanah Lunak. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah membandingkan beberapa bentuk konfigurasi dari tiang pancang kelompok, yang terdiri dari 2, 3, 4, 6, dan 8 tiang pancang dalam 1 konfigurasi dengan jarak antar tiang pancang antara 2D sampai 4D, dalam menahan beban aksial dan lateral menggunakan bantuan program dalam pengerjaannya yaitu PLAXIS 2D versi 8 dengan model material Mohr Coulomb, Hardening, Soft Soil. Hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian tersebut adalah menggunakan PLAXIS 2D diperoleh hasil akibat berubahnya jarak antar tiang pancang berupa penambahan kemampuan tiang pancang dalam menahan beban aksial dan lateral, untuk beban yang sama, perubahan jarak antar tiang dapat mengurangi penurunan dan defleksi tiang pancang.

### 2.3 Perbedaan Penelitian

Perbedaan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penyusun dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No	Nama	Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
1.	Noviati (2014)	- <i>Shadowing Effect</i> Grup Tiang Akibat Gaya Lateral pada Gedung IKPT. - Pembebanan	- Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral menggunakan

		<p>dilakukan pada arah sumbu X dan arah sumbu Z.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penelitian dilakukan pada tiang tunggal dan kelompok tiang 3, 5, dan 7 pada kepala tiang terjepit.</li> <li>- Beban lateral sudah ditentukan sebesar 7 ton.</li> </ul>	<p>Metode Elemen Hingga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembebanan dilakukan pada arah sumbu X.</li> <li>- Penelitian dilakukan pada tiang tunggal dan kelompok tiang 3, 6, dan 9 pada kepala tiang terjepit.</li> <li>- Beban lateral yang digunakan adalah beban lateral hasil analisa Meode Elemen Hingga.</li> </ul>
2.	Muntohar (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perilaku Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Metode Elemen Hingga 2D dan 3D.</li> <li>- Membandingkan beban dan deformasi hasil simulasi model 2D dan 3D.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral menggunakan Metode Elemen Hingga.</li> <li>- Program yang digunakan adalah PLAXIS 3D <i>Foundation</i>.</li> </ul>
3.	Boris (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisis Kapasitas Kelompok Tiang Pancang Terhadap Beban Lateral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral</li> </ul>

		<p>Menggunakan Metode <i>Finite Difference</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metode konvensional yang digunakan adalah metode Elastik, dan metode <i>Finite Difference</i>.</li> </ul>	<p>menggunakan Metode Elemen Hingga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi Penelitian Proyek Pembangunan Gedung R.Soegondo (Kompleks Inklus, Pusat Pelatihan Bahasa dan Jurusan) Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada.</li> <li>- Metode statis yang digunakan adalah Metode Broms, Metode Solusi Elastik dan Metode <i>Finite Difference</i>.</li> <li>- Program yang digunakan adalah PLAXIS 3D <i>Foundation</i>.</li> <li>- Jenis tanah yang digunakan penelitian adalah pasir padat.</li> </ul>
4.	Firdaus (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan PLAXIS 2D pada Tanah Lunak.</li> <li>- Studi ini</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral menggunakan Metode Elemen</li> </ul>

		<p>membandingkan beberapa bentuk konfigurasi dari tiang pancang kelompok, yang terdiri dari 2, 3, 4, 6, dan 8 tiang pancang dalam 1 konfigurasi dengan jarak antar tiang pancang antara 2D sampai 4D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ditinjau terhadap beban aksial dan lateral menggunakan bantuan program dalam pengerjaannya yaitu PLAXIS 2D versi 8 dengan model material Mohr Coulomb, Hardening, Soft Soil .</li> </ul>	<p>Hingga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penelitian ini membandingkan beberapa bentuk konfigurasi dari tiang bor kelompok, yang terdiri dari 3, 6, dan 9 tiang bor dalam 1 konfigurasi dengan jarak antar tiang bor antara 4D, 5D dan 6D.</li> <li>- Penelitian dilakukan terhadap beban lateral, program yang digunakan adalah PLAXIS 3D <i>Foundation</i>.</li> </ul>
5.	Dewi (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa Kapasitas Kelompok Tiang Terhadap Beban Lateral dengan Menggunakan PLAXIS 3D <i>Foundation</i></li> <li>- Metode konvensional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral menggunakan Metode Elemen Hingga.</li> <li>- Perilaku Kelompok</li> </ul>

		<p>yang digunakan adalah metode Broms, metode Chang dan metode <i>Finite Difference</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Program yang digunakan adalah PLAXIS 3D <i>Foundation</i>.</li> <li>- Jenis tanah yang digunakan penelitian adalah lanau elastik.</li> </ul>	<p>Tiang Akibat Beban Lateral menggunakan Metode Elemen Hingga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metode statis yang digunakan adalah Metode Broms, Metode Solusi Elastik dan Metode <i>Finite Difference</i>.</li> <li>- Program yang digunakan adalah PLAXIS 3D <i>Foundation</i>.</li> <li>- Jenis tanah yang digunakan penelitian adalah pasir padat.</li> </ul>
--	--	--	---



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, selain itu tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi bangunan (Hardiyatmo, 2002).

##### **3.1.1 Penyelidikan Tanah**

Penyelidikan tanah dilapangan dibutuhkan untuk data perancangan pondasi bangunan-bangunan, seperti: bangunan gedung, dinding penahan tanah, bendungan, jalan, dermaga, dan lain-lain. Bergantung pada maksud dan tujuannya, penyelidikan dapat dilakukan dengan cara menggali lubang uji (*test-pit*), pengeboran, dan uji secara langsung dilapangan (*in-situ test*). Dari data yang diperoleh sifat-sifat teknis dapat dipelajari, kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisis kapasitas dukung dan penurunan (Hardiyatmo, 2014).

##### **3.1.2 Pengujian Tanah**

Pengujian tanah akan menghasilkan data tanah yang dapat digunakan untuk menghitung atau menganalisis kapasitas dukung pondasi. Pengujian tanah yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut ini.

###### **1. Uji Laboratorium**

Sifat fisik tanah yaitu struktur tanah, tekstur tanah, kepadatan tanah, porositas tanah, warna tanah, kadar air tanah dan konsistensi tanah dapat dipelajari dari hasil uji laboratorium pada contoh-contoh tanah yang diambil dari pengeboran. Hasil-hasil pengujian yang diperoleh dapat digunakan untuk

menghitung kapasitas dukung dan penurunan. Data laboratorium dapat juga memberikan informasi mengenai besarnya debit air yang mengalir ke dalam lubang galian pondasi, dan perilaku tanah dalam mengalami tekanan (Hardiyatmo,2012).

## 2. Uji Lapangan

Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan contohnya di dalam tanah. Untuk menagulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian dilapangan secara langsung. Pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut ini.

### a. Uji Kerucut Statis ( *Cone Penetration Test, CPT* )

Uji kerucut statis atau uji sondir sangat berguna untuk memperoleh nilai variasi kepadatan tanah pasir yang tidak padat. Pada tanah pasir yang padat dan tanah-tanah berkerikil penggunaan alat sondir menjadi tidak efektif, karena mengalami kesulitan dalam menembus tanah. Nilai tahanan kerucut statis atau tahanan konus ( $q_c$ ) yang diperoleh dari pengujian, dapat dikorelasikan secara langsung dengan kapasitas dukung tanah dan penurunan pada pondasi dangkal dan pondasi tiang. Alat uji sondir dibuat untuk dapat mengukur tahanan ujung dan tahanan gesek dari selimut silinder mata sondirnya.

### b. Uji Penetrasi Standar ( *Standard Penetration Test, SPT* ).

Uji SPT adalah pengujian tanah yang bertujuan untuk mengetahui lapisan tanah berdasarkan jenis dan warna tanah melalui pengamatan secara visual, sifat-sifat tanah dan karakteristik tanah. Pengujian SPT menghasilkan data berupa nilai  $N$ .  $N$  adalah jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi alat SPT (Hardiyatmo,2012).

### 3.1.3 Parameter Tanah

Parameter tanah digunakan untuk mendeskripsikan sifat-sifat tanah dan perilaku karakteristik tanah. Dengan melakukan pendekatan struktur geologi tanah dapat diketahui *soil properties*: kohesi ( $c$ ), sudut geser ( $\phi$ ), modulus young ( $E_{ref}$ ), *poisson's ratio* ( $\nu$ ), sudut dilatansi ( $\psi$ ), berat isi tanah kering ( $\gamma_{dry}$ ),

permeabilitas arah vertikal (  $k_y$  ), permeabilitas arah horizontal (  $k_x$  ), dan *void ratio* (  $e$  ), maupun *engineering properties* (*triaxial test*, *unconfined test*, dan *consolidation test*) (Hardiyatmo, 2012).

### 3.2 Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang paling dasar yang berfungsi untuk menanggung beban dan meneruskannya ke tanah. Dalam pembagian secara umum, pondasi terbagi menjadi dua macam menurut kedalamannya yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

Pondasi dangkal adalah pondasi yang menanggung bebannya secara langsung dan meneruskannya ke tanah. Kedalaman pondasi ini sangat dangkal dengan perbandingan kedalaman dan lebar pondasi kurang dari 1 ( $L/D < 1$ , di mana  $L$  adalah nilai kedalaman pondasi dan  $D$  adalah lebar pondasi). Pondasi dangkal terdiri dari beberapa tipe seperti pondasi pasangan batu kali menerus, pondasi telapak (*footplate*), pondasi telapak menerus, pondasi umpak, dan pondasi rakit.

Pondasi dalam adalah pondasi yang menanggung beban dan meneruskannya ke tanah, tanah keras, atau batuan yang letaknya relatif cukup dalam jika diukur dari permukaan tanah. Contoh dari pondasi ini adalah pondasi tiang yang terbagi menjadi tiang pancang dan tiang bor. Nilai perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi pada pondasi dalam umumnya adalah lebih besar dari 4 ( $L/D \geq 4$ ).

Salah satu jenis pondasi dalam yaitu pondasi tiang. Dalam penggunaannya, pondasi tiang umumnya terdiri atas tiang tunggal ( *single pile* ) dan kelompok tiang ( *group piles* ). Pemilihan penggunaan tiang tunggal dan kelompok tiang serta perencanaannya relatif terhadap besar beban yang akan diterima, luas area pembebanan dan parameter tanah yang dibebani.

Kapasitas pembebanan kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas pembebanan dari masing-masing tiang tunggal yang ada dalam kelompok tiang tersebut. Kapasitas pembebanan suatu kelompok tiang dipengaruhi oleh faktor efisiensi. Biasanya pada jenis tanah lempung dan pasir,

kapasitas total dari kelompok tiang lebih kecil daripada hasil kali kapasitas tiang tunggal dikalikan jumlah tiang dalam kelompoknya. Hal-hal yang mempengaruhi efisiensi tiang di antaranya jumlah tiang dalam suatu kelompok tiang, panjang atau kedalaman tiang, diameter tiang, susunan tiang, jarak antar tiang, besarnya beban dan arah dari beban yang bekerja (Hardiyatmo, 2008).

### **3.2.1 Pondasi Tiang Bor**

Pondasi tiang bor merupakan pondasi dalam yang dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, kemudian lubang diisi dengan rangkaian tulangan dan dicor beton (Hardiyatmo, 2008).

Pemasangan tiang dengan cara dipancang, getaran dan beban kejut yang terjadi saat pemancangan menyebabkan tanah granuler memadat, sehingga menambah tahanan ujungnya. Namun, kejadian ini tidak terjadi bila tiang dipasang dengan mengebor tanah lebih dulu. Akibat pengeboran, tanah granuler di sekitar lubang bor dapat terganggu kepadatannya (Hardiyatmo, 2015).

Keuntungan penggunaan pondasi tiang bor adalah sebagai berikut ini:

1. tidak ada resiko kenaikan muka tanah,
2. kedalaman pondasi tiang divariasikan,
3. tanah hasil pengeboran dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium,
4. tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang jauh dari permukaan tanah, dengan diameter besar dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak, dan
5. penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Kerugian penggunaan pondasi tiang bor adalah sebagai berikut ini:

1. pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik,
2. air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang, dan

3. pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.

### 3.2.2 Pengaruh Pemasangan Tiang Bor

Pengaruh pemasangan tiang bor adalah sebagai berikut ini.

1. Tiang Bor dalam Tanah Granuler

Pada waktu pengeboran, biasanya dibutuhkan tabung luar (*casing*) sebagai pelindung terhadap longsoran dinding galian. Gangguan kepadatan tanah, terjadi saat pelindung di tarik ke atas saat pengecoran. Tomlinson (1977) menyarankan dalam hitungan kapasitas dukung tiang bor di dalam tanah pasir untuk menggunakan sudut gesek dalam ultimit dari contoh terganggu, kecuali jika tiang diletakkan pada kerikil padat dimana dinding lubang yang bergelombang tidak terjadi. Jika pemadatan yang baik dapat dilakukan pada saat pengecoran beton yang berada di dasar tiang, maka gangguan kepadatan tanah dapat dieliminasi sehingga sudut gesek dalam pada kondisi padat dapat digunakan. Pemadatan tersebut mungkin sulit dikerjakan karena terhalang oleh tulangan beton.

2. Tiang Bor dalam Tanah Kohesif

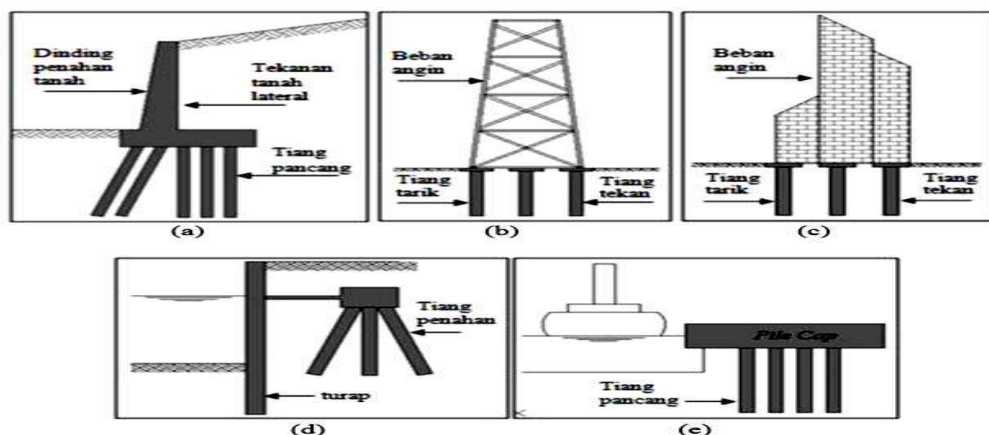
Pengaruh pekerjaan pemasangan tiang bor pada adhesi antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya, menunjukkan bahwa nilai adhesi lebih kecil dari pada nilai kohesi tak terdrainase tanah sebelum pemasangan tiang. Hal ini adalah akibat dari pelunakan lempung di sekitar dinding lubang bor. Pelunakan tersebut adalah pengaruh dari bertambahnya kadar air lempung oleh pengaruh air pada saat pengecoran beton. Pelaksanaan pengeboran juga dipengaruhi kondisi dasar lubang yang dibuat. Pengeboran mengakibatkan pelunakan dan gangguan tanah lempung di dasar lubang, yang mengakibatkan menambah besarnya penurunan pondasi. Gangguan yang lain dapat pula terjadi akibat pengeboran yang melengkung, pemisahan campuran beton saat pengecoran dan pelengkungan tulangan beton saat pemasangan.

### 3.3 Beban Lateral

Beban lateral merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Beban-beban yang memiliki arah horizontal contohnya adalah beban angin, beban

gempa, tekanan tanah lateral, beban hempasan ombak atau kapal pada sisi struktur bangunan, dan lain-lain. Beban lateral yang diterima oleh pondasi tiang akan bergantung pada struktur bangunan yang akan meneruskan gaya lateral yang diterima ke kolom bagian paling bawah dari *upper structure* dan diteruskan kepada kelompok tiang pondasi.

Pondasi tiang memiliki beberapa aplikasi untuk menahan beban lateral pada struktur. Pondasi tiang dapat menahan beban lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah, di mana beban lateral berasal dari tekanan tanah lateral yang mendorongnya seperti yang terlihat pada Gambar 3.1 (a). Pondasi tiang juga dapat menahan beban lateral seperti beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tingkat tinggi seperti struktur rangka baja atau gedung pencakar langit seperti yang terlihat pada Gambar 3.1 (b) dan Gambar 3.1 (c) sehingga pondasi tiang mengalami gaya tarik dan gaya tekan. Pondasi tiang juga dapat menahan dinding turap yang menyangga pada pondasi tiang seperti Gambar 3.1 (d). Pondasi tiang juga menanggung beban lateral yang disebabkan gaya eksternal seperti hempasan gelombang air laut, angin, dan benturan kapal pada konstruksi lepas pantai seperti Gambar 3.1 (e). Aplikasi pondasi tiang dalam menahan beban lateral dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Aplikasi Pondasi Tiang dalam Menahan Beban Lateral**

(Sumber: Google)

### 3.3.1 Beban Lateral Ijin

Beban lateral dan momen dapat bekerja pada pondasi tiang akibat gaya gempa, gaya angin pada struktur atas, dan beban statik seperti misalnya tekanan aktif tanah pada abutment jembatan atau pada *soldier pile*, tumbukan kapal, dan lain-lain.

Beban lateral yang diijinkan pada pondasi tiang diperoleh berdasarkan salah satu dari dua kriteria sebagai berikut ini:

1. beban lateral ijin ditentukan dengan membagi beban ultimit dengan suatu faktor keamanan, dan
2. beban lateral ditentukan berdasarkan defleksi maksimum yang diijinkan.

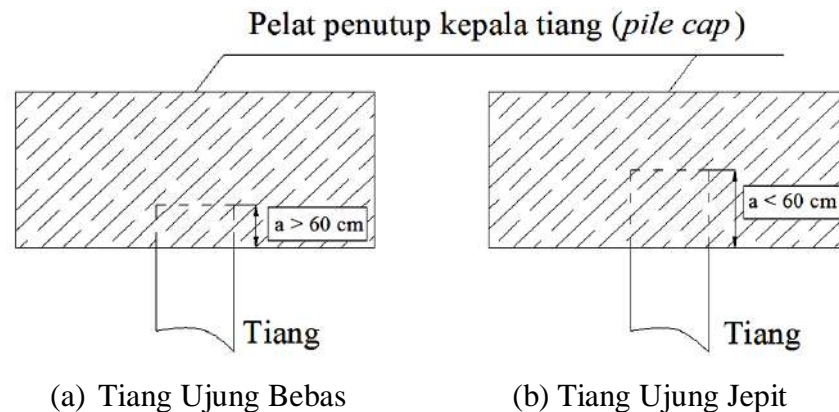
McNulty (1956) menyarankan defleksi lateral yang diijinkan untuk bangunan gedung bertingkat sebesar 6 mm.

### 3.3.2 Tiang Ujung Jepit dan Tiang Ujung Bebas

Dalam analisis gaya lateral, tiang-tiang perlu dibedakan menurut model ikatannya dengan pelat penutup tiang. Karena model ikatan tersebut sangat mempengaruhi perilaku tiang dalam mendukung beban lateral. Tiang-tiang tersebut dibedakan menjadi dua tipe sebagai berikut ini:

1. tiang ujung jepit (*fixed end pile*), dan
2. tiang ujung bebas (*free end pile*).

Tiang ujung jepit (*fixed end pile*) adalah tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) dalam pelat penutup kepala tiang paling sedikit sedalam 60 cm, seperti pada Gambar 3.2b. Tiang ujung bebas (*free end pile*) adalah tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit ke dalam pelat penutup kepala tiang tetapi kurang dari 60 cm, ditunjukkan pada Gambar 3.2a. (McNulty, 1956 dalam Hardiyatmo, 2015). Definisi tiang ujung jepit dan ujung bebas dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Definisi Tiang Ujung Jepit dan Ujung Bebas**

(Sumber : McNulty, 1956 dalam Hardiyatmo, 2015)

Pondasi tiang individu terdiri dari dua klasifikasi yaitu pondasi tiang pendek dan pondasi tiang panjang. Tiang dengan kepala terjepit pada tanah granuler, tiang panjang jika  $\alpha(L) > 4$  dan tiang pendek jika  $\alpha(L) < 2$ .

### 3.3.3 Metode Broms (Tiang dalam Tanah Granuler)

Untuk tiang dalam tanah granuler ( $c = 0$ ), Broms (1964) menganggap sebagai berikut ini:

1. tekanan tanah aktif yang bekerja di belakang tiang diabaikan,
2. distribusi tekanan tanah pasif di sepanjang tiang bagian depan sama dengan 3 kali tekanan tanah pasif Rankine,
3. bentuk penampang tiang tidak berpengaruh terhadap tekanan tanah ultimit atau tahanan lateral ultimit, dan
4. tahanan lateral sepenuhnya termobilisasi pada gerakan tiang yang diperhitungkan.

Pondasi tiang dalam tanah granuler modulus tanah dapat dianggap bertambah secara linier dengan kedalamannya. Faktor kekakuan untuk modulus tanah yang tidak konstan ( $T$ ), dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} \quad (3.1)$$



Untuk menentukan kriteria tiang pendek atau tiang panjang, tiang ujung jepit dianggap sebagai tiang pendek (kaku), bila  $L < 2T$  dan tiang ujung jepit dianggap sebagai tiang panjang (tidak kaku), bila  $L > 4T$  dengan  $L$  adalah panjang pondasi.

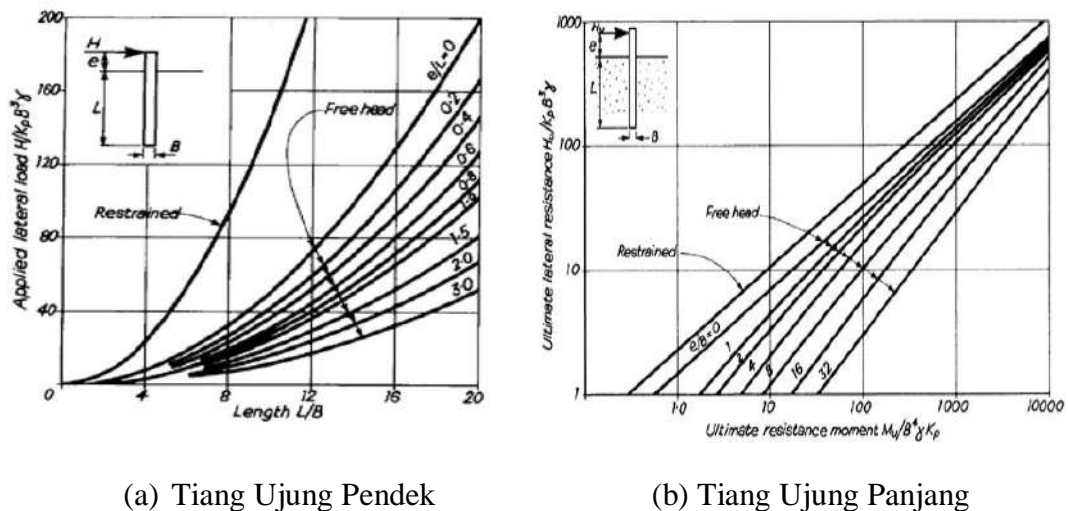
Untuk tiang ujung jepit yang elastis (tiang panjang), keruntuhan tiang akan berupa translasi. Beban lateral ultimit dinyatakan dengan Persamaan 3.2.

$$H_u = \left(\frac{3}{2}\right) \gamma d L^2 K_p \quad (3.2)$$

dengan:

- $H_u$  = Beban lateral ultimit (kN),
- $\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ),
- $d$  = Diameter tiang (m),
- $L$  = Panjang tiang (m), dan
- $K_p$  =  $\text{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$ .

Tahanan lateral ultimit tiang dalam tanah granuler dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang dalam Tanah Granuler**

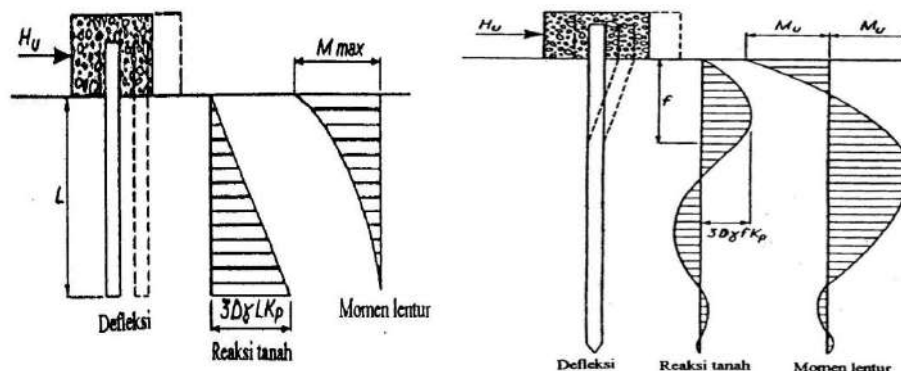
(Sumber : Hardiyatmo 2015)

Persamaan (3.1) diplot dalam grafik ditunjukkan dalam Gambar 3.3a. Gambar tersebut hanya berlaku jika momen negatif yang bekerja pada kepala tiang lebih kecil dari tahanan momen tiang ( $M_y$ ). Momen (negatif) yang terjadi pada kepala tiang, dihitung dengan Persamaan 3.3.

$$M_{\text{mak}} = (2/3) H_u L = \gamma d L^3 K_p \quad (3.3)$$

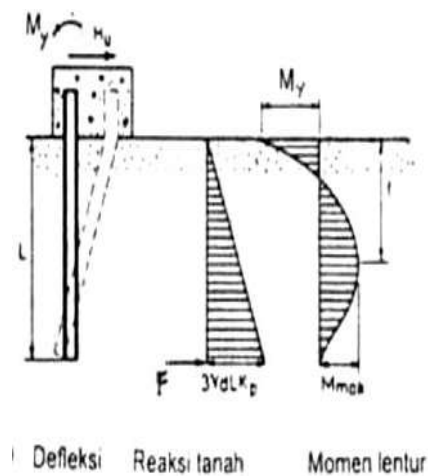
Jika  $M_{\text{mak}} > M_y$  maka keruntuhan tiang dapat diharapkan akan berbentuk seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3b. Keseimbangan horisontal tiang pada Gambar 3.4c, dapat dihitung dengan Persamaan 3.4. Tiang Ujung Jepit Pada Tanah Granuler dapat dilihat pada Gambar 3.4.

$$F = (3/2) \gamma d L^3 K_p - H_u \quad (3.4)$$



(a) Tiang Pendek

(b) Tiang Panjang



(c) Tiang Sedang

### Gambar 3.4 Tiang Ujung Jepit Pada Tanah Granuler

(Sumber : Hardiyatmo 2015)

Momen terhadap kepala tiang (pada permukaan tanah) dengan mensubstitusikan  $F$  pada Persamaan (3.5), maka dapat diperoleh (untuk  $M_{\text{mak}} > M_y$ ) Persamaan 3.4.

$$M_y = (1/2) \gamma d L^3 K_p - H_u L \quad (3.5)$$

Harga  $M_y$  dalam perhitungan pondasi tiang menahan gaya lateral merupakan momen maksimum yang mampu ditahan tiang (*ultimate bending moment*). Persamaan (3.4) hanya dipakai jika momen maksimum pada kedalaman  $f$  lebih kecil daripada  $M_y$ . Jarak  $f$  dinyatakan dengan Persamaan 3.6.

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d K_p \gamma}} \quad (3.6)$$

Untuk kasus yang lain, jika tiang berkelakuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4b (momen maksimum mencapai  $M_y$  di dua lokasi),  $H_u$  dapat diperoleh dari Persamaan 3.7.

$$H_u = \frac{2M_y}{e + 2\frac{f}{3}} \quad (3.7)$$

Dari Persamaan 3.7, dapat diplot grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3b.

Beban lateral ijin tiang, dapat dihitung dengan Persamaan 3.8.

$$H_{\text{ijin}} = \frac{\frac{2M_y}{e+2f/3}}{\text{SF(faktor aman)}} \quad (3.8)$$

Defleksi tiang pendek (kaku) dapat dihitung dengan Persamaan 3.10.

$$y_o = \frac{2H}{n_h L^2} \quad (3.9)$$

Defleksi tiang panjang (tidak kaku) dapat dihitung dengan Persamaan 3.11.

$$y_o = \frac{0,93H}{(n_h)^{3/5} (E_p I_p)^{2/5}} \quad (3.11)$$

dengan:

- $y_o$  = Defleksi tiang akibat beban lateral (mm),
- $n_h$  = Koefisien variasi modulus Terzaghi ( $\text{kN/m}^3$ ),
- $E_p$  = Modulus elastis pondasi ( $\text{kN/cm}^2$ ),
- $I_p$  = Momen inersia tampang pondasi ( $\text{cm}^4$ ), dan
- $H$  = Beban lateral ijin pada defleksi torelansi (kN).

Bangunan gedung, jembatan dan struktur-struktur lainnya, umumnya gerakan lateral ditoleransikan hanya berkisar 6 mm sampai 18 mm (Hardiyatmo, 2015).

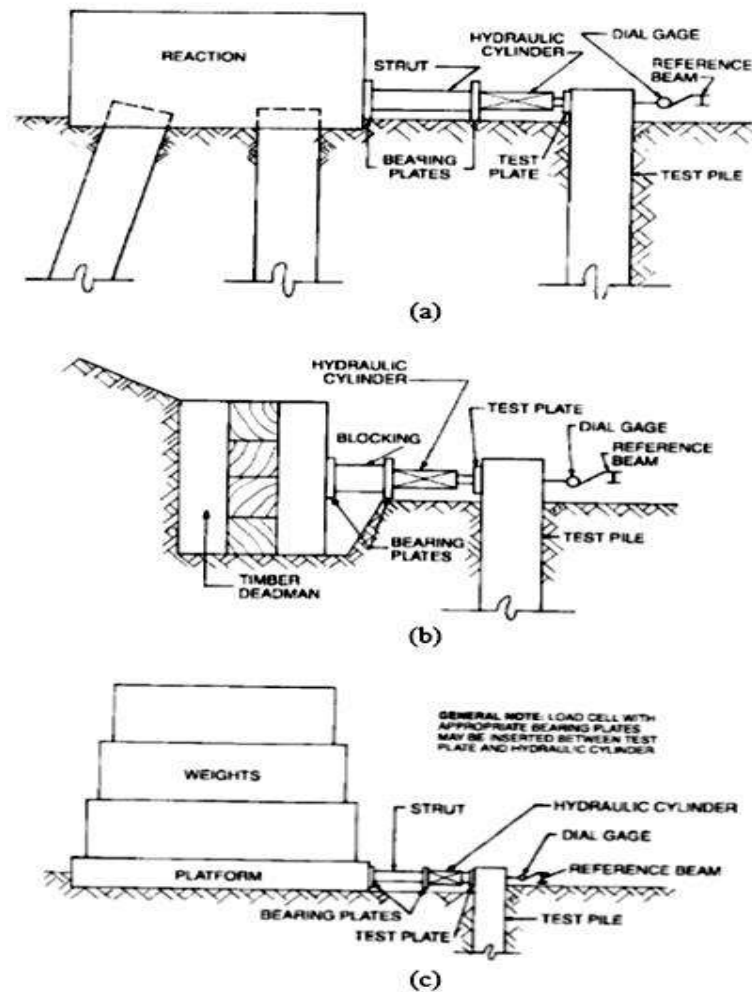
Nilai-nilai  $n_h$  untuk tanah granuler ( $c=0$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Nilai-nilai  $n_h$  untuk tanah granuler ( $c=0$ )**

Kerapatan relatif ( $D_r$ )	Tak padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100-300	300-1000	1000-2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
$N_h$ , pasir kering atau lembab (Terzagi) ( $kN/m^3$ )	2425	7275	19400
$N_h$ , pasir terendam air ( $kN/m^3$ ) Terzagi	1386	4850	11779
$N_h$ , pasir terendam air ( $kN/m^3$ ) Reese dkk	5300	16300	34000

Sumber : Hardiyatmo (2015)

Dalam melakukan pengujian besarnya kapasitas tiang terhadap beban lateral, digunakan bantuan dengan alat *hydraulic jack*. Digunakan juga plat baja yang cukup kaku dengan ukuran tertentu yang pas dengan ukuran tiang agar dapat bersentuhan secara keseluruhan dengan tiang pada saat uji kapasitas lateral tiang seperti terlihat pada Gambar 3.5

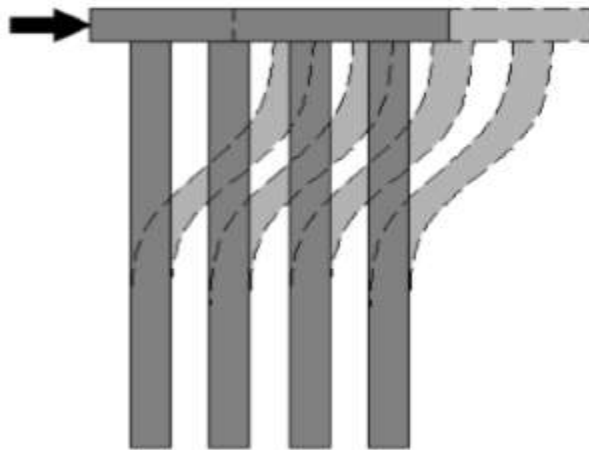


**Gambar 3.5 Beberapa Tipe Pengujian Kapasitas Lateral Tiang (a) *Reaction Pile* , (b) *Deadman* , (c) *Weighted Platform***

(Sumber : ASTM D3966-81, 1989)

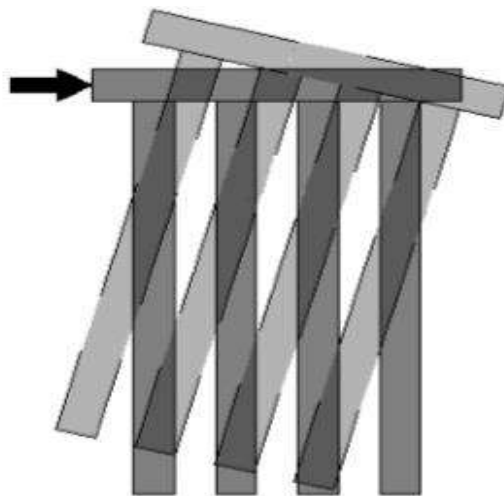
Beban lateral yang terjadi pada pondasi kelompok tiang dapat mengakibatkan pergerakan pada keseluruhan kelompok tiang. Pergerakan yang dapat terjadi adalah pergerakan translasi dan pergerakan rotasi. Pergerakan translasi pada kelompok tiang adalah perubahan posisi pada kelompok tiang akibat timbulnya gaya lateral sehingga pada satu kelompok tiang mengalami pergerakan kepala tiang searah dengan datangnya beban lateral. Sedangkan pergerakan rotasi adalah perubahan posisi tiang dalam bentuk perputaran kelompok tiang akibat kekakuan tiang yang sangat besar. Pergerakan translasi

pada kelompok tiang akibat beban lateral dan pergerakan rotasi pada kelompok tiang akibat gaya rotasi dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan 3.7.



**Gambar 3.6 Pergerakan Translasi pada Kelompok Tiang Akibat Gaya Lateral**

(Sumber : Reese dan Matlock, 1956 )

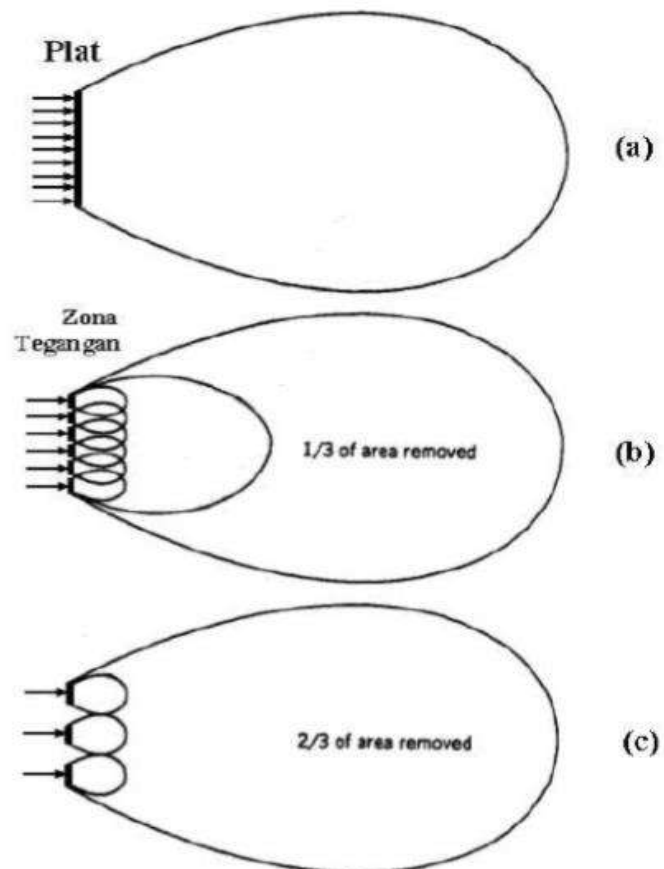


**Gambar 3.7 Pergerakan Rotasi pada Kelompok Tiang Akibat Gaya Rotasi**

(Sumber : Reese dan Matlock, 1956 )

Pada sebuah plat yang diberi beban lateral, akan muncul zona pengaruh beban. Jika sepertiga bagian plat dihilangkan, maka akan terjadi overlap pada zona tegangan. Overlap yang terjadi akan mereduksi kapasitas dari sebuah elemen. Agar tidak terjadi overlap, maka jarak antar elemen harus diperbesar

dengan menghilangkan lagi sepertiga bagian plat. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.8.

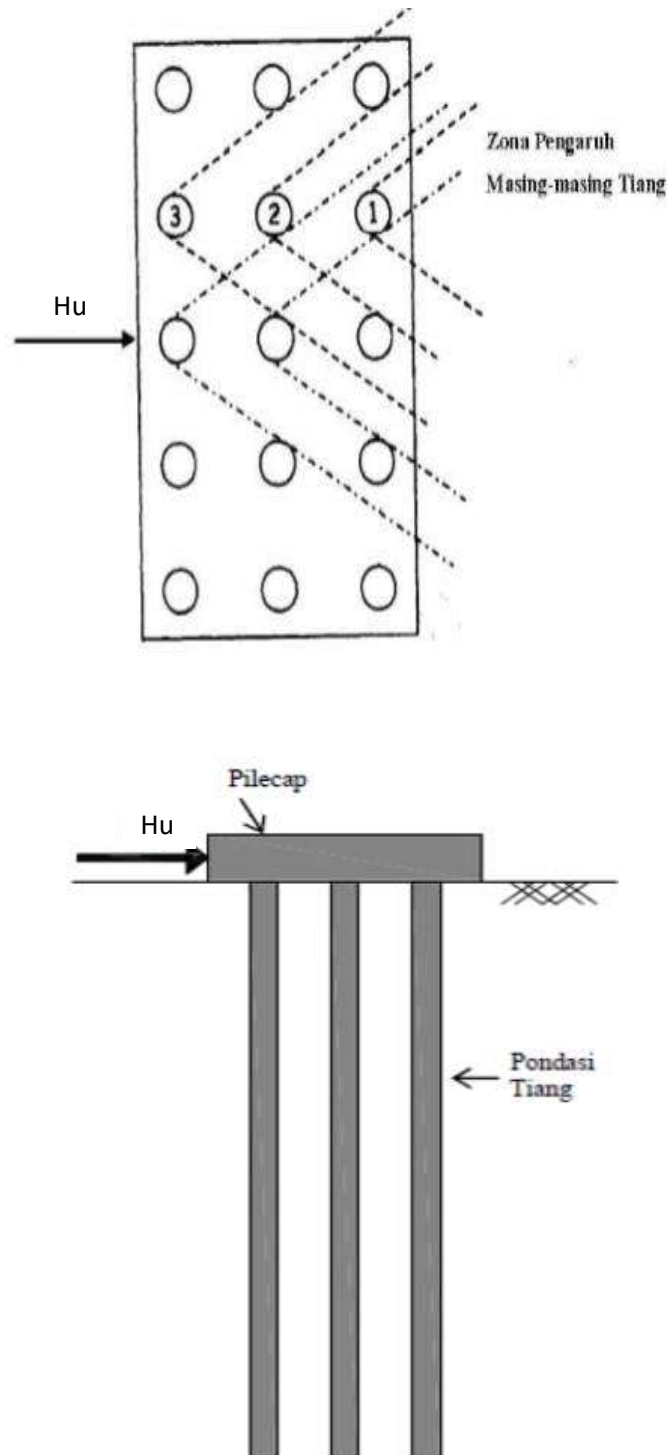


**Gambar 3.8 Zona Tegangan Plat**

(Sumber : Reese dan Matlock, 1956 )



Zona pengaruh kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 3.9.

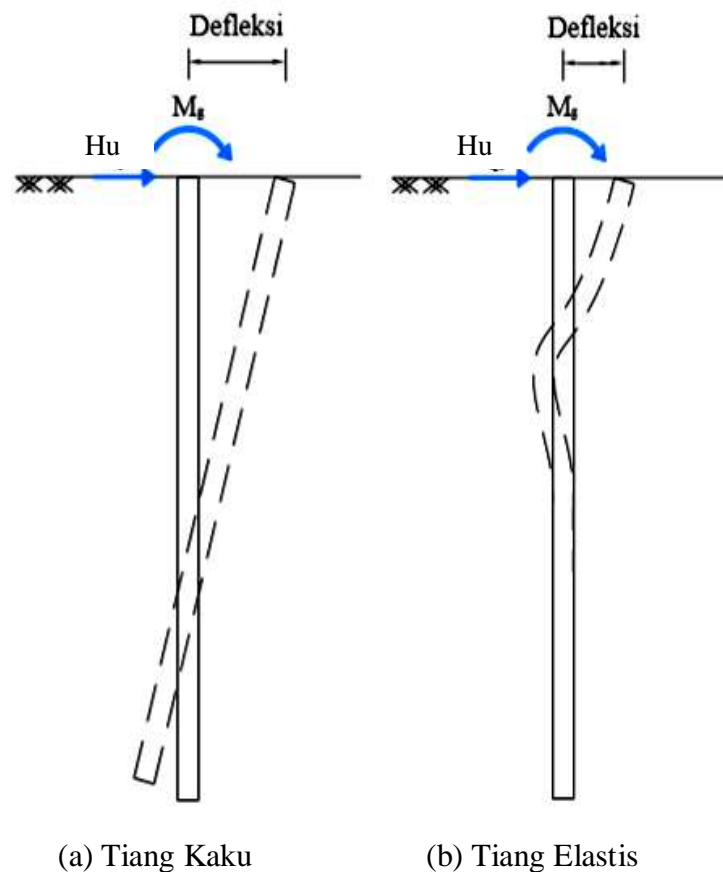


**Gambar 3.9 Zona Pengaruh Kelompok Tiang**

(Sumber : Reese dan Matlock, 1956 )

### 3.3.4 Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock)

Metode non-dimensional untuk analisis beban lateral terhadap tiang elastis berdasarkan penelitian oleh Reese dan Matlock (1956). Untuk tiang yang sangat panjang, nilai  $L$  akan berkurang pengaruhnya akibat defleksi yang semakin mendekati nol sesuai panjang tiang. Apabila asumsi sifat elastis diterapkan terhadap tiang, dan defleksi terlampaui kecil apabila dibandingkan dengan panjang tiang, maka pondasi tiang yang dibebani secara lateral dapat bergerak secara elastis sesuai beban yang diterima. Perbedaan defleksi antara tiang pendek yang kaku dan tiang panjang yang elastis dapat dilihat pada Gambar 3.10.

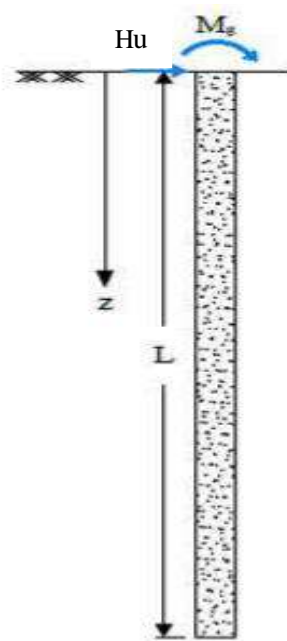


**Gambar 3.10 Defleksi pada (a) Pondasi Tiang Kaku dan (b) Pondasi Tiang Elastis**

(Sumber : Reese dan Matlock, 1956 )

### 3.3.4.1 Pada Tanah Granuler

Momen dan perpindahan dari suatu pondasi tiang yang tertanam di tanah granular berdasarkan beban lateral dan momen yang terjadi di permukaan tanah ditentukan oleh metode umum oleh Matlock dan Reese (1960). Pada Gambar 3.11 dapat dilihat pondasi tiang dengan panjang  $L$  diberikan gaya lateral  $H_u$  dan Momen  $M_g$  pada permukaan tanah ( $z = 0$ ). Beban lateral dan momen pada pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11 Beban Lateral dan Momen pada Pondasi Tiang**

(Sumber : Reese dan Matlock, 1956)

Kondisi kepala tiang terjepit (*fixed head pile*)

Pada tiang dengan kepala terjepit, harga *slope* di kepala tiang adalah nol, dapat dilihat pada Persamaan 3.12.

$$S_x = S_A + S_B = A_s \cdot \frac{H \cdot T^2}{EI} + B_s \frac{M \cdot T}{EI} \quad (3.12)$$

Koefisien pondasi tiang pada tanah granuler dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Koefisien Pondasi Tiang Pada Tanah Granuler**

Z	A <sub>x</sub>	A <sub>θ</sub>	A <sub>m</sub>	A <sub>v</sub>	A <sub>p</sub> '	B <sub>x</sub>	B <sub>θ</sub>	B <sub>m</sub>	B <sub>v</sub>	B <sub>p</sub> '
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	0.000	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	2.112	-1.603	0.198	0.956	-0.422	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973	0.540	0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609	0.029	-0.354	0.594	-0.476	-0.047
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.28	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.075	-0.040	0.225	-0.349	0.226	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	-0.009	0.025	-0.033	-0.015	0.046	0.000	-0.011	-0.026	0.029	-0.002

Sumber : Broms (1964)

Dengan mengambil harga  $A_s$  dan  $B_s$  dari Tabel 3.2, maka untuk  $x = 0$  dapat dilihat pada Persamaan 3.13.

$$\frac{M}{H.T} = -\frac{A_s}{B_s} = -\frac{1.623}{1.75} = -0.93$$

$$M = -0.93(H.T) \quad (3.13)$$

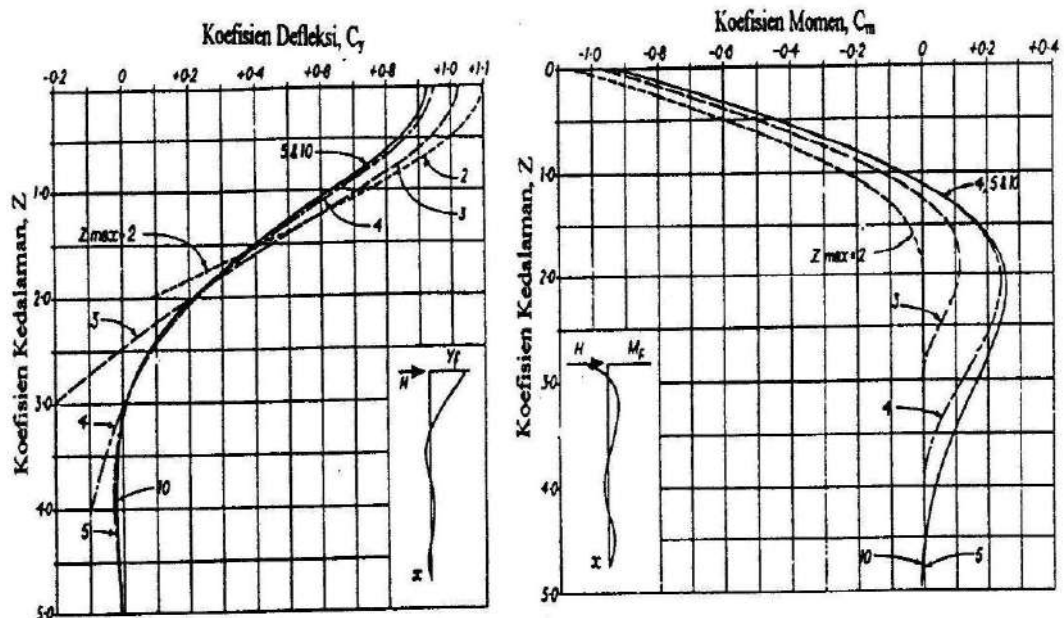
Perhitungan defleksi dapat dilihat pada Persamaan 3.14.

$$y_x = C_y \frac{H \cdot T^3}{EI} \quad (3.14)$$

Perhitungan momen dapat dilihat pada Persamaan 3.15.

$$M_x = C_m \cdot H \cdot T \quad (3.15)$$

Koefisien  $C_y$ ,  $C_m$  dan  $C_p$  pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12 Grafik Koefisien  $C_y$  dan  $C_m$  Pondasi Tiang**

(Sumber : Broms, 1964)

### 3.3.5 Teori Dasar *Finite Difference*

Reaksi yang terjadi pada tiang pondasi sebanding dengan perpindahan menurut model Winkler (1867). Tekanan ( $P$ ) dan defleksi ( $y$ ) pada suatu titik direlasikan dengan koefisien reaksi tanah dalam arah horizontal ( $k_h$ ) dinyatakan pada Persamaan 3.16.

$$P = k_h \cdot y \quad (3.16)$$

Tiang biasanya dianggap batang tipis yang memenuhi Persamaan 3.17.

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} = -P \cdot B \quad (3.17)$$

dengan :

$E_p$  = Modulus elastisitas tiang ( $\text{kN/m}^2$ ),

$I_p$  = Momen inersia penampang tiang ( $\text{m}^4$ ),

- z = Kedalaman (m), dan  
 B = Lebar atau diameter tiang (m).

Dari Persamaan (3.16) dan (3.17) didapat Persamaan 3.18 defleksi tiang dengan beban lateral.

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} + k_h \cdot B \cdot y = 0 \quad (3.18)$$

Solusi dari persamaan differensial di atas dapat diperoleh baik secara analitis maupun secara numerik. Solusi secara analitis mudah dilakukan bila nilai  $k_h$  konstan sepanjang tiang. Apabila harga  $k_h$  bervariasi, maka dapat diselesaikan dengan cara numerik menggunakan metode *Finite Difference* (Palmer dan Thompson, 1948)

Dalam metode tersebut, Persamaan differensial dasar (3.18) ditulis dalam bentuk *Finite Difference* untuk titik  $i$  dinyatakan pada Persamaan 3.19.

$$E_p I_p \left( \frac{y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2}}{\delta^4} \right) + (k_h \cdot B \cdot y_i) \quad (3.19)$$

Dari persamaan 3.53 diperoleh Persamaan 3.20.

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + \alpha_i y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0 \quad (3.20)$$

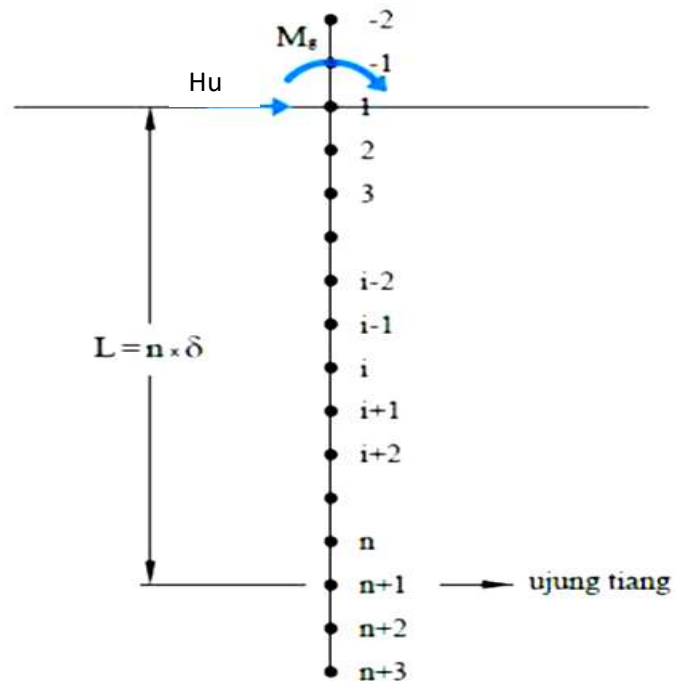
dengan  $\alpha_i$  dinyatakan pada Persamaan 3.21.

$$\alpha_i = 6 + \frac{K_{hi} \cdot L^4 \cdot B}{E_p \cdot I_p \cdot n^4} \quad (3.21)$$

dengan :

- n = Banyaknya interval sepanjang tiang,  
 $K_{hi}$  = Koefisien reaksi tanah dalam arah horizontal di titik  $i$  ( $\text{kN/m}^3$ ), dan  
 $\alpha_i$  = Koefisien pergerakan lateral tiang setiap interval (titik).

Persamaan (3.21) dapat ditetapkan dari titik 2 sampai  $n$  sehingga memberikan  $(n-1)$  persamaan. Analisa *Finite Difference* untuk tiang dengan beban lateral dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13 Analisa *Finite Difference* untuk Tiang dengan Beban Lateral**

(Sumber : Poulos dan Davis, 1980)

Persamaan-persamaan selanjutnya dapat diperoleh dari syarat-syarat batas pada ujung kepala tiang.

Kondisi kepala tiang terjepit (*fixed head pile*).

1. Gaya geser dapat dinyatakan pada Persamaan 3.22.

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^3 y}{dz^3} = H_u \quad (3.22)$$

Sehingga didapat Persamaan 3.23.

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{H_u \cdot L^2}{E_p \cdot I_p \cdot n^3} \quad (3.23)$$

2. Rotasi dapat dinyatakan pada Persamaan 3.24.

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{dy}{dz} = 0 \quad (3.24)$$

Sehingga didapat Persamaan 3.25.

$$y_2 - y_{-1} = 0 \quad (3.25)$$

Dasar tiang dianggap bebas, sehingga:

1. Gaya geser dapat dinyatakan pada Persamaan 3.26.

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^3 y}{dz^3} = 0 \quad (3.26)$$

Sehingga didapat Persamaan 3.27.

$$-y_{n-1} + 2y_n - 2y_{n+2} + y_{n+3} = 0 \quad (3.27)$$

2. Momen dapat dinyatakan pada Persamaan 3.28.

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^2 y}{dz^2} = 0 \quad (3.28)$$

Sehingga didapat Persamaan 3.29.

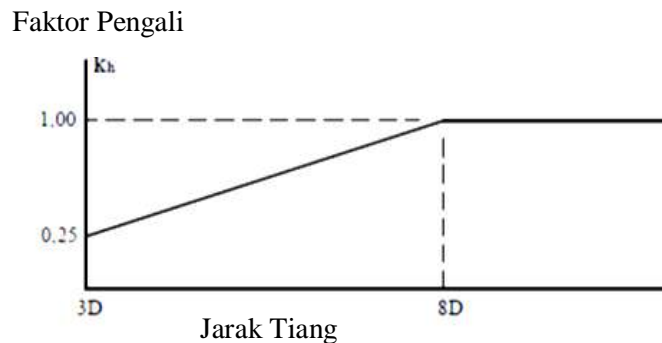
$$y_n - 2y_{n-1} + y_{n+2} = 0 \quad (3.29)$$

Dua persamaan yang masih dibutuhkan didapat dari persamaan keseimbangan gaya geser dan momen. Persamaan simultan  $n+5$  diperlukan untuk menghitung  $n+5$  perpindahan yang tidak diketahui (pada titik  $-2$ ,  $-1$ ,  $n+2$ , dan  $n+3$ ). Cara lain dari prosedur di atas adalah dengan mengabaikan persamaan gaya geser pada ujung (*tip*) dan kepala tiang (*top*) yaitu Persamaan (3.25) dan (3.29), jadi mengabaikan dua perpindahan variabel pada titik  $-2$  dan  $n+3$ . Dalam hal ini hanya  $n+3$  persamaan yang harus dipecahkan. Prosedur ini memberikan hasil yang hampir sama dengan prosedur sebelumnya.

### 3.4 Faktor Efisiensi atau Faktor Pengali Kelompok Tiang

Berdasarkan Prakash (1962), nilai faktor efisiensi atau faktor pengali untuk kelompok tiang ditentukan berdasarkan besarnya jarak antar tiang. Faktor efisiensi atau faktor pengali kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 3.14.





**Gambar 3.14 Faktor Efisiensi atau Faktor Pengali Kelompok Tiang**

(Sumber : Prakash, 1962)

Faktor efisiensi atau faktor pengali tersebut digunakan untuk mencari nilai modulus reaksi tanah dalam arah horizontal dari suatu kelompok tiang. Yang kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai kapasitas lateral dari suatu kelompok tiang. Dalam perhitungan efisiensi kelompok tiang pada penelitian ini, digunakan perhitungan efisiensi dengan Persamaan 3.30.

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n \cdot H_{\text{tunggal}}} \quad (3.30)$$

dengan:

- $\eta$  = Efisiensi kelompok tiang,
- $n$  = Jumlah tiang,
- $H_i$  = Beban lateral pada tiang ke- $i$  (kN), dan
- $H_{\text{tunggal}}$  = Beban lateral pada tiang tunggal (kN).

### 3.5 Program PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6

#### 3.5.1 Pendahuluan

PLAXIS 3D adalah program *finite element* tiga dimensi yang dikembangkan untuk analisa deformasi, stabilitas, dan aliran air tanah dalam ilmu geoteknik. PLAXIS 3D adalah bagian dari produk PLAXIS yang merupakan program *finite element* yang digunakan secara luas untuk ilmu dan desain geoteknik. Pengembangan PLAXIS dimulai tahun 1987 di *Delft University of Technology* sebagai inisiatif dari *Dutch Ministry of Public Works and Water*

*Management (Rijkswaterstaat)*. Tujuan awal pengembangan adalah untuk menciptakan program elemen hingga 2 dimensi untuk analisis bantaran sungai yang terdiri dari tanah lunak pada dataran rendah di Belanda. Dalam beberapa tahun, PLAXIS dikembangkan untuk mengatasi sebagian besar area geoteknik. Karena pertumbuhan yang sangat pesat dan berkelanjutan, perusahaan PLAXIS (*Plaxis bv*) dibentuk tahun 1993.

3D *Foundation* adalah program tiga dimensi kedua yang dirilis tahun 2004. Program tersebut tidak mampu untuk mendefinisikan bentuk geometri 3 dimensi yang lebih kompleks karena keterbatasan geometris. Baru pada tahun 2010 program PLAXIS 3D dirilis. PLAXIS 3D adalah program PLAXIS dengan permodelan penuh 3 dimensi yang mengkombinasikan *interface* yang mudah dengan fasilitas permodelan 3 dimensi.

### 3.5.2 Input Data

Langkah-langkah menginput data pada program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah sebagai berikut ini:

1. kondisi awal geometri tanah dan material dengan awal proses yaitu *project setting* dan *dimension setting*,
2. kemudian akan muncul layar kerja sesuai yang telah ditentukan pada *project setting* dan *dimension setting*,
3. menentukan bidang kerja dalam arah vertikal (kedalamannya) menggunakan *icon work plane* pada dinding *toolbar*,
4. menentukan tebal lapisan tanah, jenis tanah, dan tinggi muka air pada icon *borehole*,
5. mendefinisikan parameter tanah dan poyang digunakan pada menu material. Pada bagian ini perlu tipe material, berat volume tanah ( $\gamma_{sat}$  dan  $\gamma_b$ ), nilai permeabilitas tanah ( $\gamma_{sat}$  dan  $\gamma_b$ ), parameter *setting* nilai kekakuan bahan (E) dari hasiluji di laboratorium maupun menggunakan persamaan korelasi. *Properties* tanah seperti (kohesi (c), sudut geser ( $\phi$ ), berat lsi ( $\gamma$ ) tanah, *water content* (w), dan *void ratio* (e). *Interface setting* struktur merupakan interaksi

struktur dengan tanah, pilih *rigid interface* jika keberadaan material mempengaruhi kekuatan tanah,

6. mendefinisikan pondasi tiang dan menentukan koordinat dari pondasi tiang, menentukan kedalaman, jenis serta material dari pondasi tiang,
7. menentukan beban lateral dengan memilih *icon point load* dan mengisi nilai beban pada kolom *x-values*, kemudian menentukan letak beban lateral yang sudah di set pada koordinat yang diinginkan, dan
8. *mesh generation*

Pada langkah ini mengeklik icon *2D mesh generation* kemudian mengeklik *3D mesh generation*, konstruksi yang akan dibagi menjadi elemen-elemen segitiga yang lebih kecil, dan hasil geometri berupa *Meshing* yang tidak teratur. Tingkat ketelitian dalam mendiskritisasi (*meshing*) dapat dibagi menjadi beberapa pilihan antara lain *very coarse*, *coarse*, *medium fined*, *fine* dan *very fined*.

### **3.5.3 Calculations (Perhitungan dalam PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6)**

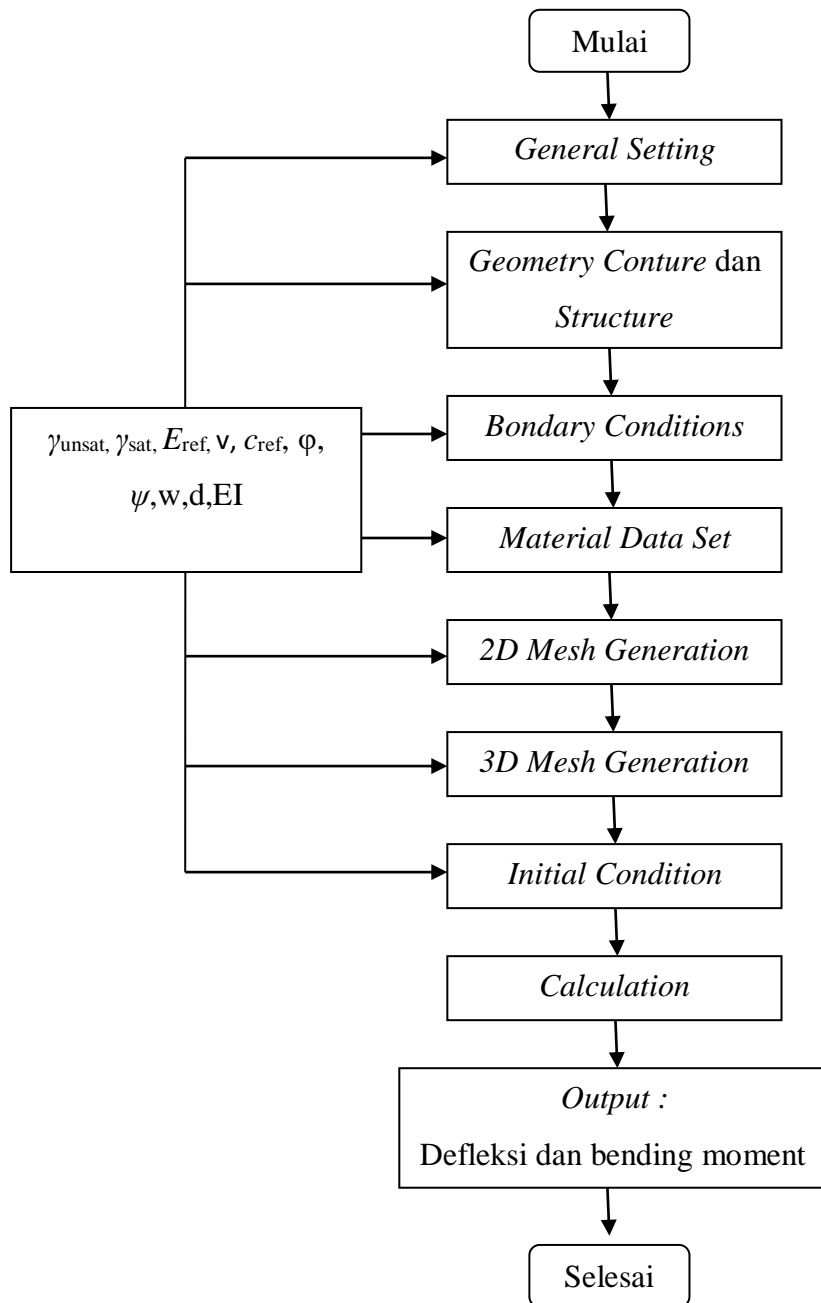
PLAXIS *calculation* adalah menunjukkan informasi perhitungan. Kemudian informasi perhitungan siap untuk dianalisis.

### **3.5.4 Output perhitungan PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6**

*Output* dari perhitungan PLAXIS adalah sebagai berikut ini:

1. total *diplacement* pada menu *deformation* (deformasi yang terjadi pada pemodelan jaringan elemen hingga), dan
2. bending moment yang terjadi pada pemodelan jaringan elemen hingga.

Langkah-langkah PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat dilihat pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15 Bagan Alir PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6**

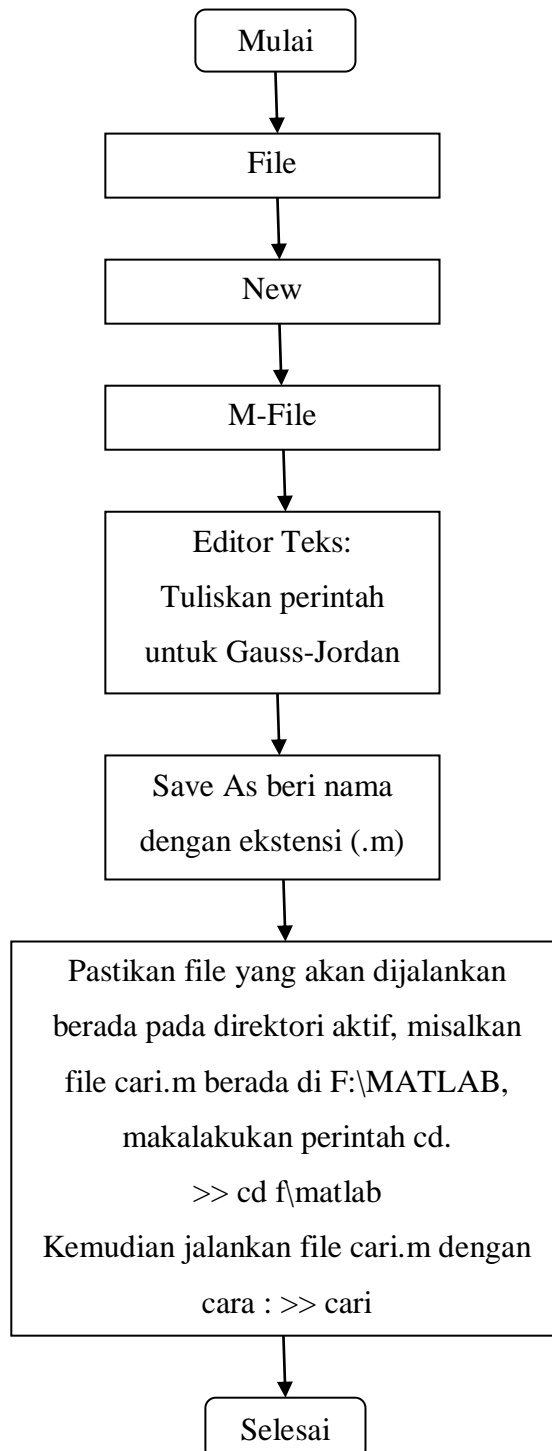
### 3.6 Program MATLAB R2013a

Matlab adalah singkatan dari MATrix LABoratory, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc. yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++. MATLAB merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan. Pada awalnya MATLAB dibuat untuk memberikan kemudahan mengakses data matrik pada proyek LINPACK dan EISPACK. Saat ini MATLAB memiliki ratusan fungsi yang dapat digunakan sebagai problem solver mulai dari simple sampai masalah-masalah yang kompleks dari berbagai disiplin ilmu.

Beberapa kelebihan MATLAB jika dibandingkan dengan program lain seperti *Fortran*, dan *Basic* adalah sebagai berikut ini:

1. mudah dalam perhitungan berbagai operasi matriks yang meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, invers dan fungsi matriks lainnya,
2. menyediakan fasilitas untuk memplot struktur gambar (kekuatan fasilitas grafik tiga dimensi yang sangat memadai),
3. *script* program yang dapat diubah sesuai dengan keinginan user,
4. jumlah *routine-routine powerful* yang berlimpah yang terus berkembang,
5. kemampuan *interface* (misal dengan bahasa C, word dan mathematica), dan
6. dilengkapi dengan *toolbox*, *simulink*, *stateflow* dan sebagainya, serta mulai melimpahnya *source code* di internet yang dibuat dalam MATLAB (contoh *toolbox* misalnya: *signal processing*, *control system*, *neural networks* dan sebagainya).

Langkah-langkah MATLAB R2013a dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16 Bagan Alir MATLAB R2013a**

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Metode Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitian.

Penelitian ini diawali dengan melakukan identifikasi masalah mengenai pembebanan lateral pada pondasi tiang. Setelah itu dilakukan tinjauan pustaka yang dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder yaitu data tanah yang berupa data hasil pengujian tanah dan data pondasi.

Langkah selanjutnya adalah analisa faktor efisiensi kelompok tiang menggunakan metode elemen hingga program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. dan analisa perilaku kelompok tiang menggunakan Metode *Finite Difference* dan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Kemudian dilakukan penarikan kesimpulan atas hasil analisa yang telah diperoleh.

### **4.2 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian Tugas Akhir pada proyek gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM terletak di Jalan Nusantara 1, Bulaksumur, Catur Tunggal, Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Pembangunan Gedung R.Soegondo  
Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada**

Sumber: Google Maps (2017)

### 4.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 1. Data Tanah

Data tanah yang diperlukan antara lain penyelidikan tanah di lapangan, pengujian tanah di laboratorium serta dengan menggunakan korelasi antar parameter tanah. Korelasi antar parameter tanah dilakukan jika parameter tanah yang diperlukan tidak dapat diperoleh secara langsung, baik dari penyelidikan tanah di lapangan maupun hasil pengujian tanah di laboratorium. Pengumpulan data berasal dari instansi terkait yang digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian. Dalam pelaksanaan penyelidikan tanah PT. Rimasyada Yogyakarta selaku Konsultan Perencana bekerja sama dengan CV.Sandy Soilindo.

Pada tahap ini dilakukan korelasi antar parameter tanah yang diperoleh dari hasil pengujian tanah di laboratorium. Sehingga diperoleh parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan statis dan perhitungan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Data parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1.



**Tabel 4.1 Data Parameter Tanah**

	d	c	$\phi$	Berat volume air ( $\gamma_w$ )	Berat volume basah ( $\gamma_b$ )	Berat volume kering ( $\gamma_d$ )	G <sub>s</sub>	e	Berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	Berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ )
	m	kg/cm <sup>2</sup>	°	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>			gr/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
BM-1	-5,00	0,0491	46,7	1,000	1,813	1,480	2,727	0,838	1,9390	19,0220
BM-1	-10,00	0,0294	42,4	1,000	1,817	1,516	2,758	0,816	1,9680	19,3060
BM-1	-15,00	0,0098	47,5	1,000	2,217	1,829	2,795	0,524	2,1770	21,3644

(Sumber: PT Rimasyada)

Berdasarkan pengolahan data SPT (*Standard Penetration Test*) tanah proyek gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM, tanah terbagi atas beberapa lapisan yang berbeda. Jenis tanah hasil uji bor mesin titik BM-1 proyek gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Jenis Tanah Hasil Uji Bor Mesin Titik BM-1**

Kedalaman	Secara Visual
0.00-0.70	Uruk
0.70-5.30	Pasir sedang warna merah kecoklatan
5.30-6.00	Pasir halus warna merah
6.00-8.50	Pasir sedang warna merah kecoklatan
8.50-9.00	Pasir kasar disertai garvel warna hitam
9.00-10.50	Pasir kasar warna hitam
10.50-13.00	Pasir sedang warna hitam
13.00-15.40	Pasir kasar disertai garvel warna hitam
15.40-18.00	Pasir sedang warna hitam
18.00-20.00	Pasir kasar warna hitam
20.00-23.50	Pasir sedang warna hitam
23.50-30.00	Pasir kasar warna hitam

(Sumber: PT Rimasyada)

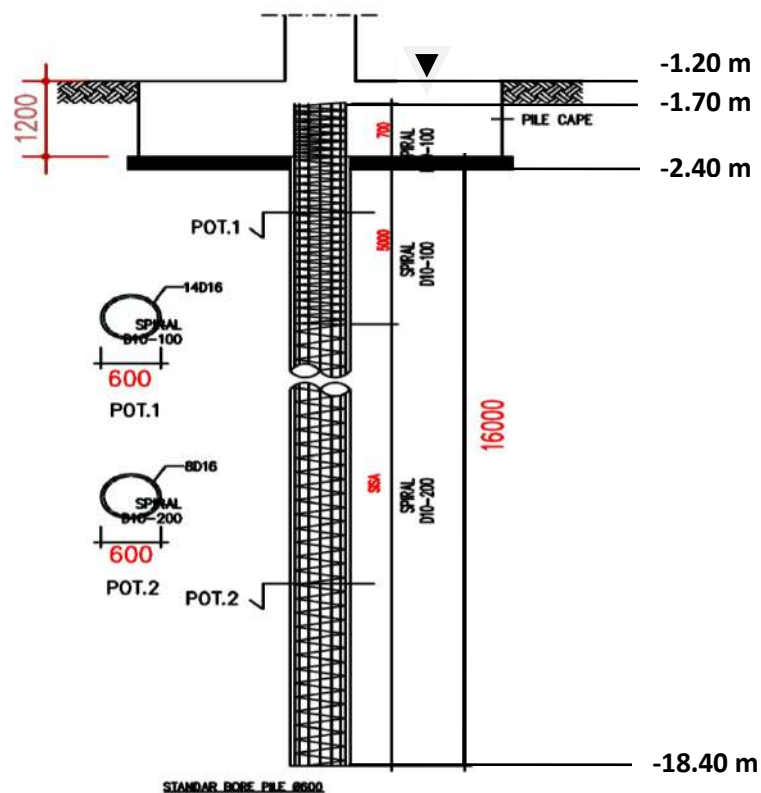
Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan bahwa lokasi gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada yang beralamat di Jalan Nusantara Bulak Sumur Yogyakarta, secara geologis daerah tersebut

merupakan daerah endapan pasir (pasir padat), dengan permukaan tanah relatif datar. Dari hasil pengujian dengan alat sondir menunjukkan bahwa kepadatan tanah yaitu tanah pasir dengan tingkat kepadatan sedang sampai keras. Muka air tanah dijumpai pada kedalaman 6 meter. Lapisan tanah keras dengan  $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$  dijumpai mulai kedalaman 2,00 meter kebawah dan pada kedalaman 12 meter kebawah nilai  $q_c > 200 \text{ kg/cm}^2$  dan berangsur angsur meningkat.

Berdasarkan data hasil pengujian dilapangan, maka untuk menentukan kapasitas dukung pondasi diambil berdasarkan pendekatan menggunakan perhitungan pondasi tiang bor. Faktor keamanan beban yang disarankan untuk beban horisontal yaitu 3,00.

## 2. Data Pondasi.

Data pondasi yang diperlukan berupa diameter pondasi, panjang pondasi dan ketebalan *pile cap*. Dimensi *Bored Pile* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2 Dimensi Bored Pile**  
(Sumber: PT Rimasyada)

Diameter pondasi	= 0,6 m = 600 cm
Panjang pondasi	= 16 m
Tebal pile cap	= 1,2 m
Kekuatan karakteristik tiang ( $f_c'$ )	= 25 Mpa
Modulus elastis tiang ( $E_p$ )	= $4700 \times \sqrt{f_c'}$
Jarak asli antar tiang di lapangan	= 3,5D

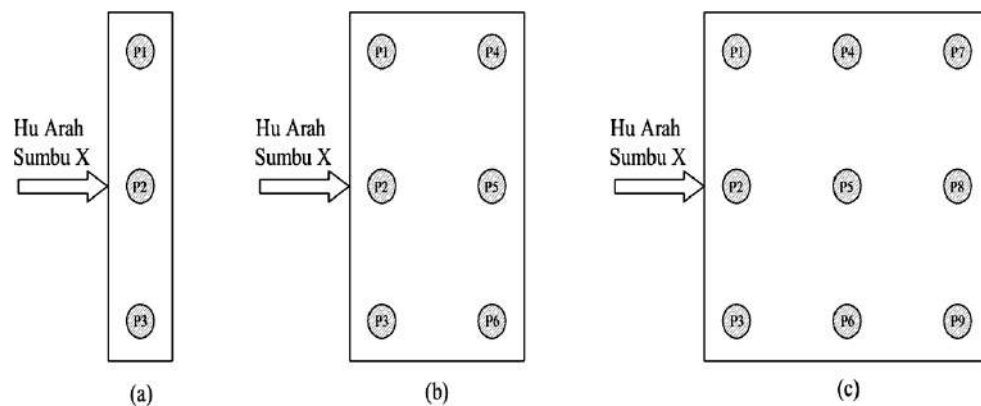
Variasi yang digunakan untuk konfigurasi kelompok tiang:

Jumlah tiang dalam kelompok tiang yang akan dianalisis = 3, 6, dan 9 tiang.

Jarak tiang dalam kelompok tiang yang akan dianalisis = 4D, 5D dan 6D.

Data pondasi berasal dari instansi terkait PT. Rimasyada Yogyakarta selaku Konsultan Perencana.

Tampak atas konfigurasi kelompok tiang bor dan arah beban lateral yang akan di analisa dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3 Tampak Atas Konfigurasi Kelompok Tiang Bor dan Arah Beban Lateral**

#### 4.4 Analisis Pondasi *Bored Pile*

Analisis yang akan dilakukan adalah analisis perilaku kelompok tiang akibat beban lateral menggunakan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Tahapan analisis adalah sebagai berikut ini.

1. Analisis perhitungan beban lateral.
  - a. Mencari beban lateral tiang tunggal menggunakan Metode Broms, Metode Solusi Elastik dan *trial and error* beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dengan pergerakan yang diijinkan dikepala tiang sebesar 6 mm. Selanjutnya memilih beban lateral pakai dengan mempertimbangkan kondisi tanah asli di lapangan.
  - b. Mencari beban lateral kelompok tiang dengan sistem coba-coba (*trial and error*) untuk mendapatkan pergerakan yang diijinkan dikepala tiang sebesar 6 mm dengan mengganti besarnya beban lateral pada setiap konfigurasi kelompok tiang pada perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6.
2. Analisis faktor efisiensi (faktor pengali).

Beban lateral kelompok tiang yang sudah didapatkan dari Metode *Finite Difference* dan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 digunakan untuk menganalisis nilai faktor efisiensi (faktor pengali).
3. Analisis pergerakan tiang tunggal dan kelompok tiang akibat beban lateral berdasarkan defleksi yang diijinkan.

Analisa pergerakan tiang tunggal dan kelompok tiang akibat beban lateral dan momen lentur (*bending momen*), menggunakan Metode *Finite Difference* dan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Analisa dilakukan dengan berbagai variasi jumlah tiang dan jarak antar tiang.
4. Analisis perilaku kelompok tiang terhadap variasi beban lateral.

Analisa dilakukan untuk melihat pengaruh jumlah tiang dalam satu kelompok terhadap pergerakan tiang dan momen lentur akibat beban lateral dengan variasi beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6.

#### 4.5 Pembahasan

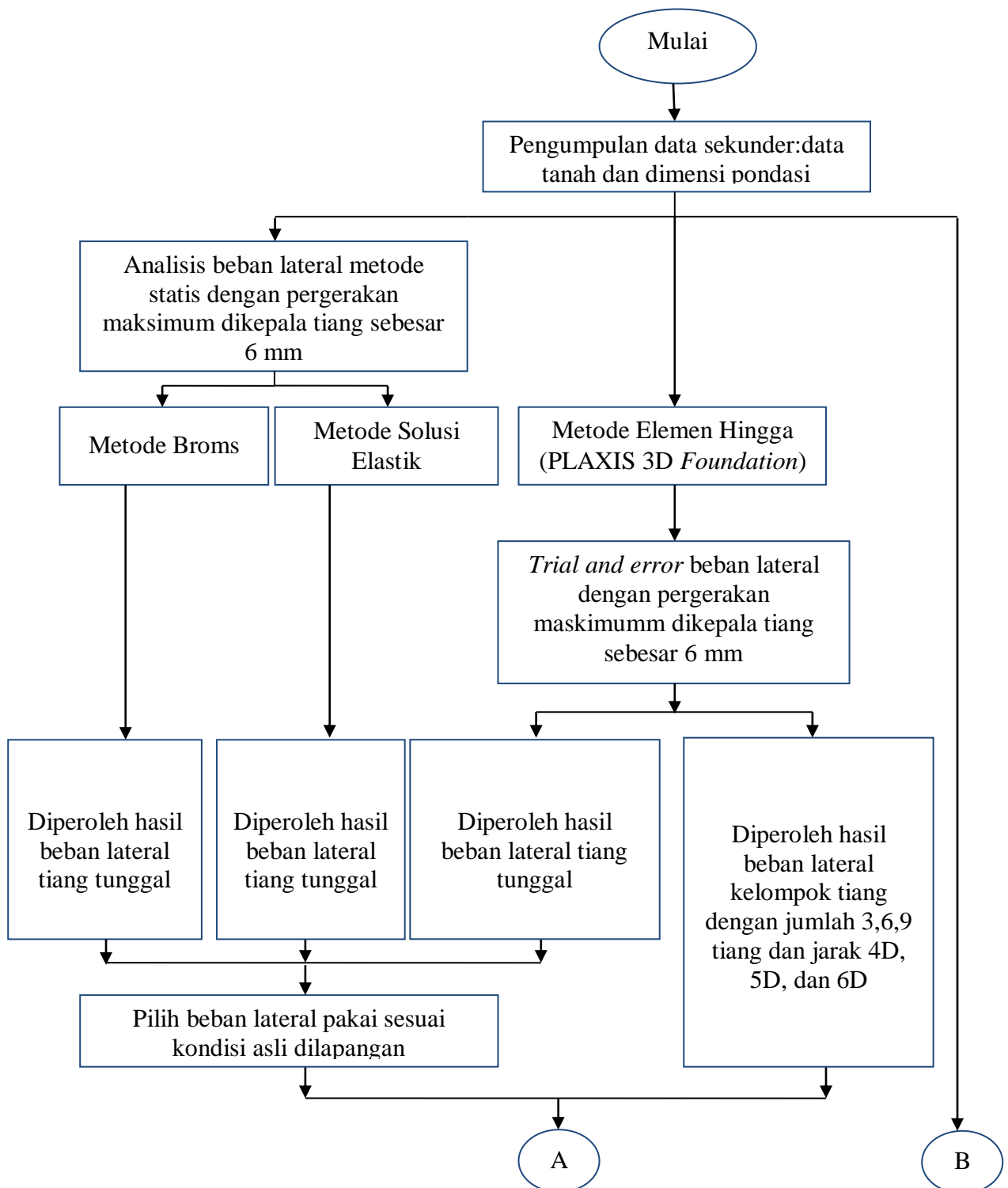
Pembahasan adalah menjelaskan hubungan yang mencakup hasil analisis untuk menjawab tujuan penelitian (pertanyaan penelitian), menjelaskan keutamaan dan keterbatasan penelitian serta implikasi yang ditimbulkannya sebagai

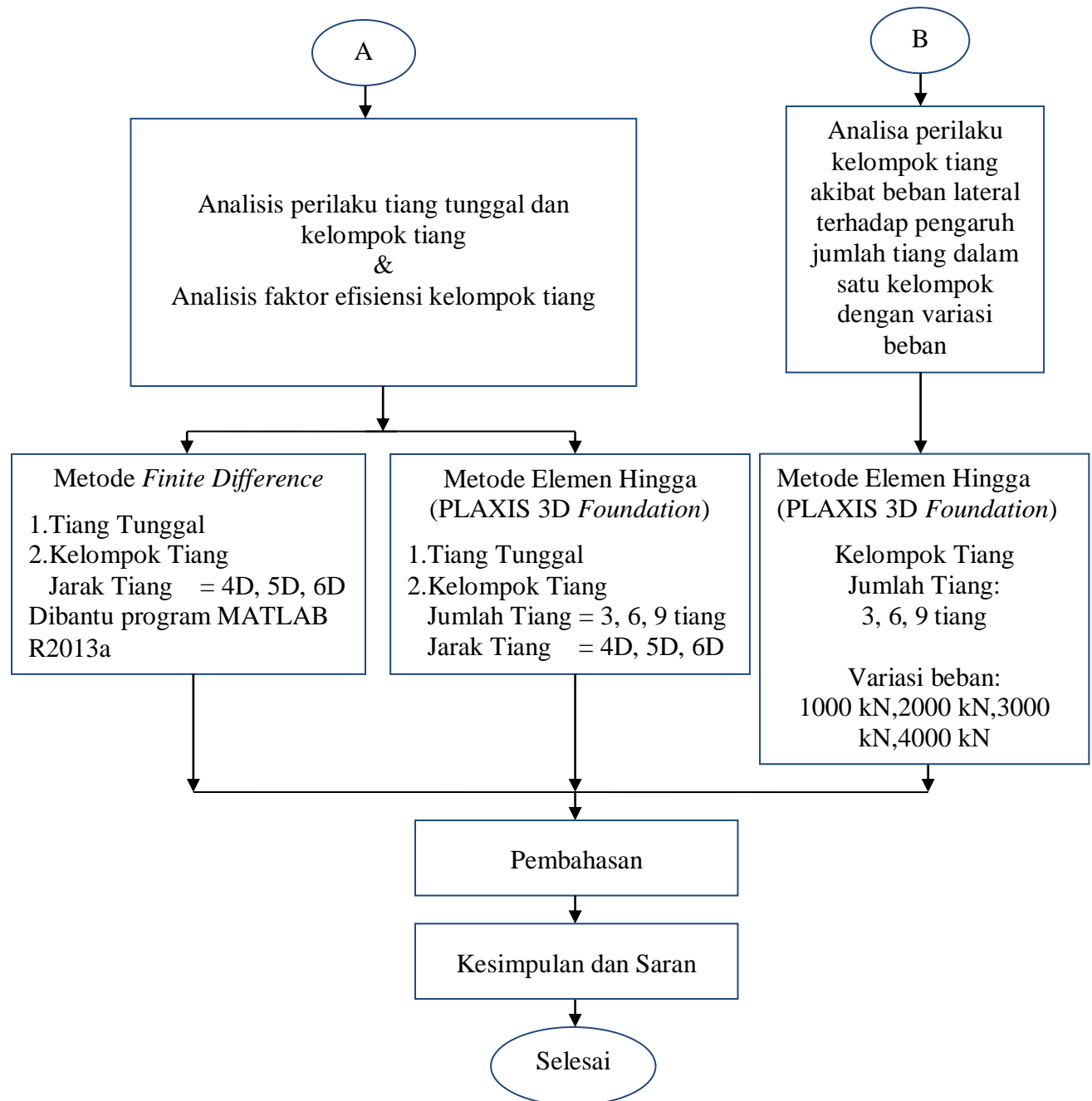
dasar untuk merumuskan saran. Pembahasan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. hasil perhitungan beban lateral tiang tunggal Metode Broms, Metode Solusi Elastik dan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dan beban lateral kelompok tiang hasil PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6,
2. hasil faktor efisiensi kelompok tiang berdasarkan hasil Metode *Finite Difference* dan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 terhadap jumlah tiang dan jarak tiang,
3. perbandingan pergerakan tiang hasil analisa Metode *Finite Difference* dan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Perbandingan momen lentur kelompok tiang hasil PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6, dan
4. pengaruh jumlah tiang dalam satu kelompok terhadap pergerakan tiang dan momen lentur akibat beban lateral dengan variasi beban yang sama setiap kelompok, menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6.

#### **4.6 Bagan Alir Penelitian**

Bagan alir (*flow chart*) adalah sebuah diagram dengan simbol-simbol grafis yang menyatakan proses guna menampilkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak beserta urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. Bagan alir digunakan untuk menunjukkan langkah-langkah yang akan dilakukan selama proses penelitian. Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.





**Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian**

## **BAB V**

### **ANALISIS PONDASI *BORED PILE***

#### **5.1 Profil Proyek**

Perusahaan di bidang jasa konstruksi, PT. Sinar Cerah Sempurna, pada tahun 2016 ini dipercaya untuk memegang proyek pembangunan Gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Pembangunan Gedung R. Soegondo (kompleks Inculs, Pusat Pelatihan Bahasa dan Jurusan) Fakultas Ilmu Budaya UGM Yogyakarta dengan Kontrak No. 22.02/III/PPK-PPL/UGM/2016 tanggal 22 Maret 2016 dan mempunyai nilai kontrak sebesar enam puluh delapan milyar delapan puluh enam juta tujuh ratus empat puluh tiga ribu rupiah. Kegiatan Pembangunan Gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM Yogyakarta dilaksanakan selama 365 Hari dari tgl 29 Maret 2016 sampai dengan tanggal 22 Maret 2017.

Gedung R. Soegondo terdiri dari 7 lantai dan 1 *basement* dengan luas bangunan 9.985 m. Gedung R. Soegondo ini nantinya akan dipergunakan untuk kegiatan perkuliahan, kantor-kantor, serta pusat pelatihan bahasa. Pekerjaan yang dilakukan melingkupi pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan mekanikal elektrik, pekerjaan landskape, dan pekerjaan akses difable (lift) GSP.

Gedung ini akan dibangun dengan konsep yang ramah lingkungan. Hal ini sejalan juga dengan konsep pembangunan kampus terbuka hijau yang juga digalakkan oleh Rektor sebelumnya, Prof. Dr. Pratikno, M.Soc.Sc.. Saat menjabat sebagai rektor, ia sempat mengumpulkan dekan fakultas-fakultas sosial humaniora untuk membahas rencana membangun kawasan kampus yang terbuka, menyatu, serta berwawasan lingkungan.

##### **5.1.1 Lokasi Proyek**

Lokasi penelitian Tugas Akhir pada proyek gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM terletak di Jalan Nusantara 1, Bulaksumur, Catur Tunggal, Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 5.1.





**Gambar 5.1 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung R.Soegondo (Kompleks Inklus, Pusat Pelatihan Bahasa dan Jurusan) Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada**

Sumber: Google Earth (2017)

## 5.2 Data Gedung R.Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada

### 5.2.1 Data Umum Proyek

Data proyek gedung R.Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada Yogyakarta adalah sebagai berikut ini:

1. nama proyek :pembangunan Gedung R.Soegondo (Kompleks Inklus, Pusat Pelatihan Bahasa dan Jurusan) Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada,
2. jenis pekerjaan : pembangunan Gedung Perkuliahan,
3. lokasi proyek : Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada,
4. no.kontrak : 22.02/III/PPL-PPL/UGM/2016,
5. tanggal kontrak : 22 Maret 2016,
6. no.SPMK : 29.03/III/PPK-PPL/UGM/2016,
7. tanggal SPMK : 29 Maret 2016,

8. konstruksi.Bag.Atas : beton bertulang ; konstruksi atap ; baja,
9. konstruksi.Bag.Bawah : pondasi *bored pile*,
10. jumlah lantai : 7 lantai, dan 1 lantai *basement*,
11. waktu pelaksanaan : 12 bulan,
12. pemilik proyek : Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada,
13. pelaksana : PT.Sinar Cerah Sempurna,
14. perencana : PT.Rimasyada,
15. pengawas : PT.Elmacon Engineering,
16. biaya pembangunan : Rp. 68.086.743.000,-
17. sistem kontrak : harga saruan,
18. pembayaran : dengan cara angsuran/termijn,
19. masa pelaksanaan : 365 Hari kalender, dan
20. masa pemeliharaan : 180 Hari kalender.

### 5.2.2 Data Tanah

Data tanah diperoleh berdasarkan data penyelidikan tanah di lapangan dan hasil pengujian tanah di laboratorium. Dalam pelaksanaan penyelidikan tanah PT.Rimasyada Yogyakarta selaku Konsultan Perencana bekerja sama dengan CV.Sandy Soilindo.

Berdasarkan pengolahan data SPT tanah proyek gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM, tanah terbagi atas beberapa lapisan yang berbeda. Jenis tanah hasil uji bor mesin titik BM-1 proyek gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya UGM dapat dilihat pada Bab 4.

Hasil pengamatan dilapangan bahwa lokasi gedung R. Soegondo Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada yang beralamat di Jalan Nusantara Bulak Sumur Yogyakarta, secara geologis daerah tersebut merupakan daerah endapan pasir (pasir padat), dengan permukaan tanah relatif datar. Dari hasil pengujian dengan alat sondir menunjukkan bahwa kepadatan tanah yaitu tanah pasir dengan tingkat kepadatan sedang sampai keras. Muka air tanah dijumpai pada kedalaman 6 meter dari muka tanah setempat. Lapisan tanah keras dengan  $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$

dijumpai mulai kedalaman 2,00 meter kebawah dan pada kedalaman 12 meter kebawah nilai  $q_c > 200 \text{ kg/cm}^2$  dan berangsur angsur meningkat.

Berdasarkan data hasil pengujian dilapangan, maka untuk menentukan kapasitas dukung pondasi diambil berdasarkan pendekatan menggunakan perhitungan pondasi tiang bor. Faktor keamanan beban yang disarankan untuk beban horisontal yaitu 3,00. Data parameter tanah untuk analisis statis dan data parameter tanah yang digunakan pada *PLAXIS 3D Foundation* Versi 1.6 dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan 5.2.

**Tabel 5.1 Data Parameter Tanah yang Digunakan untuk Analisis Statis**

	Kedalaman	c	$\phi$	Berat volume air ( $\gamma_w$ )	Berat volume basah ( $\gamma_b$ )	Berat volume kering ( $\gamma_d$ )	Gs	e	Berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	Berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	Es	Kh
	M	kg/cm <sup>2</sup>	°	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>			gr/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>3</sup>
BM-1	-5,00	0,0491	46,7	1,000	1,813	1,480	2,727	0,838	1,9390	19,0220	97000	161667
BM-1	-10,00	0,0294	42,4	1,000	1,817	1,516	2,758	0,816	1,9680	19,3060	194000	388000
BM-1	-15,00	0,0098	47,5	1,000	2,217	1,829	2,795	0,524	2,1778	21,3644	291000	485000

$n_h$ , pasir kering atau lembab (Terzaghi) = 19400 kN/m<sup>3</sup> (pasir padat)

Es =  $n_h \times \text{kedalaman}$

$k_h = n_h \times \frac{z}{d}$

dengan:

$n_h$  = Koefisien variasi modulus Terzaghi (kN/m<sup>3</sup>)

Es = Modulus elastis tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$k_h$  = Modulus reaksi tanah dalam arah horisontal (kN/m<sup>3</sup>)

z = Kedalaman setiap lapis tanah sampai ke permukaan tanah

d = Diameter tiang

**Tabel 5.2 Data Parameter Tanah yang Digunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6**

Nama	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Tiang Bor	Satuan
Model material	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Linier elastik	-
Kondisi material	Drained	Drained	Drained	Non porous	-
Berat volume tidak jenuh, $\gamma_{unsat}$	17,7877	9,5060	11,5544	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat volume jenuh $\gamma_{sat}$	17,7877	19,3060	21,3644		kN/m <sup>3</sup>
<i>Modulus Young's, E</i>	97000	194000	291000	23500000	kN/m <sup>2</sup>
<i>Poisson ratio, v</i>	0,3	0,3	0,3	0,2	-
Kohesi, c	0,05	0,03	0,01		kg/cm <sup>2</sup>
Sudut geser, $\varphi$	46,7	42,4	47,5		°
<i>Interface, R<sub>inter</sub></i>	0,5	0,5	0,5	1	-

### 5.2.3 Data Tiang

Data tiang yang digunakan adalah sebagai berikut ini:

- diameter pondasi  
 $d = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$
- panjang pondasi  
 $L = 16 \text{ m} = 1600 \text{ cm}$
- kekuatan karakteristik tiang  
 $f_c' = 25 \text{ MPa}$
- modulus elastis tiang  
 $E_p = 4700 \times \sqrt{f_c'}$   
 $= 4700 \times \sqrt{25}$

$$\begin{aligned} &= 23500 \text{ Mpa} \\ &= 23500000 \text{ kN/m}^2 \\ &= 235000 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

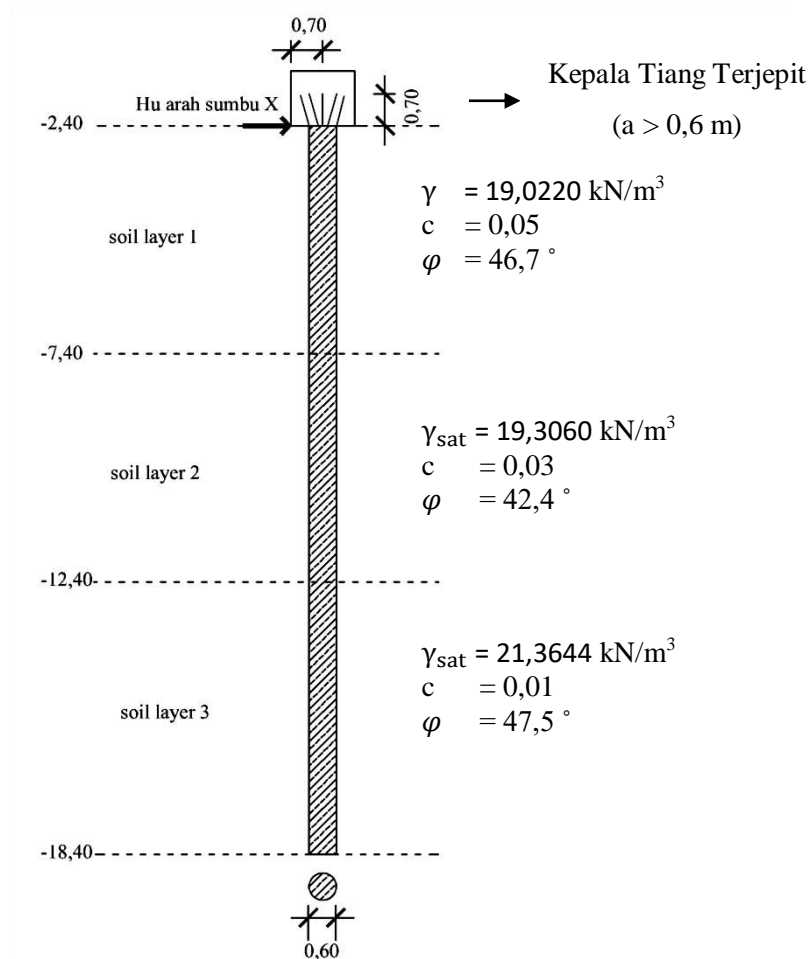
5. momen inersia

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times \pi \times 0,6^4 \\ &= 0,0063617 \text{ m}^4 \\ &= 636200 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

### 5.3 Analisis Beban Lateral Tiang Tunggal

#### 5.3.1 Metode Broms

Pada penelitian ini beban lateral yang digunakan adalah searah sumbu X dengan kepala tiang terjepit dapat dilihat pada Gambar 5.2.



**Gambar 5.2 Pondasi Tiang dengan Beban Lateral Arah Sumbu X**

1. Menentukan kriteria jenis tiang panjang atau pendek.

Menentukan kriteria tiang pada tanah berpasir (tanah granuler) akibat beban lateral.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{nh}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{23500000 \times 0,006362}{19400}}$$

$$T = 1,5044 \text{ m}$$

ketentuan:

$$L > 4T$$

$$16 \text{ m} > 6,0177 \text{ m} \quad (\text{termasuk tiang panjang dan tidak kaku})$$

2. Menentukan beban lateral maksimum pada tiang.

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Rekapitulasi perhitungan nilai  $K_p$  dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Rekapitulasi perhitungan nilai  $K_p$**

Kedalaman (m)	$\varphi$ (°)	$K_p$
-5,00	46,70	6,3468
-10,00	42,40	5,1410
-15,00	47,50	6,6126

Cek keruntuhan tanah akibat beban lateral tiang:

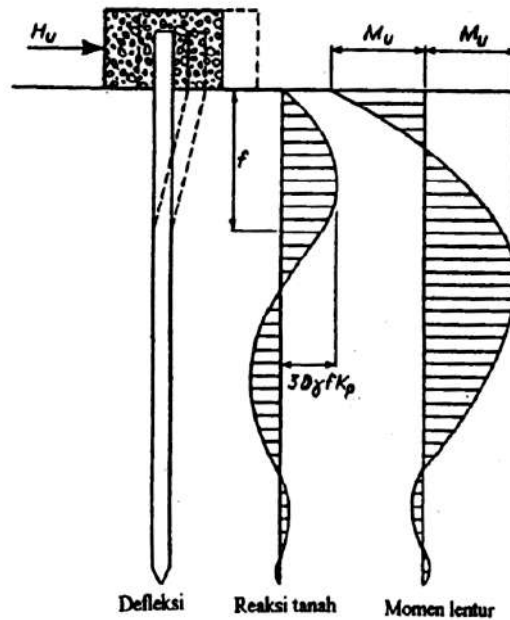
$$\begin{aligned} M_{\max} &= \gamma_{\text{sat}} \times d \times L^3 \times K_p \\ &= 19,0220 \times 0,6 \times 16^3 \times 6,3468 \\ &= 296703,1716 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Momen maksimum yang mampu ditahan tiang (*ultimate bending moment*):

$$\begin{aligned} M_y &= \frac{1}{8} \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \gamma_{\text{beton}} \right) \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \times 24 \right) \times 16^2 \\ &= \frac{1}{8} \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \right) \times 16^2 \\ &= 217,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$



Momen maksimum mencapai  $M_y$  di dua lokasi dapat dilihat pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3 Momen Maksimum  $M_y$  Mencapai di Dua Lokasi**

syarat:

$$M_{max} > M_y$$

$$296703,1716 \text{ kN.m} > 217,14 \text{ kN.m}$$

Karena  $M_{max} > M_y$ , maka tidak terjadi keruntuhan tanah, sehingga beban lateral ultimit ditentukan oleh kekuatan bahan tiang dalam menahan momen  $M_y$ .

Jarak momen maksimum ( $M_y$ ) dari permukaan tanah:

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \times \sqrt{\frac{H_u}{d \times K_p \times \gamma_{sat}}} \\ &= 0,82 \times \sqrt{\frac{H_u}{0,6 \times 6,3468 \times 19,0220}} \\ &= 0,82 \times \sqrt{\frac{H_u}{72,4373}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,09634 \sqrt{Hu} \\
 &= 0,09634 \sqrt{349,6437} \\
 &= 1,8014 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Beban lateral maksimum pada tiang:

$$\begin{aligned}
 Hu &= \frac{2 \times My}{e + \frac{2f}{3}} \\
 Hu &= \frac{2 \times 217,14}{0 + \frac{2 \times (0,09964 \sqrt{Hu})}{3}} \\
 Hu &= \frac{6537,7360}{\sqrt{Hu}} \\
 Hu^{\frac{3}{2}} &= 6537,7360 \\
 Hu &= 6537,7360^{\frac{2}{3}} \\
 Hu &= 349,6437 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Substitusi nilai Hu ke nilai  $f = 0,09634 \sqrt{Hu}$

Beban lateral ijin:

$$\begin{aligned}
 Hijin &= \frac{Hu}{SF} \\
 Hijin &= \frac{349,6437}{3} \\
 Hijin &= 116,5480 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

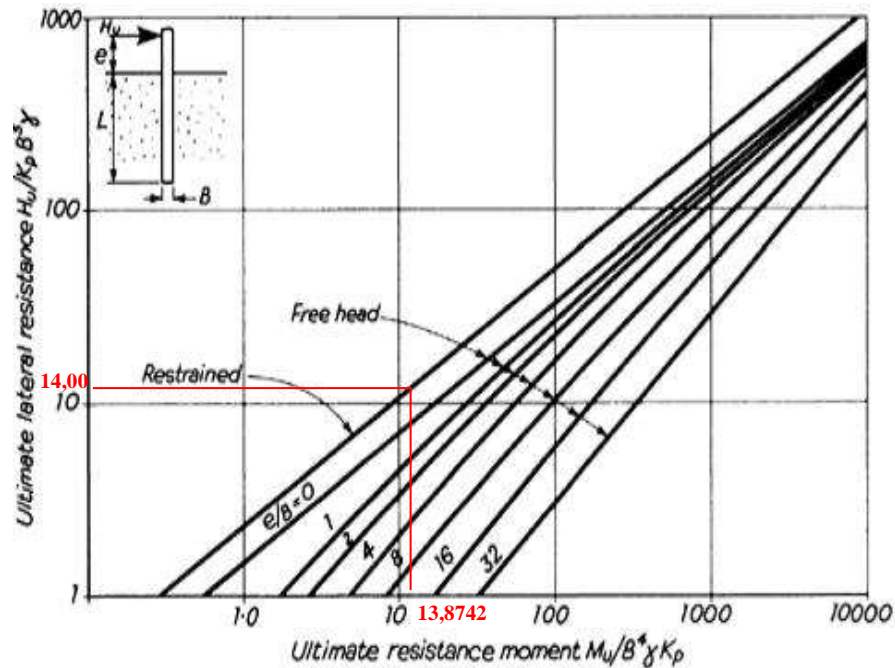
Beban lateral bila menggunakan grafik:

$$\begin{aligned}
 &\frac{My}{d^4 \times \gamma_{\text{sat}} \times Kp} \\
 &\frac{217,14}{0,6^4 \times 19,0270 \times 6,3468} = 13,8742
 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.4 (tahanan lateral ultimit tiang dalam tanah granuler untuk tiang panjang) diperoleh:

$$\frac{H_u}{K_p \times d^3 \times \gamma_{\text{sat}}}$$

Nilai daya dukung ujung batas *bored pile* pada tanah granuler dapat dilihat pada Gambar 5.4.



**Gambar 5.4 Daya Dukung Ujung Batas *Bored Pile* pada Tanah Granuler**  
(Sumber : Reese & Wright, 1977 dalam buku Hardiyatmo, 2015)

$$\frac{H_u}{K_p \times d^3 \times \gamma_{\text{sat}}} = 14,00$$

$$H_u = 14 \times 6,3648 \times 19,0270 \times 0,6^3$$

$$H_u = 366,2156 \text{ kN}$$

$$H_u = 349,6437 \text{ kN}$$

} Hampir Mendekati

(hampir mendekati, beban lateral secara analitis dengan beban lateral dari grafik)

Beban lateral maksimum pada tiang apabila defleksi toleransi tiang 6 mm:

$$H_{\text{ijin}} = \frac{1}{0,93} \times y_0 \times (nh)^3 \times (E_p \cdot I_p)^2$$

$$H_{\text{ijin}} = \frac{1}{0,93} \times 0,006 \times (19400)^3 \times (23500000 \cdot 0,006362)^2$$

$$H_{ijin} = 283,2787 \text{ kN}$$

3. Kontrol defleksi tiang akibat beban lateral maksimum.

$$Y_o = \frac{0,93 H_u}{(nh)^{\frac{3}{5}} \times (E_p \cdot I_p)^{\frac{2}{5}}}$$

$$Y_o = \frac{0,93 \times 349,6437}{(19400)^{\frac{3}{5}} \times (23500000 \times 0,006362)^{\frac{2}{5}}}$$

$$Y_o = 0,007406 \text{ m}$$

$$Y_o = 7,4056 \text{ mm}$$

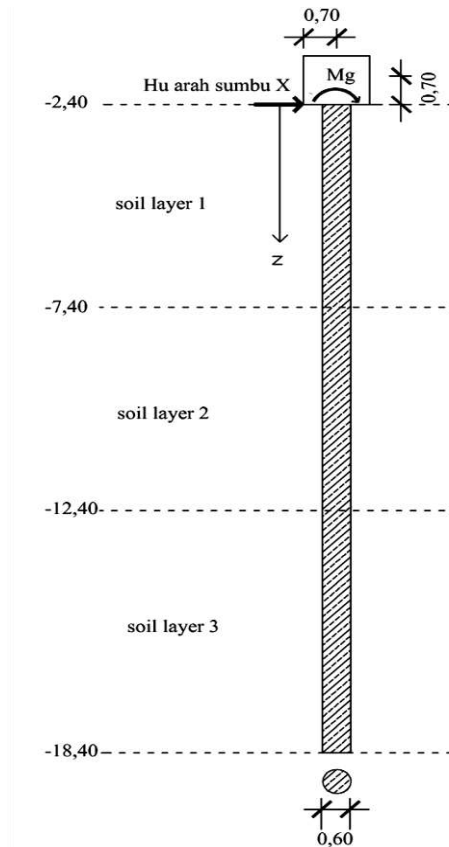
(Menurut McNulty melebihi perpindahan lateral ijin bangunan gedung yang disarankan)

Dari hasil perhitungan beban lateral tiang tunggal berdasarkan defleksi ijin sebesar 283,2787 kN, beban lateral berdasarkan keruntuhan tiang atau tanah sebesar 349,6437 kN, dan beban lateral ijin sebesar 116,5480 kN.

Jadi, beban lateral berdasarkan defleksi ijin dengan menggunakan Metode Broms dan sesuai dengan defleksi lateral ijin pada bangunan gedung yang disarankan oleh McNulty adalah 283,30 kN.

### 5.3.2 Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock)

Pemodelan Metode Solusi Elastik dapat dilihat pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5 Pemodelan Metode Solusi Elastik (Reese dan Matlock)**

Perhitungan dengan Metode Solusi Elastik ini dilakukan pada tanah granuler.

1. Momen dipermukaan pondasi

$$M_g = 0$$

2. Kekuatan karakteristik tiang

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

3. Modulus elastis tiang

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \times \sqrt{25}$$

$$= 23500 \text{ Mpa}$$

$$= 23500000 \text{ kN/m}^2$$

$$= 235000 \text{ kg/m}^2$$

4. Momen inersia

$$I_p = \frac{1}{64} \times \pi \times d^4$$

$$= \frac{1}{64} \times \pi \times 0,6^4$$

$$= 0,0063617 \text{ m}^4$$

$$= 636200 \text{ cm}^4$$

5. Koefisien rekasi *subgrade*

$$n_h = 19400 \text{ kN/m}^3$$

6. Karakteristik panjang tiang

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{n_h}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{23500000 \times 0,006362}{19400}}$$

$$T = 1,5044 \text{ m}$$

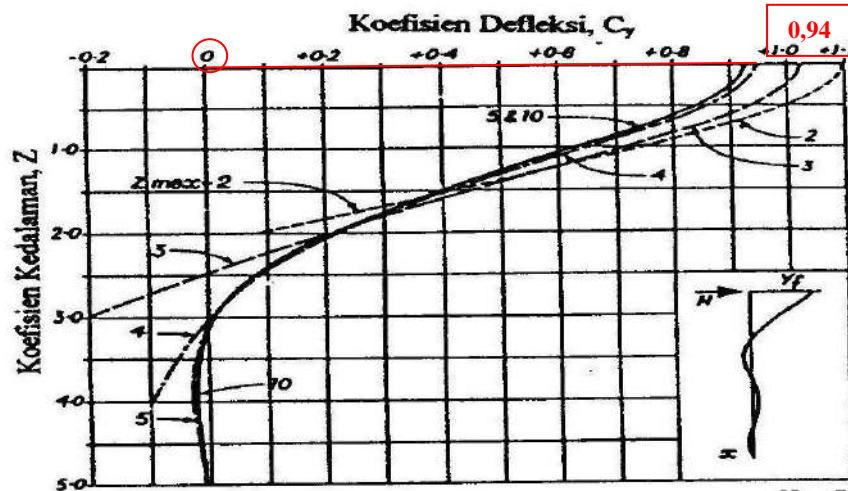
ketentuan:

$$L > 4T$$

$$16 \text{ m} > 6,0177 \text{ m}$$

(termasuk tiang panjang dan tidak kaku).

Garafik koefisien  $C_y$  dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Koefisien  $C_y$  Pondasi Tiang pada Tanah Granuler

(Sumber : Broms, 1964)

Dapat dilihat pada Gambar 5.6 untuk  $z = 0$  peroleh nilai  $C_y = 0,94$

7. Untuk defleksi kepala tiang ( $y_x$ ) = 6 mm = 0,006 m

$$y_x = C_y \cdot \frac{H \times T^3}{E_p \times I_p}$$

$$H_u = \frac{y_x \times E_p \times I_p}{C_y \times T^3}$$

$$H_u = \frac{0,006 \times 23500000 \times 0,006362}{0,94 \times 1,50443^3}$$

$$H_u = 280,2650 \text{ kN}$$

Jadi, beban lateral berdasarkan defleksi ijin dengan menggunakan Metode Solusi Elastik dan sesuai dengan defleksi lateral ijin pada bangunan gedung yang disarankan oleh McNulty adalah 280,260 kN.

### 5.3.3 Metode Elemen Hingga Program PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6

Beban lateral Metode Elemen Hingga diperoleh dengan cara *trial and error* pada PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6 dengan mengganti besarnya beban

lateral arah sumbu X untuk mendapatkan defleksi maksimum yang diijinkan di kepala tiang sebesar 6 mm. *Trial and error* beban lateral tiang tunggal hasil PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 kondisi kepala tiang terjepit (*fixed head pile*) dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 *Trial and Error* PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6**

Beban Lateral (kN)	Defleksi Tiang (mm)
283,41	1,05
450	2,48
700	4,18
900	6,00

Hasil *Trial and error* beban lateral tiang tunggal berdasarkan defleksi ijin hasil perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 kondisi kepala tiang terjepit (*fixed head pile*) adalah sebesar 900 kN.

Perbedaan hasil beban lateral berdasarkan defleksi ijin Metode Broms, Metode Solusi Elastik dan Metode Elemen Hingga dapat dilihat pada Tabel 5.5.

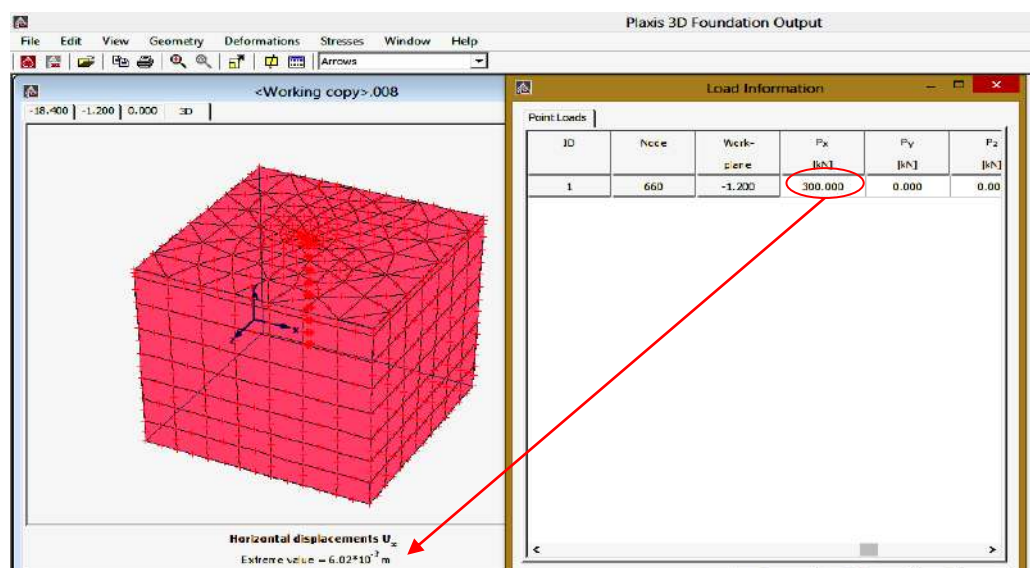
**Tabel 5.5 Perbedaan Hasil Beban Lateral Tiang Tunggal Berdasarkan Defleksi Ijin Metode Broms, Metode Solusi Elastik dan Metode Elemen Hingga**

Defleksi Toleransi di Kepala Tiang (mm)	Beban Lateral Ijin (kN)		
	Metode Broms	Metode Solusi Elastik	Metode Elemen Hingga
6,00	283,31	280,2650	900

Dapat dilihat pada tabel bahwa Metode Broms dan Metode Solusi Elastik menghasilkan beban lateral tiang tunggal yang hampir sama. Hasil beban lateral Metode Elemen Hingga jauh lebih besar dibandingkan Metode Broms dan Metode Solusi Elastik. Perbedaan hasil beban lateral disebabkan karena perhitungan Metode Broms dan Metode Solusi Elastik digunakan untuk jenis tanah homogen



(murni kohesif dan murni granuler). PLAXIS 3D *Foundation* adalah paket elemen hingga ditujukan untuk analisis tiga dimensi dalam rekayasa geoteknik. Kelebihan dari penggunaan program PLAXIS 3D ini adalah tampilannya yang dimodelkan seperti kondisi yang sebenarnya di lapangan. Selain itu juga dapat diperoleh hasil perpindahan tiang dalam segala arah. Agar memperkuat hasil, maka penulis mencoba melakukan analisis beban lateral tiang tunggal dengan tanah homogen pada PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Hasil perhitungan beban lateral tiang tunggal PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 pada tanah homogen dapat dilihat pada Gambar 5.7.



**Gambar 5.7** Beban Lateral Tiang Tunggal pada Tanah Homogen Hasil PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6

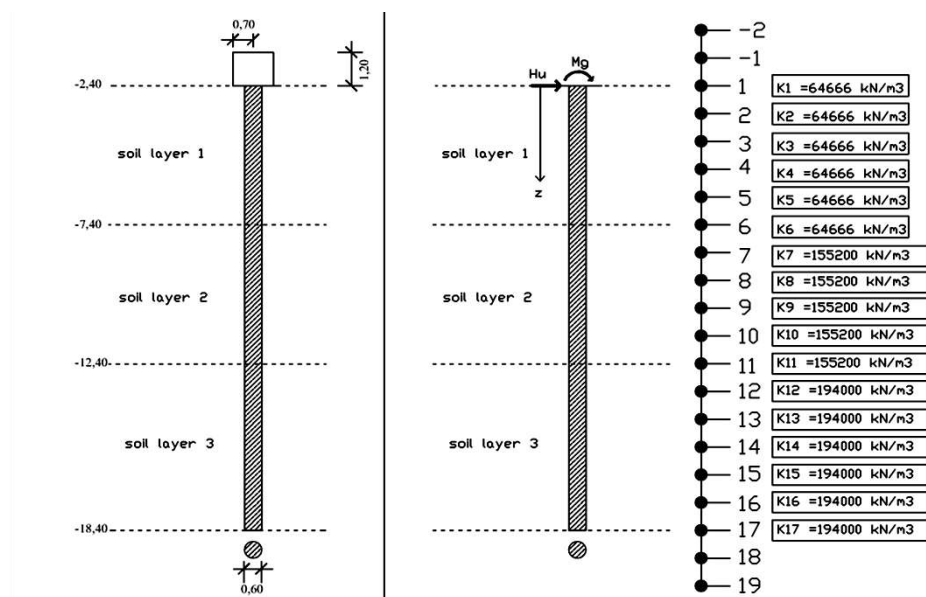
Hasil beban lateral tiang tunggal PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 pada tanah homogen adalah sebesar 300 kN.

## 5.4 Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang dalam Berbagai Variasi Jumlah Tiang dan Jarak Tiang Akibat Beban Lateral Berdasarkan Defleksi Ijin

### 5.4.1 Metode *Finite Difference*

#### 1. Metoda *Finite Difference* untuk tiang tunggal

Analisa *Finite Difference* tiang tunggal akibat beban lateral arah sumbu X dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 *Finite Difference* untuk Tiang Tunggal dengan Beban Lateral Arah Sumbu X

$$d = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

$$L = 16 \text{ m} = 1600 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$H_u = 900 \text{ kN} = 90000 \text{ kg}$$

$$M_g = 0 \text{ (momen dipermukaan pondasi)}$$

$$n = \frac{L}{\delta} = \frac{1600}{100} = 16$$

Kekuatan karakteristik tiang

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

Modulus elastis tiang

$$\begin{aligned}
 E_p &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{25} \\
 &= 23500 \text{ Mpa} \\
 &= 23500000 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 235000 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Momen inersia

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\
 &= \frac{1}{64} \times \pi \times 0,6^4 \\
 &= 0,0063617 \text{ m}^4 \\
 &= 636200 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + \alpha_i y_i - 4y_{i-1} + y_{i+2} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times L^4 \times d}{E_p \times I_p \times n^4} \\
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times 1600^4 \times 60}{235000 \times 636200 \times 16^4}
 \end{aligned}$$

$$\alpha_i = 6 + 0,04 \times K_i$$

Titik 2 s/d 6

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 16,1667 \\
 &= 6,6466
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,6466y_i - 4y_{i-1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (1) s/d (5)

Titik 7 s/d 11

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 38,8 \\
 &= 7,5520
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 7,5520y_i - 4y_{i-1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (6) s/d (10)

Titik 12 s/d 16

$$\begin{aligned}\alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\ &= 6 + 0,04 \times 48,5 \\ &= 7,9400\end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 7,9400y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0 \quad \text{persamaan (11) s/d (15)}$$

**Kepala tiang terjepit**

$$H_u = 900 \text{ kN} = 90000 \text{ kg}$$

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = 0$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{H_u \times L^3}{E_p \times I_p \times n^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{90000 \times 1600^3}{235000 \times 636200 \times 16^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = 0,602 \quad \text{persamaan (16)}$$

b. Rotasi

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{dy}{dz} \right) = 0$$

$$y_2 + y_{-1} = 0 \quad \text{persamaan (17)}$$

Syarat batas pada dasar tiang:

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = H_u$$

$$-y_{n-1} + 2y_n - 2y_{n+2} + y_{n+3} = 0$$

$$-y_{15} + 2y_{16} - 2y_{18} + y_{19} = 0 \quad \text{persamaan (18)}$$

b. Momen

$$y_n - 2y_{n+1} + y_{n+2} = 0$$

$$y_{16} - 2y_{17} + y_{18} = 0 \quad \text{persamaan (19)}$$

$$P_i = K_i \times y_i \times d$$

$$P_{1s}/d P_6 = 16,1667 \times y_i \times 60 = 970y_i$$

$$P_{7s}/d P_{11} = 38,8000 \times y_i \times 60 = 2328y_i$$

$$P_{12s}/d P_{17} = 48,5000 \times y_i \times 60 = 2910y_i$$

$$\sum H = 0$$

$$Hu - (P_1 + 2P_2 + 2P_3 + 2P_4 + 2P_5 + 2P_6 + 2P_7 + 2P_8 + 2P_9 + 2P_{10} + 2P_{11} + 2P_{12} + 2P_{13} + 2P_{14} + 2P_{15} + 2P_{16} + P_{17}) = 0$$

$$90000 - (970y_1 + 1940y_2 + 1940y_3 + 1940y_4 + 1940y_5 + 1940y_6 + 4656y_7 + 4656y_8 + 4656y_9 + 4656y_{10} + 4656y_{11} + 5820y_{12} + 5820y_{13} + 5820y_{14} + 5820y_{15} + 5820y_{16} + 2910y_{17}) = 0$$

$$(97y_1 + 194y_2 + 194y_3 + 194y_4 + 194y_5 + 194y_6 + 465,6y_7 + 465,6y_8 + 465,6y_9 + 465,6y_{10} + 465,6y_{11} + 582y_{12} + 582y_{13} + 582y_{14} + 582y_{15} + 582y_{16} + 291y_{17}) = 90 \quad \text{persamaan (20)}$$

$$\sum M_{17} = 0$$

$$\begin{aligned} Mg + Hu - [ & ((P_2 \cdot \delta) \cdot 15,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_1 - P_2) \delta \cdot (2/3 \delta + 15 \delta)) + \\ & ((P_3 \cdot \delta) \cdot 14,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_2 - P_3) \delta \cdot (2/3 \delta + 14 \delta)) + \\ & ((P_4 \cdot \delta) \cdot 13,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_3 - P_4) \delta \cdot (2/3 \delta + 13 \delta)) + \\ & ((P_5 \cdot \delta) \cdot 12,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_4 - P_5) \delta \cdot (2/3 \delta + 12 \delta)) + \\ & ((P_6 \cdot \delta) \cdot 11,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_5 - P_6) \delta \cdot (2/3 \delta + 11 \delta)) + \\ & ((P_7 \cdot \delta) \cdot 10,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_6 - P_7) \delta \cdot (2/3 \delta + 10 \delta)) + \\ & ((P_8 \cdot \delta) \cdot 9,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_7 - P_8) \delta \cdot (2/3 \delta + 9 \delta)) + \\ & ((P_9 \cdot \delta) \cdot 8,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_8 - P_9) \delta \cdot (2/3 \delta + 8 \delta)) + \\ & ((P_{10} \cdot \delta) \cdot 7,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_9 - P_{10}) \delta \cdot (2/3 \delta + 7 \delta)) + \\ & ((P_{11} \cdot \delta) \cdot 6,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{10} - P_{11}) \delta \cdot (2/3 \delta + 6 \delta)) + \\ & ((P_{12} \cdot \delta) \cdot 5,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{11} - P_{12}) \delta \cdot (2/3 \delta + 5 \delta)) + \\ & ((P_{13} \cdot \delta) \cdot 4,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{12} - P_{13}) \delta \cdot (2/3 \delta + 4 \delta)) + \\ & ((P_{14} \cdot \delta) \cdot 3,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{13} - P_{14}) \delta \cdot (2/3 \delta + 3 \delta)) + \\ & ((P_{15} \cdot \delta) \cdot 2,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{14} - P_{15}) \delta \cdot (2/3 \delta + 2 \delta)) + \end{aligned}$$

$$((P_{16} \cdot \delta) \cdot 1,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{15} - P_{16}) \delta \cdot (2/3 \delta + 1 \delta)) + \\ ((P_{17} \cdot \delta) \cdot 0,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{16} - P_{17}) \delta \cdot (2/3 \delta)) = 0$$

$$0 + 90000 - (9,835P_1 + 15P_2 + 14P_3 + 13P_4 + 12P_5 + 11P_6 + 10P_7 \\ + 9P_8 + 8P_9 + 7P_{10} + 6P_{11} + 5P_{12} + 4P_{13} + 3P_{14} + 2P_{15} + 1P_{16} + 0,165P_{17}) = 0$$

$$9539,95y_1 + 14550y_2 + 13580y_3 + 12610y_4 + 11640y_5 + 10670y_6 + 23280y_7 \\ + 20952y_8 + 18624y_9 + 16296y_{10} + 13968y_{11} + 14550y_{12} + 11640y_{13} + 8730y_{14} + 5820y_{15} \\ + 2910y_{16} + 480,15y_{17} = 90000 \quad \text{persamaan (21)}$$

Dari persamaan-persamaan sebelumnya diperoleh matriks  $[A] \times [I] = [B]$ .

A																					I		B	
y-2	y-1	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	y17	y18	y19				
0	1	-4	6.6466	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-2	0		
0	0	1	-4	6.6466	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-1	0		
0	0	0	1	-4	6.6466	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y1	0		
0	0	0	0	1	-4	6.6466	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y2	0		
0	0	0	0	0	1	-4	6.6466	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y3	0		
0	0	0	0	0	0	1	-4	7.55	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y4	0		
0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.55	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y5	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.55	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	y6	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.55	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	y7	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.55	-4	1	0	0	0	0	0	0	y8	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.94	-4	1	0	0	0	0	0	y9	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.94	-4	1	0	0	0	0	y10	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.94	-4	1	0	0	0	y11	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.94	-4	1	0	0	y12	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.94	-4	1	0	y13	0		
-1	2	0	-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y14	0.6020		
0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y15	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	0	-2	1	y16	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	1	0	y17	0		
0	0	97	194	194	194	194	194	465.6	465.6	465.6	465.6	465.6	582	582	582	582	582	291	0	0	y18	90		
0	0	9839.95	14550	13580	12610	11640	10670	23280	20952	18624	16296	13968	14550	11640	8730	5820	2910	480.15	0	0	y19	9000		

Untuk mencari nilai matriks  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat menggunakan program MATLAB dengan metode eliminasi Gauss -Jordan.

Prinsip penyelesaian dengan eliminasi Gauss-Jordan adalah sebagai berikut ini:

1. memasukkan nilai matriks [A] dan [B] yang membentuk persamaan simultan linear,
2. membentuk matriks gabungan [G] yang merupakan gabungan matriks [A] dan [B],
3. melakukan eliminasi untuk me-nol-kan bagian segitiga bawah dengan segitiga atas matriks, dan
4. melakukan normalisasi segitiga semua elemen dengan matriks sama dengan satu.

Berikut ini adalah data yang diinput ke dalam program matematika untuk mendapatkan nilai  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat dilihat pada Gambar 5.9.

```

1 % membaca matriks
2 a(1)=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',1,'C2:W22'); % tiang tunggal
3
4 % membaca vektor
5 b(1)=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',1,'AA2:AA22'); % tiang tunggal
6
7
8 % menggunakan metode gauss jordan
9 for i=1
10     c(i)=rref([a(i) b(i)]);
11     d(i)=c(i)(:,end);
12 end
13
14 [d(1)]
15

```

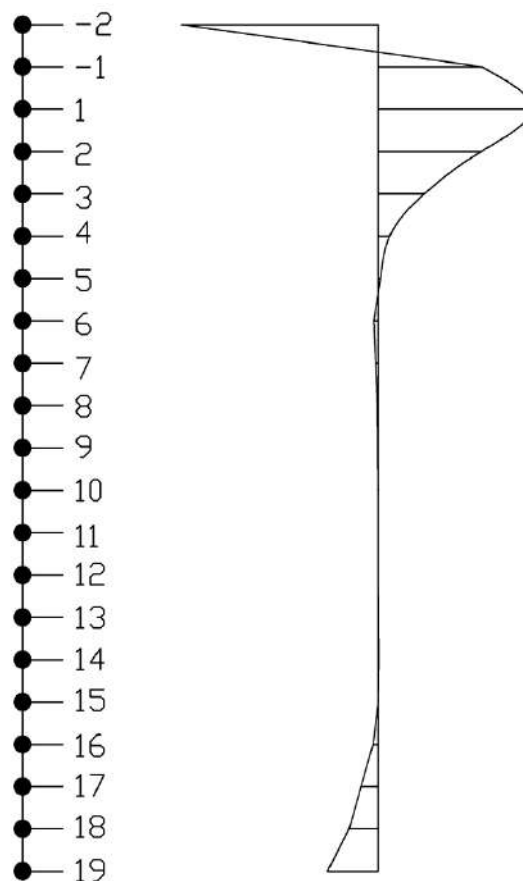
**Gambar 5.9** Printah Pada MATLAB Tiang Tunggal



Dari hasil program diperoleh:

$y_{-2} = -0,4875$ cm (Fiktif)	$y_6 = -0,0112$ cm	$y_{13} = 0,0013$ cm
$y_{-1} = 0,2553$ cm (Fiktif)	$y_7 = -0,0061$ cm	$y_{14} = 0,0021$ cm
$y_1 = 0,3807$ cm	$y_8 = -0,0018$ cm	$y_{15} = -0,0001$ cm
$y_2 = 0,2553$ cm	$y_9 = -0,0000$ cm	$y_{16} = -0,0126$ cm
$y_3 = 0,1145$ cm	$y_{10} = -0,0003$ cm	$y_{17} = -0,0424$ cm
$y_4 = 0,0287$ cm	$y_{11} = 0,0002$ cm	$y_{18} = -0,0723$ cm (Fiktif)
$y_5 = 0,0058$ cm	$y_{12} = 0,0005$ cm	$y_{19} = -0,1251$ cm (Fiktif)

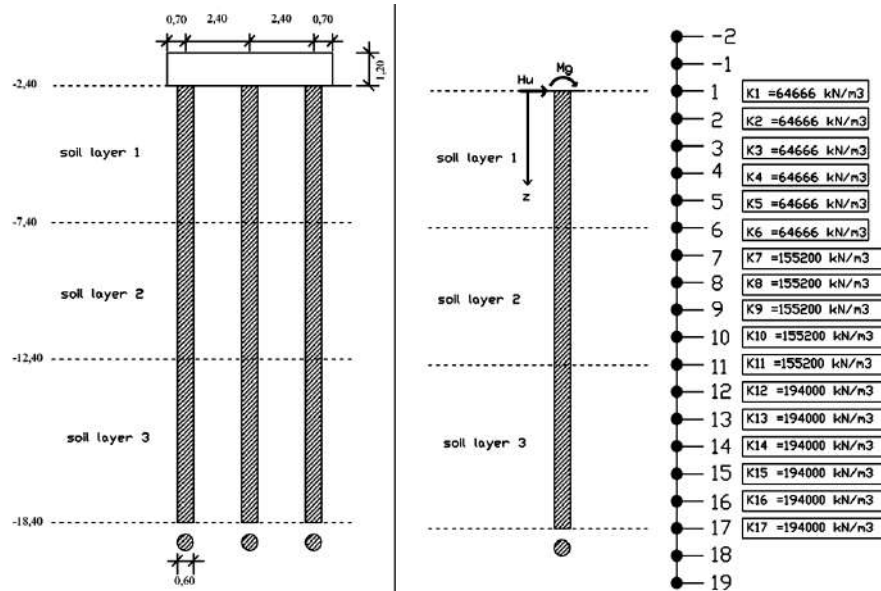
Pergerakan pondasi tiang tunggal kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral arah sumbu X dapat dilihat pada Gambar 5.10.



**Gambar 5.10 Pergerakan Pondasi Tiang Tunggal Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X**

2. Metoda *Finite Difference* untuk kelompok tiang jarak 4D

Analisa *Finite Difference* untuk kelompok tiang akibat beban lateral arah sumbu X dapat dilihat pada Gambar 5.11.



**Gambar 5.11 *Finite Difference* untuk Kelompok Tiang Jarak 4D dengan Beban Lateral Arah Sumbu X**

$$\text{Faktor reduksi } k_h = 0,40$$

$$\text{Faktor reduksi } H_u = 0,50$$

$$d = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

$$L = 16 \text{ m} = 1600 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$H_u = 450 \text{ kN} = 45000 \text{ kg}$$

$$M_g = 0 \text{ (momen dipermukaan pondasi)}$$

$$n = \frac{L}{\delta} = \frac{1600}{100} = 16$$

Kekuatan karakteristik tiang

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

Modulus elastis tiang

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c'}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4700 \times \sqrt{25} \\
 &= 23500 \text{ Mpa} \\
 &= 23500000 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 235000 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Momen inersia

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\
 &= \frac{1}{64} \times \pi \times 0,6^4 \\
 &= 0,0063617 \text{ m}^4 \\
 &= 636200 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + \alpha_i y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times L^4 \times d}{E_p \times I_p \times n^4} \\
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times 1600^4 \times 60}{235000 \times 636200 \times 16^4} \\
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i
 \end{aligned}$$

Titik 2 s/d 6

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 6,4666 \\
 &= 6,2586
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,2586y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (1) s/d (5)

Titik 7 s/d 11

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 15,52 \\
 &= 6,6280
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,6280y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (6) s/d (10)

Titik 12 s/d 16

$$\alpha_i = 6 + 0,04 \times K_i$$

$$= 6 + 0,04 \times 19,4$$

$$= 6,7760$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,7760y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (11) s/d (15)

### Kepala tiang terjepit

$$H_u = 450 \text{ kN} = 45000 \text{ kg}$$

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = 0$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{H_u \times L^3}{E_p \times I_p \times n^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{45000 \times 1600^3}{235000 \times 636200 \times 16^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = 0,30$$

persamaan (16)

b. Rotasi

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{dy}{dz} \right) = 0$$

$$y_2 + y_{-1} = 0$$

persamaan (17)

### Syarat batas pada dasar tiang:

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = H_u$$

$$-y_{n-1} + 2y_n - 2y_{n+2} + y_{n+3} = 0$$

$$-y_{15} + 2y_{16} - 2y_{18} + y_{19} = 0$$

persamaan (18)

b. Momen

$$y_n - 2y_{n+1} + y_{n+2} = 0$$

$$y_{16} - 2y_{17} + y_{18} = 0$$

persamaan (19)

$$P_i = K_i \times y_i \times d$$

$$P_{1s/d} P_6 = 6,4666 \times y_i \times 60 = 388y_i$$

$$P_{7s/d} P_{11} = 15,5200 \times y_i \times 60 = 931,2y_i$$

$$P_{12s/d} P_{17} = 19,4000 \times y_i \times 60 = 1164y_i$$

$$\sum H = 0$$

$$Hu - (P_1+2P_2+2P_3+2P_4+2P_5+2P_6+2P_7+2P_8+2P_9+2P_{10}+2P_{11}+2P_{12}+2P_{13} \\ +2P_{14}+2P_{15}+2P_{16}+P_{17}) = 0$$

$$45000 - (388y_1+776y_2+776y_3+776y_4+776y_5+776y_6+1862,4y_7 \\ +1862,4y_8+1862,4y_9+1862,4y_{10}+1862,4y_{11}+2328y_{12}+2328y_{13}+2328y_{14}+2328 \\ y_{15}+2328y_{16}+1164y_{17}) = 0$$

$$(38,8y_1+77,4y_2+77,4y_3+77,4y_4+77,4y_5+77,4y_6+186,24y_7+186,24y_8+186,24y_9 \\ +186,24y_{10}+186,24y_{11}+232,8y_{12}+232,8y_{13}+232,8y_{14}+232,8y_{15}+232,8y_{16}+116, \\ 4y_{17}) = 45 \quad \text{persamaan (20)}$$

$$\sum M_{17} = 0$$

$$Mg + Hu - [((P_2 \cdot \delta) \cdot 15,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_1 - P_2) \delta \cdot (2/3 \delta + 15 \delta)) + \\ ((P_3 \cdot \delta) \cdot 14,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_2 - P_3) \delta \cdot (2/3 \delta + 14 \delta)) + \\ ((P_4 \cdot \delta) \cdot 13,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_3 - P_4) \delta \cdot (2/3 \delta + 13 \delta)) + \\ ((P_5 \cdot \delta) \cdot 12,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_4 - P_5) \delta \cdot (2/3 \delta + 12 \delta)) + \\ ((P_6 \cdot \delta) \cdot 11,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_5 - P_6) \delta \cdot (2/3 \delta + 11 \delta)) + \\ ((P_7 \cdot \delta) \cdot 10,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_6 - P_7) \delta \cdot (2/3 \delta + 10 \delta)) + \\ ((P_8 \cdot \delta) \cdot 9,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_7 - P_8) \delta \cdot (2/3 \delta + 9 \delta)) + \\ ((P_9 \cdot \delta) \cdot 8,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_8 - P_9) \delta \cdot (2/3 \delta + 8 \delta)) + \\ ((P_{10} \cdot \delta) \cdot 7,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_9 - P_{10}) \delta \cdot (2/3 \delta + 7 \delta)) + \\ ((P_{11} \cdot \delta) \cdot 6,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{10} - P_{11}) \delta \cdot (2/3 \delta + 6 \delta)) + \\ ((P_{12} \cdot \delta) \cdot 5,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{11} - P_{12}) \delta \cdot (2/3 \delta + 5 \delta)) + \\ ((P_{13} \cdot \delta) \cdot 4,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{12} - P_{13}) \delta \cdot (2/3 \delta + 4 \delta)) + \\ ((P_{14} \cdot \delta) \cdot 3,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{13} - P_{14}) \delta \cdot (2/3 \delta + 3 \delta)) + \\ ((P_{15} \cdot \delta) \cdot 2,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{14} - P_{15}) \delta \cdot (2/3 \delta + 2 \delta)) + \\ ((P_{16} \cdot \delta) \cdot 1,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{15} - P_{16}) \delta \cdot (2/3 \delta + 1 \delta)) + \\ ((P_{17} \cdot \delta) \cdot 0,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{16} - P_{17}) \delta \cdot (2/3 \delta))] = 0$$

$$0+45000 - (9,835P_1+15P_2+14P_3+13P_4+12P_5+11P_6+10P_7 \\ +9P_8+8P_9+7P_{10}+6P_{11}+5P_{12}+4P_{13}+3P_{14}+2P_{15}+1P_{16}+0,165P_{17}) = 0$$

$$3815,98y_1+5820y_2+5432y_3+5044y_4+4656y_5+4268y_6+9312y_7 \\ +8380,8y_8+7449,6y_9+6518,4y_{10}+5587,2y_{11}+5820y_{12}+4656y_{13}+3492y_{14}+2328 \\ y_{15}+1164y_{16}+192,06y_{17}) = 4500 \quad \text{persamaan (21)}$$

Dari persamaan-persamaan sebelumnya diperoleh matriks  $[A] \times [I] = [B]$ .

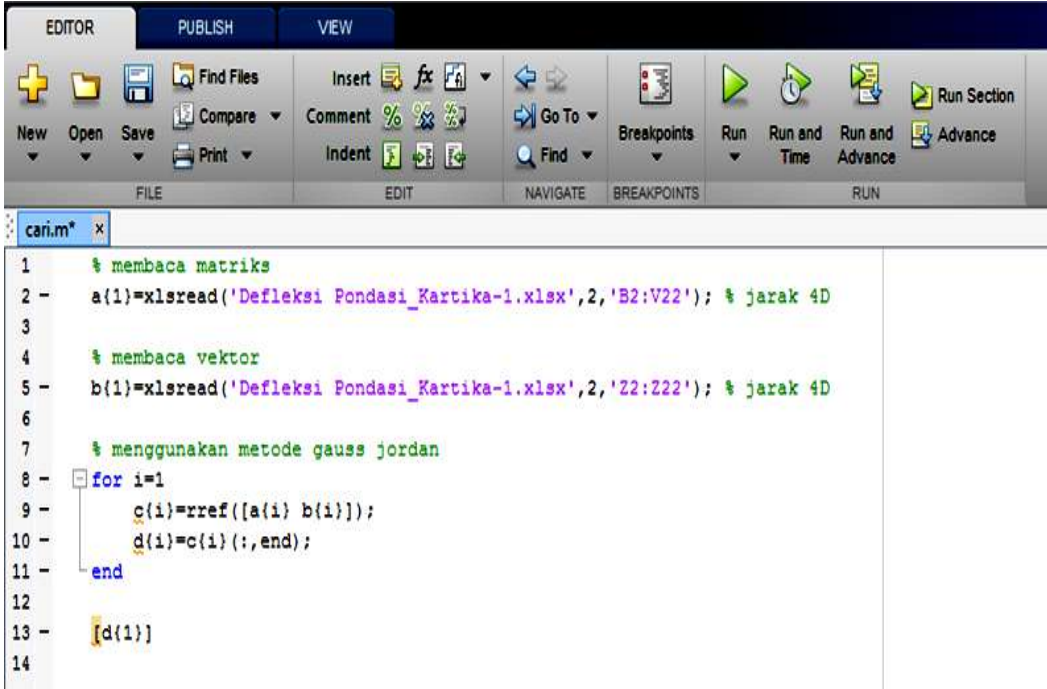
A																				I		B	
y-2	y-1	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	y17	y18	y19			
0	1	-4	6.2586	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-2	0	
0	0	1	-4	6.2586	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-1	0
0	0	0	1	-4	6.2586	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y1	0
0	0	0	0	1	-4	6.2586	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y2	0
0	0	0	0	0	1	-4	6.2586	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y3	0
0	0	0	0	0	0	1	-4	6.6208	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y4	0
0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.6208	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.6208	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.6208	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	y7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.6208	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	y8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.6208	-4	1	0	0	0	0	0	0	y9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.776	-4	1	0	0	0	0	0	y10	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.776	-4	0	0	0	0	0	y11	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.776	-4	0	0	0	0	y12	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.776	-4	1	0	0	y13	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.776	-4	1	0	y14	0.3
-1	2	0	-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y15	0
0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	0	-2	1	y17	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	1	0	0	y18	45
0	0	38.8	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6	186.24	186.24	186.24	186.24	186.24	232.8	232.8	232.8	232.8	232.8	116.4	0	0	0	y19	4500
0	0	3815.98	5820	5432	5044	4656	4268	9312	8380.8	7449.6	6518.4	5587.2	5820	4656	3492	2328	1164	192.06	0	0			

Untuk mencari nilai matriks  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat menggunakan program MATLAB dengan metode eliminasi Gauss -Jordan.

Prinsip penyelesaian dengan eliminasi Gauss-Jordan adalah sebagai berikut ini:

1. memasukkan nilai matriks [A] dan [B] yang membentuk persamaan simultan linear,
2. membentuk matriks gabungan [G] yang merupakan gabungan matriks [A] dan [B],
3. melakukan eliminasi untuk me-nol-kan bagian segitiga bawah dengan segitiga atas matriks, dan
4. melakukan normalisasi segitiga semua elemen dengan matriks sama dengan satu.

Berikut ini adalah data yang diinput ke dalam program matematika untuk mendapatkan nilai  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat dilihat pada Gambar 5.12.



```

1  % membaca matriks
2  a{1}=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',2,'B2:V22'); % jarak 4D
3
4  % membaca vektor
5  b{1}=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',2,'Z2:Z22'); % jarak 4D
6
7  % menggunakan metode gauss jordan
8  for i=1
9      c{i}=rref([a{i} b{i}]);
10     d{i}=c{i}(:,end);
11 end
12
13 [d{1}]
14

```

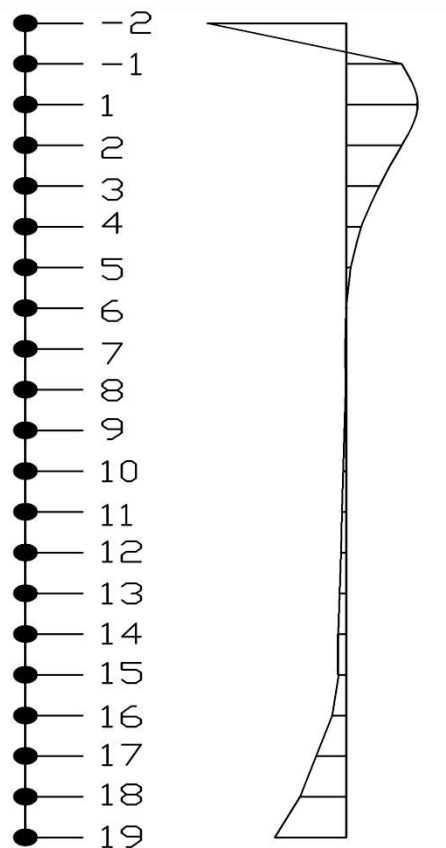
**Gambar 5.12 Printah Pada MATLAB Kelompok Tiang Jarak 4D**



Dari hasil program diperoleh:

$y_{-2} = -0,2430$ cm (Fiktif)	$y_6 = -0,0010$ cm	$y_{13} = 0,0132$ cm
$y_{-1} = 0,0960$ cm (Fiktif)	$y_7 = -0,0027$ cm	$y_{14} = 0,0144$ cm
$y_1 = 0,1238$ cm	$y_8 = -0,0017$ cm	$y_{15} = -0,0137$ cm
$y_2 = 0,0960$ cm	$y_9 = -0,0007$ cm	$y_{16} = -0,0255$ cm
$y_3 = 0,0570$ cm	$y_{10} = -0,0044$ cm	$y_{17} = -0,0533$ cm
$y_4 = 0,0258$ cm	$y_{11} = 0,0087$ cm	$y_{18} = -0,0811$ cm (Fiktif)
$y_5 = 0,0072$ cm	$y_{12} = 0,0101$ cm	$y_{19} = -0,1251$ cm (Fiktif)

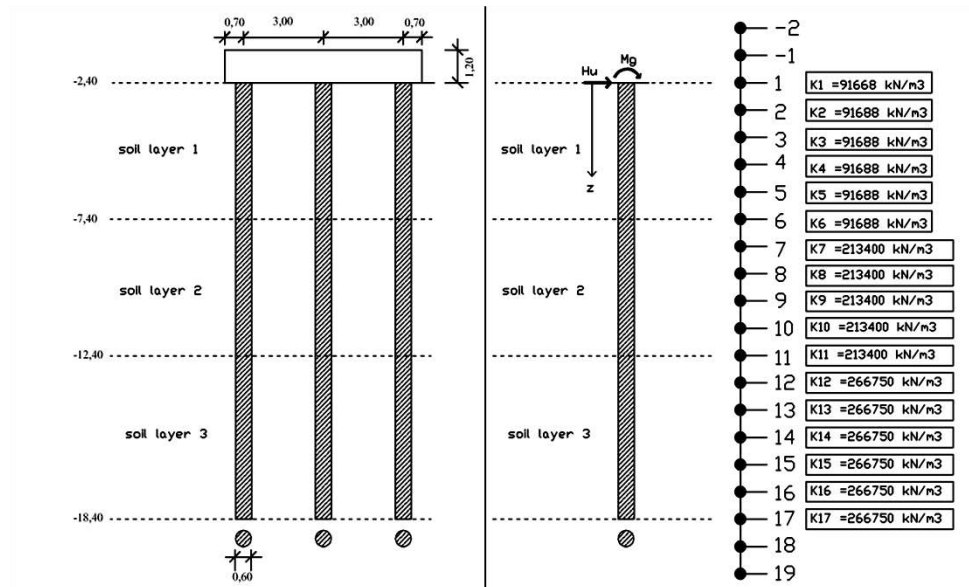
Pergerakan pondasi kelompok tiang jarak 4D dengan kondisi kepala tiang terjepit dapat dilihat pada Gambar 5.13.



**Gambar 5.13 Pergerakan Pondasi Kelompok Tiang Jarak 4D Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X**

5. Metoda *finite difference* untuk kelompok tiang jarak 5D

Analisa *Finite Difference* untuk kelompok tiang akibat beban lateral arah sumbu X dapat dilihat pada Gambar 5.14.



**Gambar 5.14** *Finite Difference* untuk Kelompok Tiang Jarak 5D dengan Beban Lateral Arah Sumbu X

$$\text{Faktor reduksi } k_h = 0,55$$

$$\text{Faktor reduksi } H_u = 0,64$$

$$d = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

$$L = 16 \text{ m} = 1600 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$H_u = 576 \text{ kN} = 57600 \text{ kg}$$

$$M_g = 0 \text{ (momen dipermukaan pondasi)}$$

$$n = \frac{L}{\delta} = \frac{1600}{100} = 16$$

Kekuatan karakteristik tiang

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

Modulus elastis tiang

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c'}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4700 \times \sqrt{25} \\
 &= 23500 \text{ Mpa} \\
 &= 23500000 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 235000 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Momen inersia

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\
 &= \frac{1}{64} \times \pi \times 0,6^4 \\
 &= 0,0063617 \text{ m}^4 \\
 &= 636200 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + \alpha_i y_i - 4y_{i-1} + y_{i+2} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times L^4 \times d}{E_p \times I_p \times n^4} \\
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times 1600^4 \times 60}{235000 \times 636200 \times 16^4}
 \end{aligned}$$

$$\alpha_i = 6 + 0,04 \times K_i$$

Titik 2 s/d 6

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 9,1668 \\
 &= 6,3667
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,3667y_i - 4y_{i-1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (1) s/d (5)

Titik 7 s/d 11

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 21,34 \\
 &= 6,8536
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,8536y_i - 4y_{i-1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (6) s/d (10)

Titik 12 s/d 16

$$\alpha_i = 6 + 0,04 \times K_i$$

$$= 6 + 0,04 \times 26,675$$

$$= 7,0670$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 7,0670y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (11) s/d (15)

### Kepala tiang terjepit

$$H_u = 576 \text{ kN} = 57600 \text{ kg}$$

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = 0$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{H_u \times L^3}{E_p \times I_p \times n^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{57600 \times 1600^3}{235000 \times 636200 \times 16^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = 0,385$$

persamaan (16)

b. Rotasi

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{dy}{dz} \right) = 0$$

$$y_2 + y_{-1} = 0$$

persamaan (17)

### Syarat batas pada dasar tiang:

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = H_u$$

$$-y_{n-1} + 2y_n - 2y_{n+2} + y_{n+3} = 0$$

$$-y_{15} + 2y_{16} - 2y_{18} + y_{19} = 0$$

persamaan (18)

b. Momen

$$y_n - 2y_{n+1} + y_{n+2} = 0$$

$$y_{16} - 2y_{17} + y_{18} = 0$$

persamaan (19)

$$P_i = K_i \times y_i \times d$$

$$P_{1s/d} P_6 = 9,1668 \times y_i \times 60 = 550y_i$$

$$P_{7s/d} P_{11} = 21,3400 \times y_i \times 60 = 1280,4y_i$$

$$P_{12s/d} P_{17} = 26,6750 \times y_i \times 60 = 1600,5y_i$$

$$\sum H = 0$$

$$Hu - (P_1+2P_2+2P_3+2P_4+2P_5+2P_6+2P_7+2P_8+2P_9+2P_{10}+2P_{11}+2P_{12}+2P_{13}+2P_{14}+2P_{15}+2P_{16}+P_{17}) = 0$$

$$57600 - (550y_1+1100y_2+1100y_3+1100y_4+1100y_5+1100y_6+2560,8y_7+2560,8y_8+2560,8y_9+2560,8y_{10}+2560,8y_{11}+3201y_{12}+3201y_{13}+3201y_{14}+3201y_{15}+3201y_{16}+1600,5y_{17}) = 0$$

$$(55y_1+110y_2+110y_3+110y_4+110y_5+110y_6+256,08y_7+256,08y_8+256,08y_9+256,08y_{10}+256,08y_{11}+320,1y_{12}+320,1y_{13}+320,1y_{14}+320,1y_{15}+320,1y_{16}+160,05y_{17}) = 57,6 \quad \text{persamaan (20)}$$

$$\sum M_{17} = 0$$

$$\begin{aligned} Mg + Hu - & [((P_2 \cdot \delta) \cdot 15,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_1 - P_2) \delta \cdot (2/3 \delta + 15 \delta)) + \\ & ((P_3 \cdot \delta) \cdot 14,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_2 - P_3) \delta \cdot (2/3 \delta + 14 \delta)) + \\ & ((P_4 \cdot \delta) \cdot 13,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_3 - P_4) \delta \cdot (2/3 \delta + 13 \delta)) + \\ & ((P_5 \cdot \delta) \cdot 12,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_4 - P_5) \delta \cdot (2/3 \delta + 12 \delta)) + \\ & ((P_6 \cdot \delta) \cdot 11,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_5 - P_6) \delta \cdot (2/3 \delta + 11 \delta)) + \\ & ((P_7 \cdot \delta) \cdot 10,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_6 - P_7) \delta \cdot (2/3 \delta + 10 \delta)) + \\ & ((P_8 \cdot \delta) \cdot 9,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_7 - P_8) \delta \cdot (2/3 \delta + 9 \delta)) + \\ & ((P_9 \cdot \delta) \cdot 8,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_8 - P_9) \delta \cdot (2/3 \delta + 8 \delta)) + \\ & ((P_{10} \cdot \delta) \cdot 7,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_9 - P_{10}) \delta \cdot (2/3 \delta + 7 \delta)) + \\ & ((P_{11} \cdot \delta) \cdot 6,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{10} - P_{11}) \delta \cdot (2/3 \delta + 6 \delta)) + \\ & ((P_{12} \cdot \delta) \cdot 5,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{11} - P_{12}) \delta \cdot (2/3 \delta + 5 \delta)) + \\ & ((P_{13} \cdot \delta) \cdot 4,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{12} - P_{13}) \delta \cdot (2/3 \delta + 4 \delta)) + \\ & ((P_{14} \cdot \delta) \cdot 3,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{13} - P_{14}) \delta \cdot (2/3 \delta + 3 \delta)) + \\ & ((P_{15} \cdot \delta) \cdot 2,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{14} - P_{15}) \delta \cdot (2/3 \delta + 2 \delta)) + \\ & ((P_{16} \cdot \delta) \cdot 1,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{15} - P_{16}) \delta \cdot (2/3 \delta + 1 \delta)) + \\ & ((P_{17} \cdot \delta) \cdot 0,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{16} - P_{17}) \delta \cdot (2/3 \delta))] = 0 \end{aligned}$$

$$0+18131,2 - (9,835P_1+15P_2+14P_3+13P_4+12P_5+11P_6+10P_7 \\ +9P_8+8P_9+7P_{10}+6P_{11}+5P_{12}+4P_{13}+3P_{14}+2P_{15}+1P_{16}+0,165P_{17}) = 0$$

$$5409,25y_1+8250y_2+7700y_3+7150y_4+6600y_5+6050y_6+128,04y_7 \\ +11523,6y_8+10243,2y_9+8962,8y_{10}+7682,4y_{11}+8002,5y_{12}+6402y_{13}+4801,5y_{14} \\ +3201y_{15}+1600,5y_{16}+264,085y_{17}) = 5760 \quad \text{persamaan (21)}$$

Dari persamaan-persamaan sebelumnya diperoleh matriks  $[A] \times [I] = [B]$ .

A																				I		B	
y-2	y-1	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	y17	y18	y19			
0	1	-4	6.3667	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-2	0	
0	0	1	-4	6.3667	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-1	0
0	0	0	1	-4	6.3667	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y1	0
0	0	0	0	1	-4	6.3667	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y2	0
0	0	0	0	0	1	-4	6.3667	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y3	0
0	0	0	0	0	0	1	-4	6.8536	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y4	0
0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.8536	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.8536	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.8536	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	y7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6.8536	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	y8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.067	-4	1	0	0	0	0	0	0	y9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.067	-4	1	0	0	0	0	0	y10	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.067	-4	1	0	0	0	0	y11	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.067	-4	1	0	0	0	y12	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.067	-4	1	0	0	y13	0
-1	2	0	-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y14	0.385
0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y15	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	0	-2	1	0	y16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	1	0	0	y17	0
0	0	55	110	110	110	110	110	256.08	256.08	256.08	256.08	256.08	320.1	320.1	320.1	320.1	320.1	160.05	0	0	0	y18	57.6
0	0	5409.25	8250	7700	7150	6600	6050	12804	11523.6	10243.2	8962.8	7682.5	8002.5	6402	4801.5	3201	1600.5	264.085	0	0	0	y19	5760

X =

Untuk mencari nilai matriks  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat menggunakan program MATLAB dengan metode eliminasi Gauss -Jordan.

Prinsip penyelesaian dengan eliminasi Gauss-Jordan adalah sebagai berikut ini:

1. memasukkan nilai matriks [A] dan [B] yang membentuk persamaan simultan linear,
2. membentuk matriks gabungan [G] yang merupakan gabungan matriks [A] dan [B],
3. melakukan eliminasi untuk me-nol-kan bagian segitiga bawah dengan segitiga atas matriks, dan
4. melakukan normalisasi segitiga semua elemen dengan matriks sama dengan satu.

Berikut ini adalah data yang diinput ke dalam program matematika untuk mendapatkan nilai  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat dilihat pada Gambar 5.15.

```

1 % membaca matriks
2 - a{1}=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',3,'B2:V22'); % jarak 5D
3
4 % membaca vektor
5 - b{1}=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',3,'Z2:Z22'); % jarak 5D
6
7 % menggunakan metode gauss jordan
8 - for i=1
9 -     c{i}=rref([a{i} b{i}]);
10 -    d{i}=c{i}(:,end);
11 - end
12
13 - [d{1}]
14

```

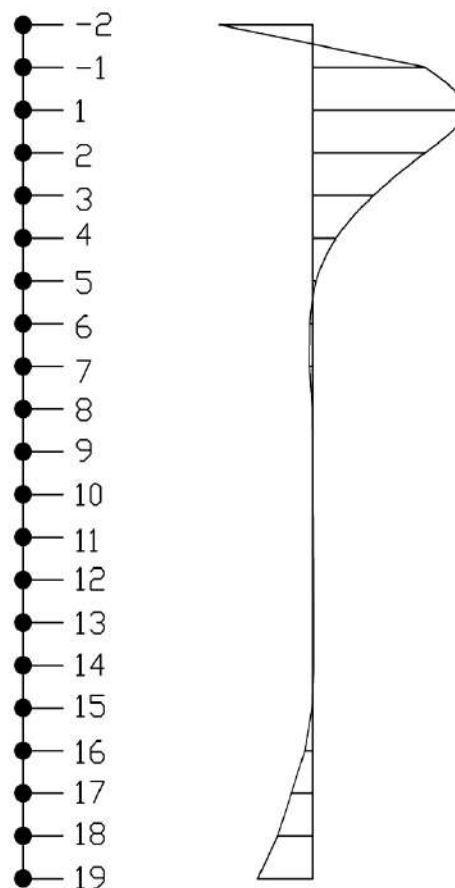
**Gambar 5.15 Printah Pada MATLAB Kelompok Tiang Jarak 5D**



Dari hasil program diperoleh:

$y_{-2} = -0,2333$ cm (Fiktif)	$y_6 = -0,0082$ cm	$y_{13} = 0,0026$ cm
$y_{-1} = 0,2802$ cm (Fiktif)	$y_7 = -0,0087$ cm	$y_{14} = 0,0027$ cm
$y_1 = 0,3788$ cm	$y_8 = -0,0049$ cm	$y_{15} = -0,0024$ cm
$y_2 = 0,2802$ cm	$y_9 = -0,0018$ cm	$y_{16} = -0,0196$ cm
$y_3 = 0,1517$ cm	$y_{10} = -0,0002$ cm	$y_{17} = -0,0534$ cm
$y_4 = 0,0582$ cm	$y_{11} = 0,0007$ cm	$y_{18} = -0,0871$ cm (Fiktif)
$y_5 = 0,0089$ cm	$y_{12} = 0,0015$ cm	$y_{19} = -0,1374$ cm (Fiktif)

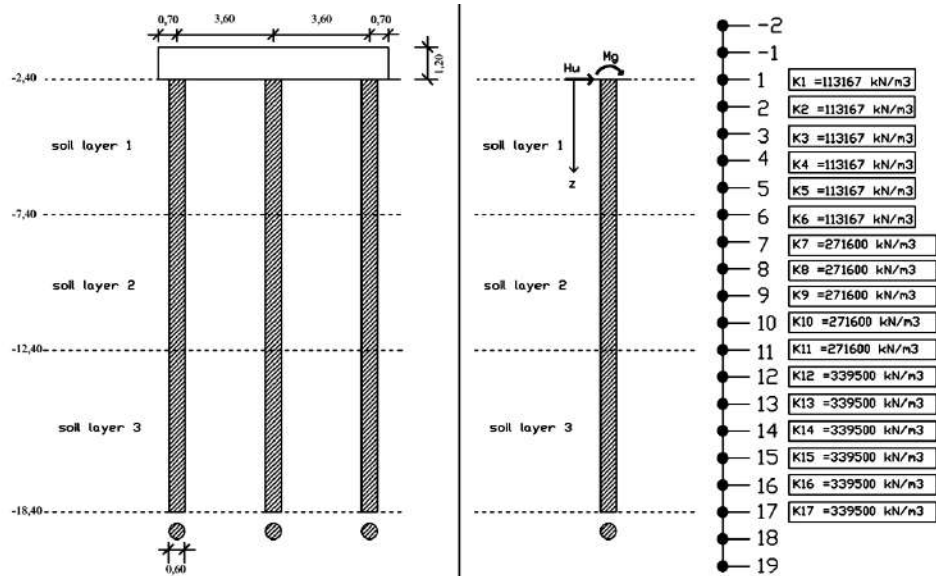
Pergerakan pondasi kelompok tiang jarak 5D dengan kondisi kepala tiang terjepit dapat dilihat pada Gambar 5.16.



**Gambar 5.16 Pergerakan Pondasi Kelompok Tiang Jarak 5D Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X**

5. Metoda *Finite Difference* untuk kelompok tiang jarak 6D

Analisa *Finite Difference* untuk kelompok tiang akibat beban lateral arah sumbu X dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 *Finite Difference* untuk Kelompok Tiang Jarak 6D dengan Beban Lateral Arah Sumbu X

Faktor reduksi  $k_h$  = 0,70

Faktor reduksi  $H_u$  = 0,78

$d$  = 0,6 m = 60 cm

$L$  = 16 m = 1600 cm

$\delta$  = 1 m = 100 cm

$H_u$  = 702 = 70200 kg

$M_g$  = 0 (momen dipermukaan pondasi)

$$n = \frac{L}{\delta} = \frac{1600}{100} = 16$$

Kekuatan karakteristik tiang

$f_c' = 25$  Mpa

Modulus elastis tiang

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c'} \\ = 4700 \times \sqrt{25}$$

$$\begin{aligned}
 &= 23500 \text{ Mpa} \\
 &= 23500000 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 235000 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Momen inersia

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\
 &= \frac{1}{64} \times \pi \times 0,6^4 \\
 &= 0,0063617 \text{ m}^4 \\
 &= 636200 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + \alpha_i y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times L^4 \times d}{E_p \times I_p \times n^4} \\
 \alpha_i &= 6 + \frac{K_i \times 1600^4 \times 60}{235000 \times 636200 \times 16^4} \\
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i
 \end{aligned}$$

Titik 2 s/d 6

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 11,3167 \\
 &= 6,4527
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6,4527y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (1) s/d (5)

Titik 7 s/d 11

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 27,16 \\
 &= 7,0864
 \end{aligned}$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 7,0864 - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0$$

persamaan (6) s/d (10)

Titik 12 s/d 16

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= 6 + 0,04 \times K_i \\
 &= 6 + 0,04 \times 33,95
 \end{aligned}$$

$$= 7,0670$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 7,0670y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0 \quad \text{persamaan (11) s/d (15)}$$

### Kepala tiang terjepit

$$H_u = 702 \text{ kN} = 70200 \text{ kg}$$

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = 0$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{H_u \times L^3}{E_p \times I_p \times n^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = \frac{70200 \times 1600^3}{235000 \times 636200 \times 16^3}$$

$$-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_2 + y_3 = 0,469 \quad \text{persamaan (16)}$$

b. Rotasi

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{dy}{dz} \right) = 0$$

$$y_2 + y_{-1} = 0 \quad \text{persamaan (17)}$$

### Syarat batas pada dasar tiang:

a. Geser

$$E_p \times I_p \times \left( \frac{d^3 y}{dz^3} \right) = H_u$$

$$-y_{n-1} + 2y_n - 2y_{n+2} + y_{n+3} = 0$$

$$-y_{15} + 2y_{16} - 2y_{18} + y_{19} = 0 \quad \text{persamaan (18)}$$

b. Momen

$$y_n - 2y_{n+1} + y_{n+2} = 0$$

$$y_{16} - 2y_{17} + y_{18} = 0 \quad \text{persamaan (19)}$$

$$P_i = K_i \times y_i \times d$$

$$P_{1s/d} P_6 = 11,3167 \times y_i \times 60 = 679y_i$$

$$P_{7s/d} P_{11} = 27,1600 \times y_i \times 60 = 1630y_i$$

$$P_{12s/d} P_{17} = 33,9500 \times y_i \times 60 = 2037y_i$$

$$\sum H = 0$$

$$Hu - (P_1+2P_2+2P_3+2P_4+2P_5+2P_6+2P_7+2P_8+2P_9+2P_{10}+2P_{11}+2P_{12}+2P_{13}+2P_{14}+2P_{15}+2P_{16}+P_{17}) = 0$$

$$70200 - (679y_1+1342y_2+1342y_3+1342y_4+1342y_5+1342y_6+3260y_7+3260y_8+3260y_9+3260y_{10}+3260y_{11}+4074y_{12}+4074y_{13}+4074y_{14}+4074y_{15}+4074y_{16}+2037y_{17}) = 0$$

$$(67,9y_1+134,2y_2+134,2y_3+134,2y_4+134,2y_5+134,2y_6+326y_7+326y_8+326y_9+326y_{10}+326y_{11}+407,4y_{12}+407,4y_{13}+407,4y_{14}+407,4y_{15}+407,4y_{16}+203,7y_{17}) = 70,2 \quad \text{persamaan (20)}$$

$$\sum M_{17} = 0$$

$$\begin{aligned} Mg + Hu. - [ & ((P_2 \cdot \delta) \cdot 15,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_1 - P_2) \delta \cdot (2/3 \delta + 15 \delta)) + \\ & ((P_3 \cdot \delta) \cdot 14,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_2 - P_3) \delta \cdot (2/3 \delta + 14 \delta)) + \\ & ((P_4 \cdot \delta) \cdot 13,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_3 - P_4) \delta \cdot (2/3 \delta + 13 \delta)) + \\ & ((P_5 \cdot \delta) \cdot 12,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_4 - P_5) \delta \cdot (2/3 \delta + 12 \delta)) + \\ & ((P_6 \cdot \delta) \cdot 11,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_5 - P_6) \delta \cdot (2/3 \delta + 11 \delta)) + \\ & ((P_7 \cdot \delta) \cdot 10,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_6 - P_7) \delta \cdot (2/3 \delta + 10 \delta)) + \\ & ((P_8 \cdot \delta) \cdot 9,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_7 - P_8) \delta \cdot (2/3 \delta + 9 \delta)) + \\ & ((P_9 \cdot \delta) \cdot 8,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_8 - P_9) \delta \cdot (2/3 \delta + 8 \delta)) + \\ & ((P_{10} \cdot \delta) \cdot 7,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_9 - P_{10}) \delta \cdot (2/3 \delta + 7 \delta)) + \\ & ((P_{11} \cdot \delta) \cdot 6,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{10} - P_{11}) \delta \cdot (2/3 \delta + 6 \delta)) + \\ & ((P_{12} \cdot \delta) \cdot 5,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{11} - P_{12}) \delta \cdot (2/3 \delta + 5 \delta)) + \\ & ((P_{13} \cdot \delta) \cdot 4,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{12} - P_{13}) \delta \cdot (2/3 \delta + 4 \delta)) + \\ & ((P_{14} \cdot \delta) \cdot 3,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{13} - P_{14}) \delta \cdot (2/3 \delta + 3 \delta)) + \\ & ((P_{15} \cdot \delta) \cdot 2,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{14} - P_{15}) \delta \cdot (2/3 \delta + 2 \delta)) + \\ & ((P_{16} \cdot \delta) \cdot 1,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{15} - P_{16}) \delta \cdot (2/3 \delta + 1 \delta)) + \\ & ((P_{17} \cdot \delta) \cdot 0,5 \delta) + (0,5 \cdot (P_{16} - P_{17}) \delta \cdot (2/3 \delta)) ] = 0 \end{aligned}$$

$$0+22097,4 - (9,835P_1+15P_2+14P_3+13P_4+12P_5+11P_6+10P_7 \\ +9P_8+8P_9+7P_{10}+6P_{11}+5P_{12}+4P_{13}+3P_{14}+2P_{15}+1P_{16}+0,165P_{17}) = 0$$

$$6678y_1+10185y_2+9506y_3+8827y_4+8148y_5+7469y_6+16300y_7 \\ +14670y_8+13040y_9+11410y_{10}+9780y_{11}+10185y_{12}+8148y_{13}+6111y_{14}+4074y_{15} \\ +2037y_{16}+330,105y_{17}) = 2209,7 \quad \text{persamaan (21)}$$

Dari persamaan-persamaan sebelumnya diperoleh matriks  $[A] \times [I] = [B]$ .

A																					I		B	
y-2	y-1	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	y17	y18	y19				
0	1	-4	6.4527	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-2	0		
0	0	1	-4	6.4527	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y-1	0	
0	0	0	1	-4	6.4527	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y1	0	
0	0	0	0	1	-4	6.4527	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y2	0	
0	0	0	0	0	1	-4	6.4527	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y3	0	
0	0	0	0	0	0	1	-4	7.0864	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y4	0	
0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.0864	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y5	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.0864	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y6	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.0864	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	y7	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.0864	-4	1	0	0	0	0	0	0	0	y8	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.0864	-4	1	0	0	0	0	0	0	y9	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.358	-4	1	0	0	0	0	0	y10	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.358	-4	1	0	0	0	0	y11	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.358	-4	1	0	0	0	y12	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.358	-4	1	0	0	y13	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	7.358	-4	1	0	y14	0.466	
0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	y15	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	0	-2	1	y16	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	1	0	0	y17	0	
0	0	68	134.2	134.2	134.2	134.2	134.2	326	326	326	326	326	407.4	407.4	407.4	407.4	407.4	203.7	0	0	0	y18	70.2	
0	0	6678	10185	9506	8827	8148	7469	16300	14670	13040	11410	9780	10185	8148	6111	4074	2037	330.105	0	0	0	y19	7020	

X =

Untuk mencari nilai matriks  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat menggunakan program MATLAB dengan metode eliminasi Gauss -Jordan.

Prinsip penyelesaian dengan eliminasi Gauss-Jordan adalah sebagai berikut ini:

1. memasukkan nilai matriks [A] dan [B] yang membentuk persamaan simultan linear,
2. membentuk matriks gabungan [G] yang merupakan gabungan matriks [A] dan [B],
3. melakukan eliminasi untuk me-nol-kan bagian segitiga bawah dengan segitiga atas matriks, dan
4. melakukan normalisasi segitiga semua elemen dengan matriks sama dengan satu.

Berikut ini adalah data yang diinput ke dalam program matematika untuk mendapatkan nilai  $y_{-2}$ ,  $y_{-1}$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $y_6$ ,  $y_7$ ,  $y_8$ ,  $y_9$ ,  $y_{10}$ ,  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $y_{14}$ ,  $y_{15}$ ,  $y_{16}$ ,  $y_{17}$ ,  $y_{18}$ ,  $y_{19}$  dapat dilihat pada Gambar 5.18.

```

1 % membaca matriks
2 - a{1}=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',4,'B2:V22'); % jarak 6D
3
4 % membaca vektor
5 - b{1}=xlsread('Defleksi Pondasi_Kartika-1.xlsx',4,'Z2:Z22'); % jarak 6D
6
7 % menggunakan metode gauss jordan
8 - for i=1
9     c{i}=rref([a{i} b{i}]);
10    d{i}=c{i}(:,end);
11 - end
12
13 - [d{1}]
14

```

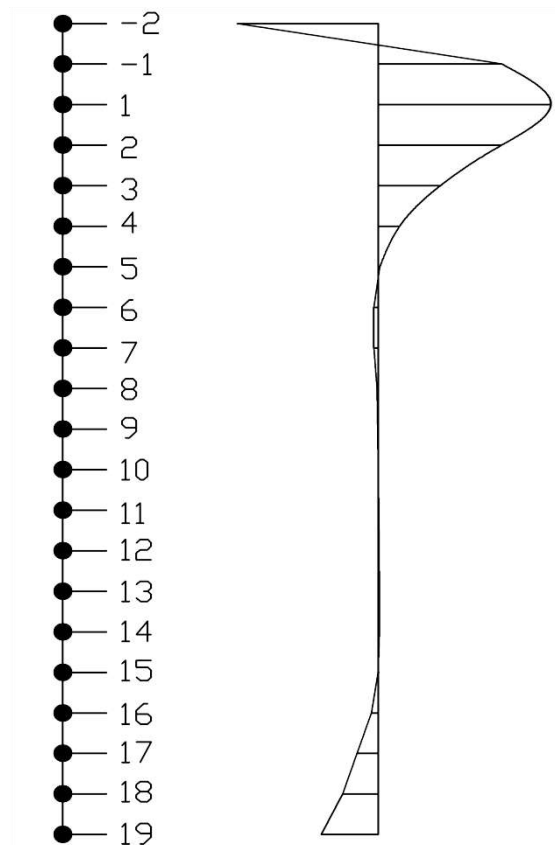
**Gambar 5.18 Printah Pada MATLAB Kelompok Tiang Jarak 6D**



Dari hasil program diperoleh:

$y_{-2} = -0,3229$ cm (Fiktif)	$y_6 = -0,0104$ cm	$y_{13} = 0,0020$ cm
$y_{-1} = 0,2816$ cm (Fiktif)	$y_7 = -0,0082$ cm	$y_{14} = 0,0025$ cm
$y_1 = 0,3937$ cm	$y_8 = -0,0037$ cm	$y_{15} = -0,0013$ cm
$y_2 = 0,2816$ cm	$y_9 = -0,0009$ cm	$y_{16} = -0,0166$ cm
$y_3 = 0,1431$ cm	$y_{10} = -0,0001$ cm	$y_{17} = -0,0491$ cm
$y_4 = 0,0482$ cm	$y_{11} = 0,0005$ cm	$y_{18} = -0,0815$ cm (Fiktif)
$y_5 = 0,0026$ cm	$y_{12} = 0,0010$ cm	$y_{19} = -0,1310$ cm (Fiktif)

Pergerakan pondasi kelompok tiang jarak 6D dengan kondisi kepala tiang terjepit dapat dilihat pada Gambar 5.19.



**Gambar 5.19 Pergerakan Pondasi Kelompok Tiang Jarak 6D Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral Arah Sumbu X**

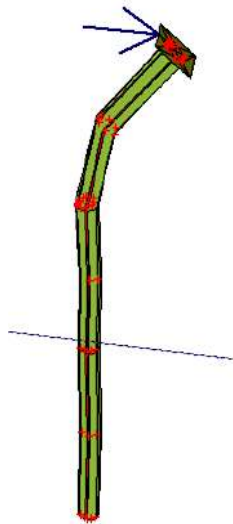
## 5.4.2 Metode Elemen Hingga Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6

### 5.4.2.1 Pergerakan Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral Berdasarkan Defleksi Ijin

#### 1. Tiang Tunggal

Hasil *trial and error* beban lateral untuk mendapatkan pergerakan maksimum di kepala tiang sebesar 6 mm kondisi kepala tiang terjepit (*fixed head pile*) adalah 900 kN.

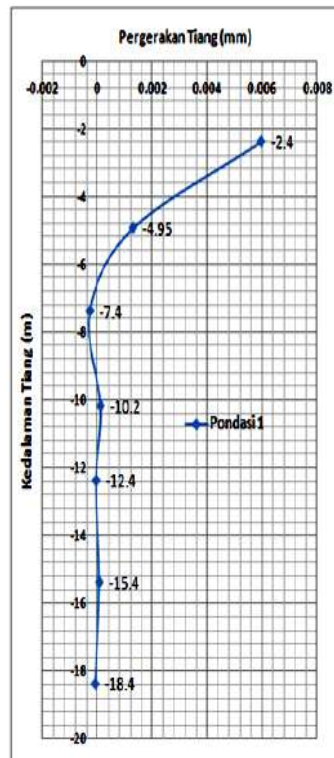
Hasil simulasi pergerakan pondasi tiang tunggal kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat dilihat pada Gambar 5.20.



**Gambar 5.20 Hasil Simulasi Pergerakan Tiang Tunggal Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

Hasil simulasi pergerakan tiang tunggal kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 diperoleh data berupa pergerakan tiang. Data tersebut dimasukkan kedalam grafik.

Grafik pergerakan tiang tunggal kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.21.



**Gambar 5.21 Pergerakan Tiang Tunggal Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

## 2. Kelompok Tiang

Pada kelompok tiang dilakukan perhitungan faktor efisiensi untuk berbagai jarak antar tiang dalam suatu kelompok tiang diantaranya jarak  $4D$ ,  $5D$ , dan  $6D$ . Perhitungan faktor efisiensi kelompok tiang juga dilakukan untuk berbagai jumlah tiang yaitu 3, 6, dan 9. Berbagai nilai modulus elastisitas tanah juga digunakan untuk perhitungan faktor efisiensi kelompok tiang. Perhitungan faktor efisiensi kelompok tiang dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6.

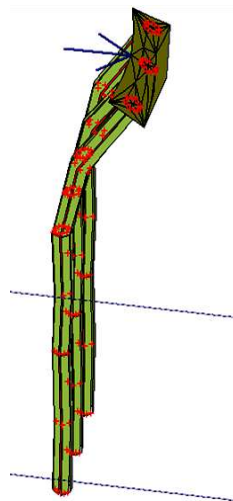
- a. Kelompok tiang dengan jumlah 3 tiang

Hasil *trial and error* beban lateral kelompok tiang untuk mendapatkan pergerakan maksimum di kepala tiang sebesar 6 mm dapat dilihat pada Tabel 5.6.

**Tabel 5.6 Beban Lateral Pondasi Kelompok 3 Tiang**

Jarak Antar Tiang	Pergerakan maksimum di kepala tiang (mm)	Beban lateral kelompok tiang (kN)	Beban lateral tiang tunggal (kN)
4D	6	2228	742,6
5D	6	2390	796,6
6D	6	2580	860

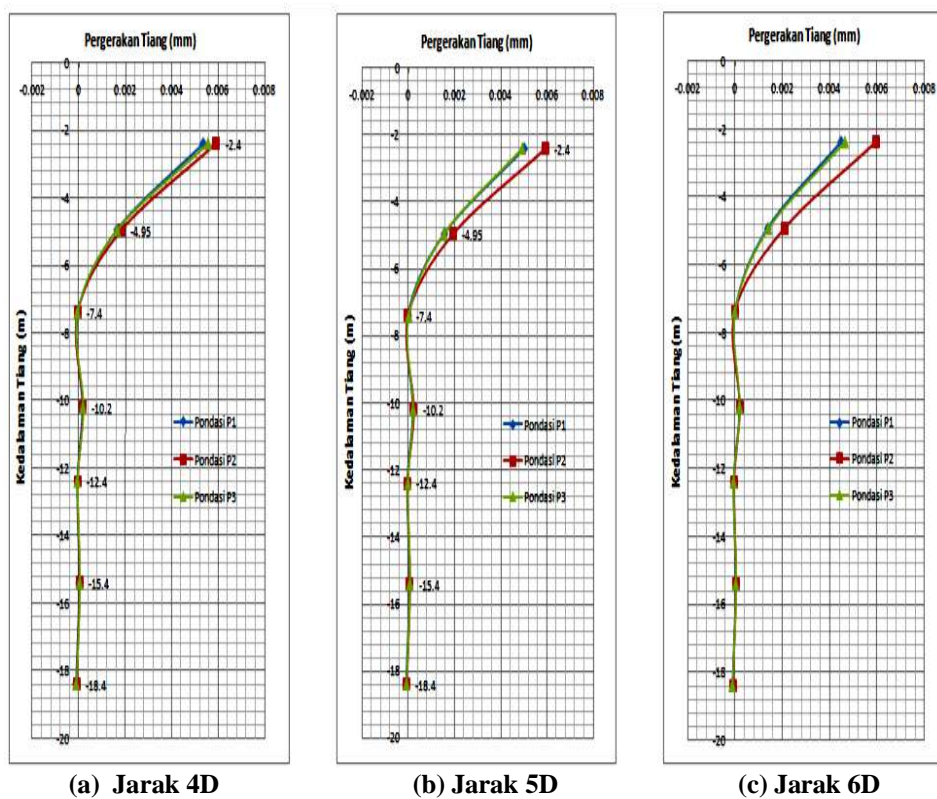
Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 menghasilkan pergerakan kelompok tiang akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.22.



**Gambar 5.22 Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Kelompok 3 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

Dari hasil simulasi pergerakan kelompok tiang kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 diperoleh data berupa pergerakan tiang. Data tersebut dimasukkan kedalam grafik.

Grafik pergerakan kelompok tiang dengan kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.23.



**Gambar 5.23 Pergerakan Pondasi Kelompok 3 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

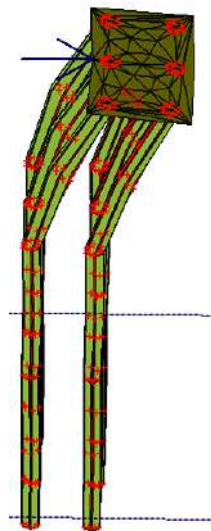
- b. Kelompok tiang dengan jumlah 6 tiang

Hasil *trial and error* beban lateral kelompok tiang untuk mendapatkan pergerakan maksimum di kepala tiang sebesar 6 mm dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.7 Beban Lateral Pondasi Kelompok 6 Tiang**

Jarak Antar Tiang (m)	Pergerakan maksimum di kepala tiang (mm)	Beban lateral kelompok tiang (kN)	Beban lateral tiang tunggal (kN)
4D	6	3320	553,3
5D	6	3760	626,6
6D	6	4235	705,8

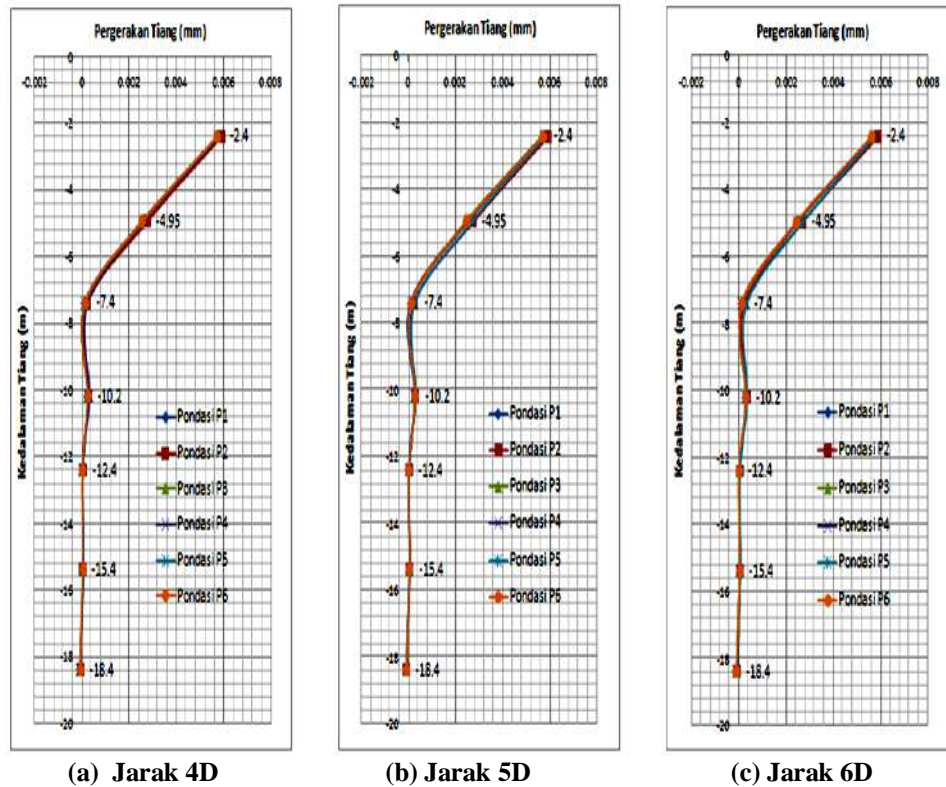
Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 menghasilkan pergerakan kelompok tiang akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.24.



**Gambar 5.24 Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Kelompok 6 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

Dari hasil simulasi pergerakan kelompok tiang kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 diperoleh data berupa pergerakan tiang. Data tersebut dimasukkan kedalam grafik.

Grafik pergerakan kelompok tiang dengan kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.25.



**Gambar 5.25 Pergerakan Pondasi Kelompok 6 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

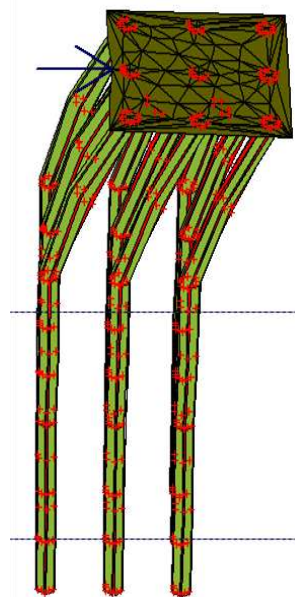
c. Kelompok tiang dengan jumlah 9 tiang

Hasil *trial and error* beban lateral kelompok tiang untuk mendapatkan pergerakan maksimum di kepala tiang sebesar 6 mm dapat dilihat pada Tabel 5.8.

**Tabel 5.8 Beban Lateral Pondasi Kelompok 9 Tiang**

Jarak Antar Tiang (m)	Pergerakan maksimum di kepala tiang (mm)	Beban lateral kelompok tiang (kN)	Beban lateral tiang tunggal (kN)
4D	6	4105	456,1
5D	6	4740	526,6
6D	6	5270	585,5

Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 menghasilkan pergerakan kelompok tiang akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.26.

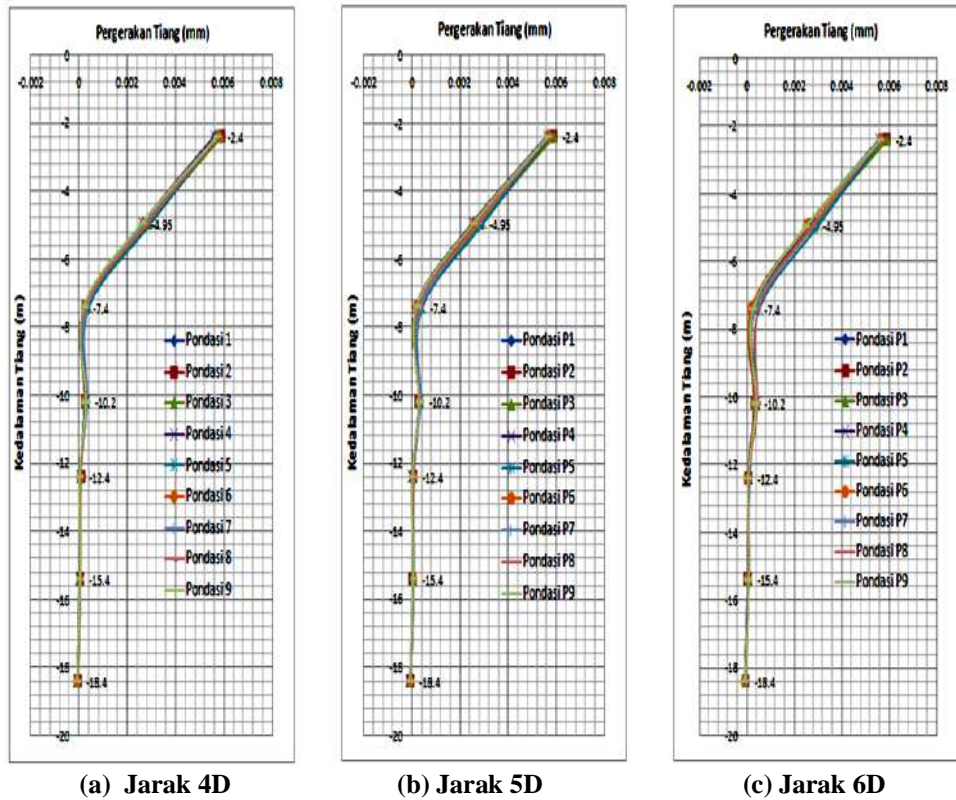


**Gambar 5.26 Hasil Simulasi Pergerakan Pondasi Kelompok 9 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

Dari hasil simulasi pergerakan kelompok tiang kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 diperoleh data berupa pergerakan tiang. Data tersebut dimasukkan kedalam grafik.



Grafik pergerakan kelompok tiang dengan kondisi kepala tiang terjepit akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 5.27.



**Gambar 5.27 Pergerakan Pondasi Kelompok 9 Tiang Kondisi Kepala Tiang Terjepit Akibat Beban Lateral**

#### 5.4.2.2 Gaya-gaya Internal Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral

##### Berdasarkan Defleksi Ijin

Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat memperoleh gaya-gaya dalam tiang tunggal dan kelompok tiang yang berupa momen lentur ( $M$ ), gaya geser ( $Q$ ), dan gaya aksial ( $N$ ) yang bekerja pada pondasi. Besarnya gaya-gaya internal yang terjadi pada pondasi tiang bergantung pada letak pondasi tiang terhadap arah beban yang bekerja. Namun pada penelitian ini akan membahas mengenai momen lentur ( $M$ ) yang bekerja pada pondasi berdasarkan defleksi ijin.

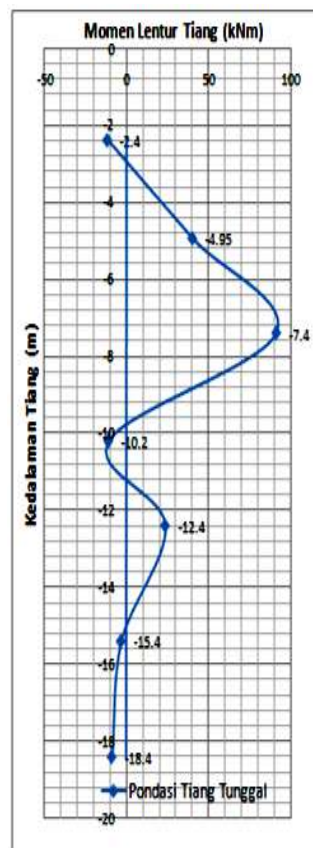
### 5.4.2.3 Momen Lentur Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral

Besarnya momen lentur maksimum pada pondasi tiang tunggal dapat dilihat pada Tabel 5.9.

**Tabel 5.9 Momen Lentur Maksimum Pondasi Tiang Tunggal**

	Momen Lentur Maksimum (kNm)	
	Momen Positif	Momen Negatif
Tiang Tunggal	+ 91,166	- 11,835

Hasil simulasi program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah diagram momen lentur pondasi tiang tunggal dapat dilihat pada Gambar 5.28.



**Gambar 5.28 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Tiang Tunggal**

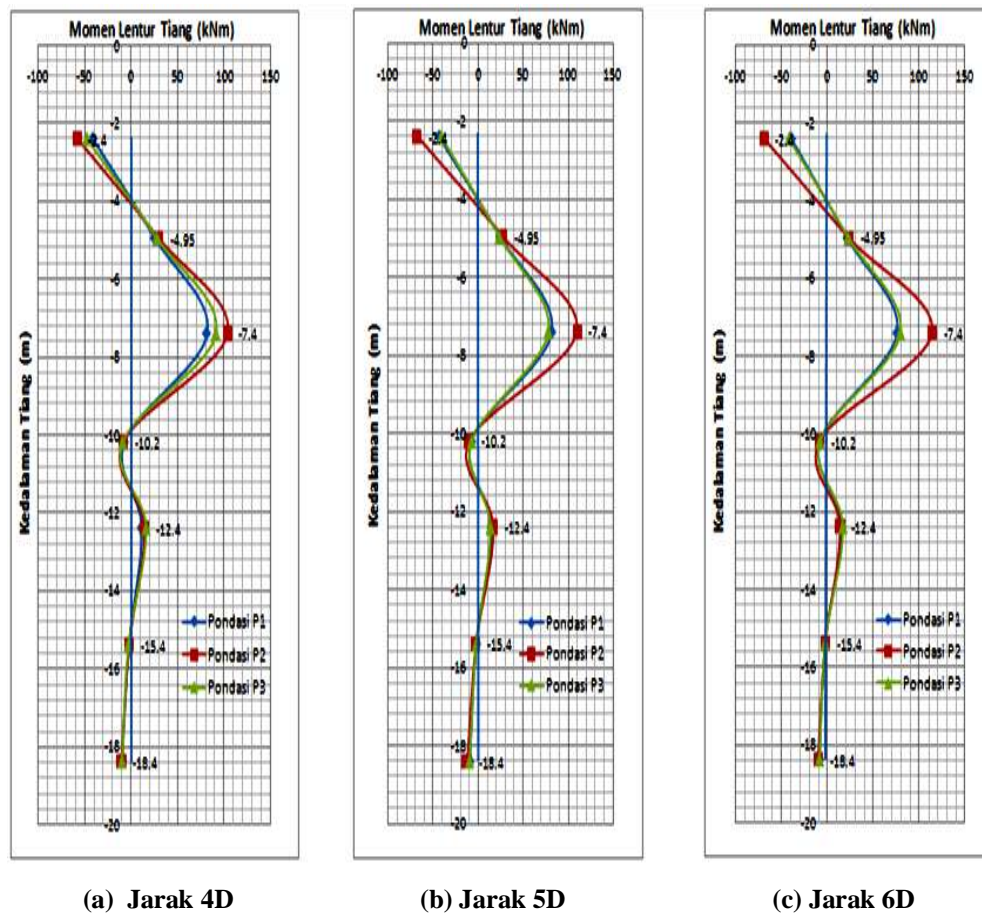
1. Momen Lentur Pondasi Kelompok 3 Tiang

Besarnya momen lentur maksimum pada pondasi kelompok 3 tiang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5.10 Momen Lentur Maksimum Pondasi Kelompok 3 Tiang**

Jarak Antar Tiang	Momen Lentur Maksimum (kNm)	
	Momen Positif	Momen Negatif
4D	+ 103,45	-57,90
5D	+ 110,30	-67,51
6D	+ 114,67	-68,84

Hasil simulasi program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah diagram momen lentur pondasi kelompok 3 tiang dapat dilihat pada Gambar 5.29.



**Gambar 5.29 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Kelompok 3 Tiang**

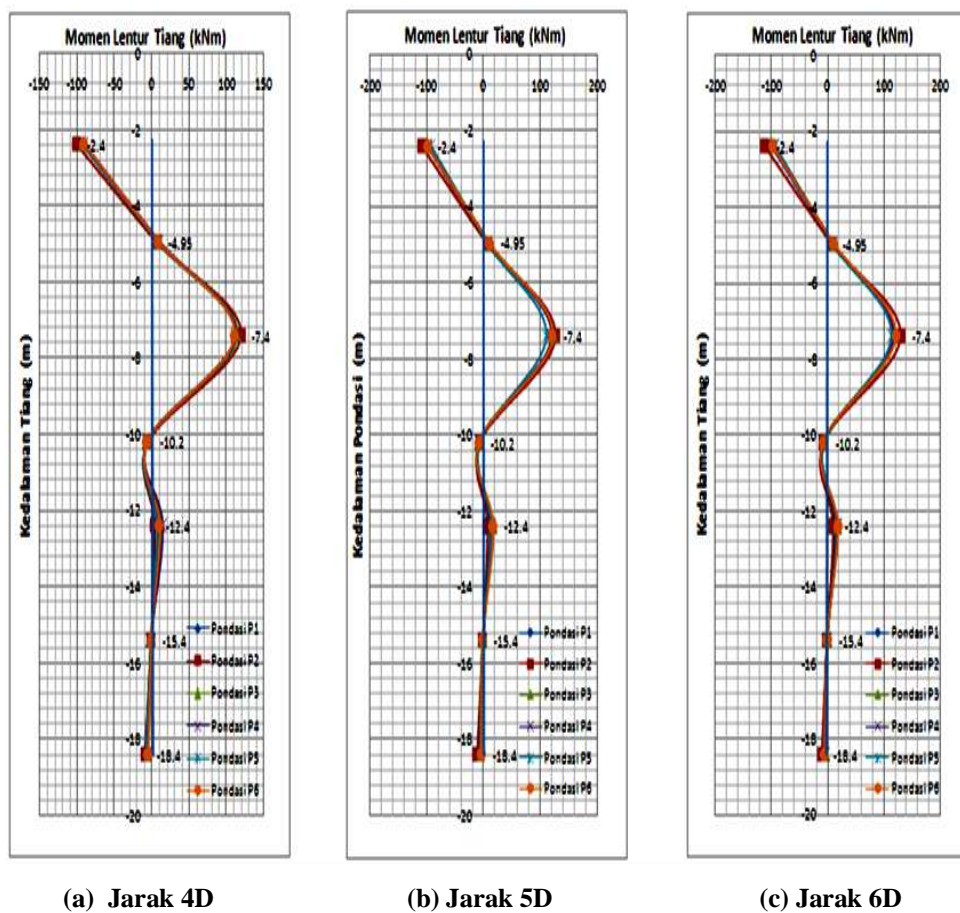
## 2. Momen Lentur Pondasi Kelompok 6 Tiang

Besarnya momen lentur maksimum pada pondasi kelompok 6 tiang dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Momen Lentur Maksimum Pondasi Kelompok 6 Tiang**

Jarak Antar Tiang	Momen Lentur Maksimum (kNm)	
	Momen Positif	Momen Negatif
4D	+ 119,84	-103,04
5D	+ 126,52	-107,82
6D	+ 137,13	-124,42

Hasil simulasi program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah diagram momen lentur pondasi kelompok 6 tiang dapat dilihat pada Gambar 5.30.



**Gambar 5.30 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Kelompok 6 Tiang**

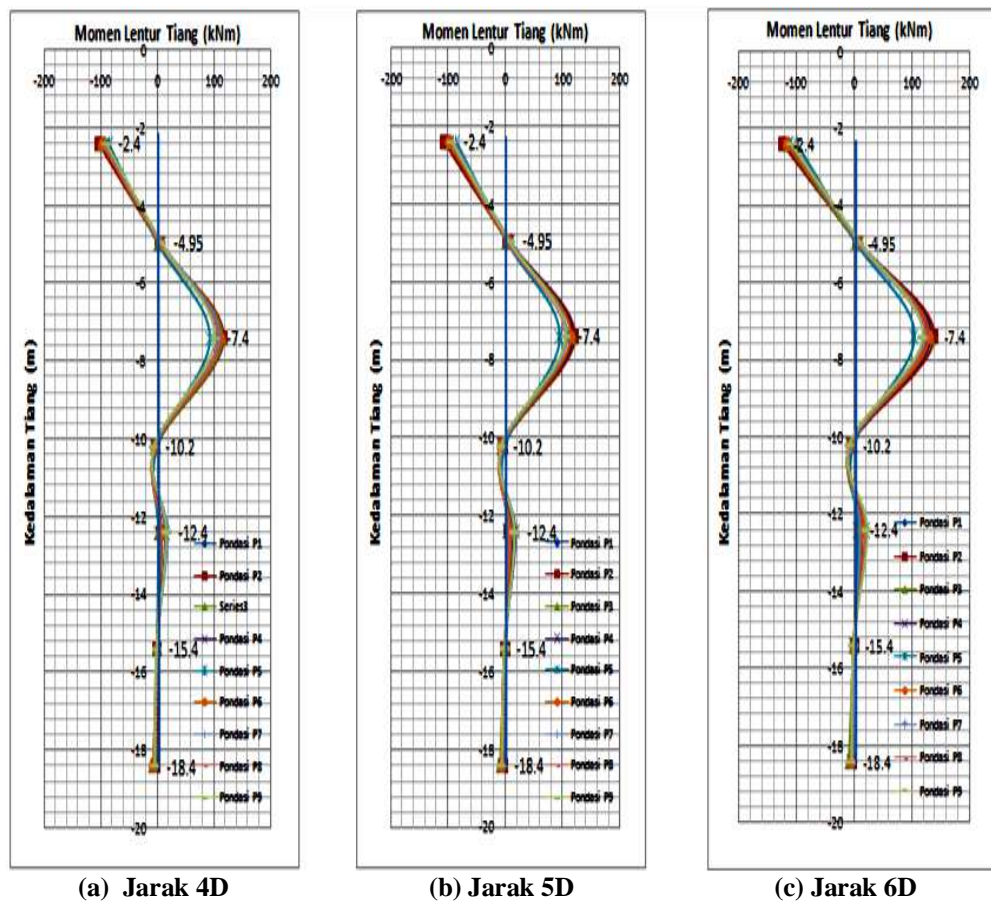
### 3. Momen Lentur Pondasi Kelompok 9 Tiang

Besarnya momen lentur maksimum pada pondasi kelompok 9 tiang dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12 Momen Lentur Maksimum Pondasi Kelompok 9 Tiang**

Jarak Antar Tiang	Momen Lentur Maksimum (kNm)	
	Momen Positif	Momen Negatif
4D	+ 116,56	-100,50
5D	+ 120,27	-105,71
6D	+ 130,04	-111,24

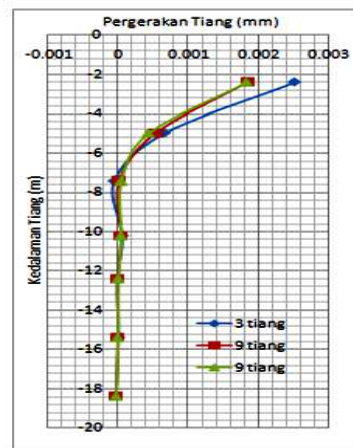
Hasil simulasi program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah diagram momen lentur pondasi kelompok 9 tiang dapat dilihat pada Gambar 5.31.



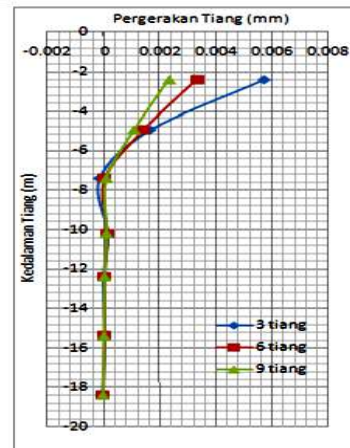
**Gambar 5.31 Grafik Diagram Momen Lentur Pondasi Kelompok 9 Tiang**

## 5.5 Analisis Pengaruh Jumlah Tiang Terhadap Perilaku Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral

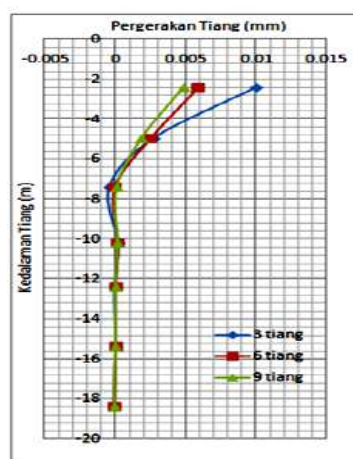
Analisa dilakukan untuk melihat pengaruh jumlah tiang dalam satu kelompok tiang terhadap defleksi tiang dan momen lentur akibat beban lateral dengan variasi beban yang sama setiap kelompok, menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Kelompok tiang yang digunakan adalah 3, 6, dan 9 tiang dengan jarak antar tiang sebesar 3,5D sesuai kondisi dilapangan. Variasi beban yang digunakan 1000 kN, 2000 kN, 3000 kN, dan 4000 kN. Hasil defleksi tiang akibat variasi beban yang diberikan pada setiap kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 5.32.



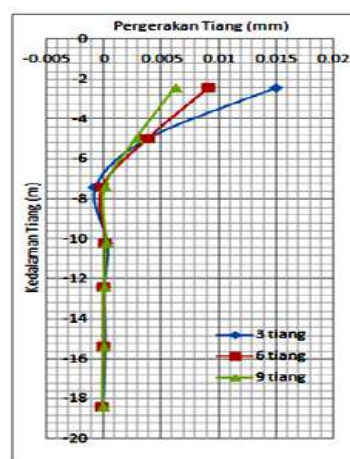
a. Beban 1000 kN



b. Beban 2000 kN



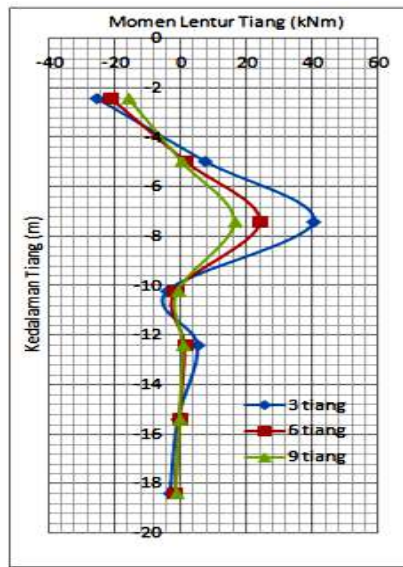
c. Beban 3000 kN



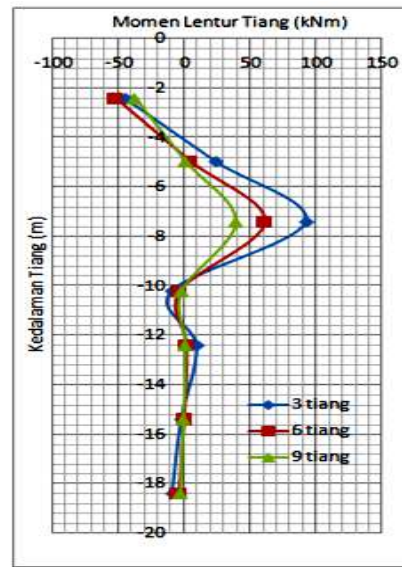
d. Beban 4000 kN

**Gambar 5.32 Defleksi Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral**

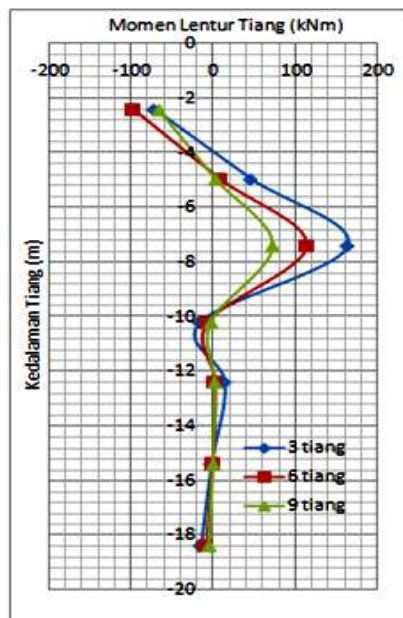
Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 selain menghasilkan defleksi kelompok tiang juga bisa menghasilkan momen lentur kelompok tiang. Hasil momen lentur akibat variasi beban yang diberikan pada setiap kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 5.33.



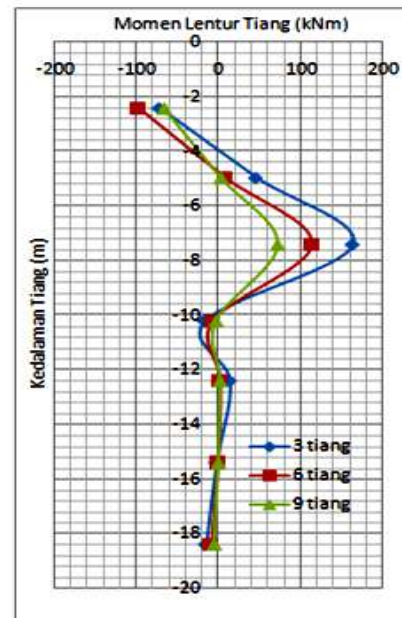
a. Beban 1000 kN



b. Beban 2000 kN



c. Beban 3000 kN



d. Beban 4000 kN

**Gambar 5.33 Momen Lentur Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral**

Defleksi tiang dan momen lentur Gambar 5.28 dan 5.29 pada kelompok tiang dengan variasi beban 1000 kN, 2000 kN, 3000 kN, dan 4000 kN menunjukkan besarnya defleksi dan momen yang terjadi pada tiang ketika diberikan beban lateral.

## 5.6 Pembahasan

### 5.6.1 Hasil Analisis Beban Lateral Tiang Tunggal Berdasarkan Defleksi Ijin

Hasil analisis beban lateral pada sub bab sebelumnya beban lateral tiang tunggal yang digunakan adalah hasil perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 yaitu 900 kN. Perbedaan beban lateral tiang tunggal dapat dilihat pada Tabel 5.13.

**Tabel 5.13 Perbedaan Beban Lateral Tiang Tunggal**

Metode	Beban Lateral
	Kepala Tiang Terjepit
Broms	283,31 kN
Solusi Elastik	280,27 kN
PLAXIS 3D <i>Foundation</i> Versi 1.6	900 kN

Dapat dilihat pada tabel bahwa Metode Broms dan Metode Solusi Elastik menghasilkan beban lateral tiang tunggal yang hampir sama. Hasil beban lateral Metode Elemen Hingga jauh lebih besar dibandingkan Metode Broms dan Metode Solusi Elastik. Perbedaan hasil beban lateral disebabkan karena perhitungan Metode Broms dan Metode Solusi Elastik digunakan untuk jenis tanah homogen (murni kohesif dan murni granuler), defleksi tiang yang terjadi pada tanah homogen dan tanah non homogen sangat berbeda. Pada tanah homogen kekakuan tiang dianggap konstan per kedalaman, faktor kekakuan tanah dianggap linier, dan parameter tanah yang digunakan hasil pendekatan. Lokasi penelitian terletak pada tanah berlapis maka perhitungan beban lateral Metode Broms dan Metode Solusi Elastik tidak dapat mewakili permasalahan yang sebenarnya oleh sebab itu



dibutuhkan metode lain dengan bantuan *software* salah satunya adalah PLAXIS 3D *Foundation*.

### 5.6.2 Hasil Analisis Beban Lateral dan Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Berdasarkan Defleksi Ijin

#### 1. Metode *Finite Difference*

Metode *Finite Difference* menghasilkan beban lateral dan faktor efisiensi kelompok tiang yang berbeda-beda terhadap jarak antar tiang. Perbandingan beban lateral dan faktor efisiensi kelompok tiang dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14 Perbandingan Beban Lateral dan Faktor Efisiensi Kelompok Tiang dengan Jarak Tiang Metode *Finite Difference***

Metode	Beban Lateral	Faktor Efisiensi
<i>Finite Difference</i> (4D)	450 kN	0,50
<i>Finite Difference</i> (5D)	576 kN	0,64
<i>Finite Difference</i> (6D)	702 kN	0,78

Dari hasil tabel diatas, jarak tiang yang semakin besar maka nilai dari faktor efisiensi kelompok tiang akan membesar dan mendekati satu yang merupakan faktor efisiensi dari tiang tunggal. Menurut Boris (2013) susunan formasi tiang dan jumlah tiang mempengaruhi besar kecilnya nilai efisiensi kelompok tiang.

#### 2. Metode Elemen Hingga PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6

Perbandingan beban lateral kelompok tiang hasil program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat dilihat pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.15 Perbandingan Beban Lateral Kelompok Tiang Hasil Program PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6**

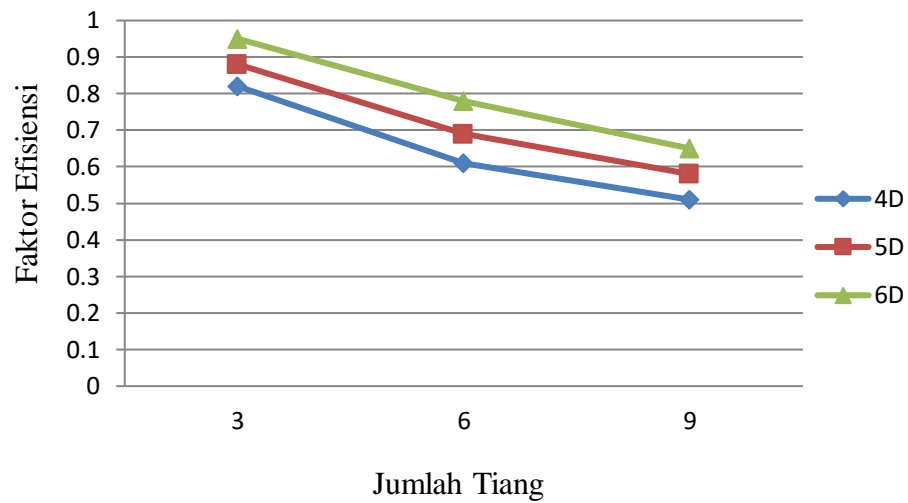
Jarak Antar Tiang	Jumlah Tiang					
	3 Tiang		6 Tiang		9 Tiang	
	Beban Lateral Kelompok Tiang	Beban Lateral Masing-masing Tiang	Beban Lateral Kelompok Tiang	Beban Lateral Masing-masing Tiang	Beban Lateral Kelompok Tiang	Beban Lateral Masing-masing Tiang
4D	2228 kN	742,6 kN	3320 kN	553,3 kN	4105 kN	456,1 kN
5D	2390 kN	796,6 kN	3760 kN	626,6 kN	4740 kN	526,6 kN
6D	2580 kN	860 kN	4235 kN	705,8 kN	5270 kN	585,5 kN

Dari hasil analisis beban lateral kelompok tiang program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 diperoleh faktor efisiensi kelompok tiang dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5.16 Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Hasil Program PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6**

Jumlah Tiang	Faktor Efisiensi Rata-rata		
	4D	5D	6D
3	0,82	0,88	0,95
6	0,61	0,69	0,78
9	0,51	0,58	0,65

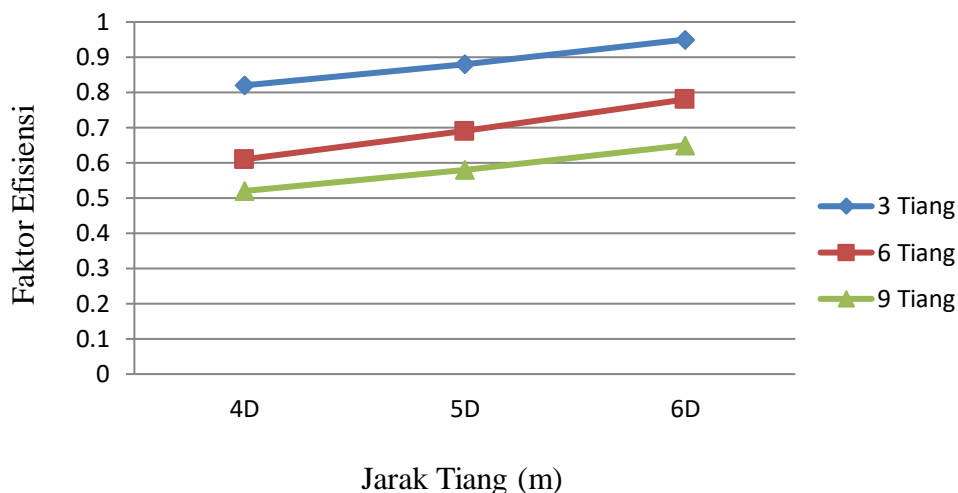
Analisa faktor efisiensi kelompok tiang dilakukan terhadap berbagai jumlah tiang. Grafik faktor efisiensi kelompok tiang dengan variasi jumlah tiang hasil Program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat dilihat pada Gambar 5.34.



**Gambar 5.34 Grafik Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Dengan Variasi Jumlah Tiang**

Pada grafik terlihat bahwa faktor efisiensi kelompok 9 tiang paling rendah dibandingkan faktor efisiensi lainnya. Banyaknya jumlah tiang menentukan faktor efisiensi kelompok tiang, semakin banyak jumlah tiang dalam satu kelompok tiang, faktor efisiensi kelompok tiang tersebut semakin kecil.

Analisa faktor efisiensi kelompok tiang juga dilakukan terhadap berbagai variasi jarak tiang. Grafik faktor efisiensi kelompok tiang dengan berbagai variasi jarak tiang hasil Program PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6 dapat dilihat pada Gambar 5.35.



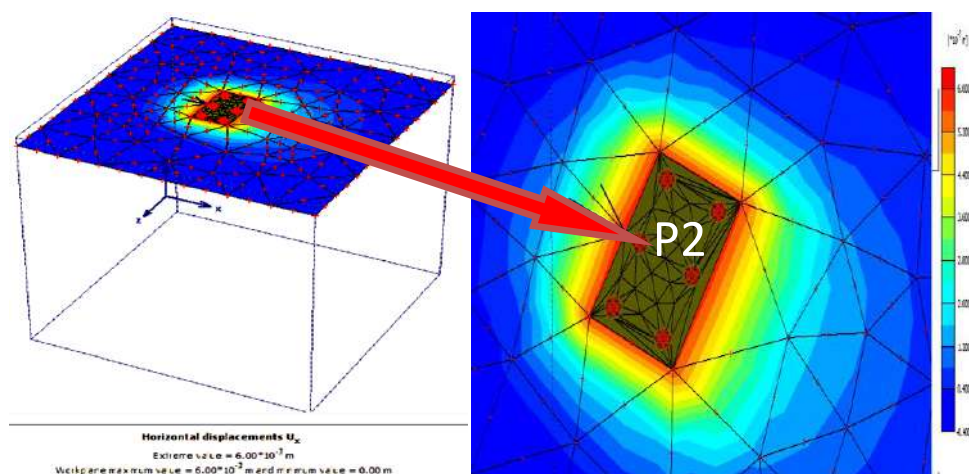
**Gambar 5.35 Grafik Faktor Efisiensi Kelompok Tiang Jarak 4D, 5D, dan 6D**

Pada grafik faktor efisiensi terhadap jarak tiang menunjukkan bahwa faktor efisiensi kelompok tiang dengan jarak 4D lebih kecil dibandingkan faktor efisiensi kelompok tiang yang berjarak 5D dan 6D ( $4D < 5D < 6D$ ). Dapat disimpulkan semakin besar jarak antar tiang dalam satu kelompok tiang maka semakin besar faktor efisiensinya. Hal ini disebabkan daerah tanah yang menerima reaksi gaya semakin besar dan wilayah interaksi antar tiang (daerah *overlapping* tanah yang menahan gaya) semakin kecil, sehingga diperoleh kapasitas lateral tiap tiang yang semakin besar bila jarak tiang semakin besar. Dalam pasir padat jarak tiang yang terlalu pendek akan menyebabkan kenaikan tanah atau perpindahan lateral tanah yang signifikan. Alternatif yang tepat untuk mengurangi kenaikan tanah atau perpindahan lateral tanah yaitu dengan memperbesar jarak antar tiang, meskipun dilihat dari segi ekonomis memperbesar jarak antar tiang biayanya akan semakin mahal. Menurut penelitian (Dewi, 2009) modulus elastisitas tanah (kekakuan tanah) juga mempengaruhi faktor efisiensi kelompok tiang. Nilai modulus elastisitas tanah yang semakin meningkat menyebabkan faktor efisiensi semakin besar.

### 5.6.3 Hasil Analisis Pergerakan Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral Berdasarkan Defleksi Ijin

Hasil analisis pergerakan tiang menggunakan Metode *Finite Difference*, dapat dilihat pada Gambar 5.10; 5.13; 5.16 dan 5.19 pergerakan tiang terbesar terjadi diujung kepala tiang ( $y_1$ ). Pergerakan tiang makin ke bawah makin mengecil. Untuk pergerakan kepala tiang terjepit makin ke bawah makin kecil membentuk garis yang miring dari  $y_1$  sampai dengan  $y_5$ , sedangkan dari  $y_6$  sampai dengan  $y_{16}$  membentuk garis yang hampir sejajar dengan arah panjang tiang. Dari gambar 5.13; 5.16, dan 5.19 didapat pergerakan tiang jarak 4D, 5D, dan 6D dapat ditarik kesimpulan bahwa jarak tiang semakin besar maka pergerakan tiang akan mendekati tiang tunggal.

Hasil perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat dijelaskan bahwa pergerakan lateral maksimum terjadi pada tiang bor di dekat kepala tiang. Dari perilaku pergerakan lateral kelompok tiang, dapat diketahui bahwa pergerakan masing-masing tiang dalam kelompok tiang secara bersamaan mengalami pergerakan lateral yang relatif sama. Pada penelitian ini, pergerakan lateral arah sumbu X ( $U_x$ ) sebesar 6 mm yang digunakan sebagai pergerakan maksimum di kepala tiang. Pergerakan lateral maksimum yang terjadi pada kelompok tiang di dekat kepala tiang dapat dilihat pada Gambar 5.36.



**Gambar 5.36 Pergerakan Lateral Maksimum Terjadi di Dekat Kepala Tiang**

Menurut Muntohar (2013), pemodelan pondasi 3D dimana elemen garis struktural digabungkan dengan pegas (*spring*) dan bidang gesek (*sliders*) ke elemen-elemen hingganya (*mesh*). Kekakuan pegas pada *line to line interface* model 3D ditetapkan dengan suatu nilai yang tinggi tetapi tidak terlalu kaku sehingga deformasi elastis diabaikan. Sebagai hasil pengaturan tersebut, semua deformasi yang terjadi pada pondasi tiang merupakan hasil dari deformasi elastis-plastis dari tanah dan/atau dari deformasi plastis dalam *line to line interface*.

Pada penelitian ini beban lateral yang digunakan adalah beban lateral hasil *trial and error* dengan defleksi maksimum dikepala tiang sebesar 6 mm. Dari perhitungan program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6, dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah tiang dan jarak tiang maka beban lateral yang dapat diterima oleh kelompok tiang semakin besar, akan tetapi semakin besar jumlah tiang dan jarak tiang maka beban lateral yang diterima oleh masing-masing tiang dalam kelompok tiang lebih kecil dari beban lateral yang dapat diterima oleh tiang tunggal. Berdasarkan analisis pada sub bab sebelumnya, defleksi terbesar pada kelompok tiang terjadi pada kepala tiang searah dengan datangnya beban lateral. Defleksi terbesar pada kelompok tiang terjadi pada pondasi P2.

#### **5.6.4 Hasil Analisis Momen Lentur Kelompok Tiang**

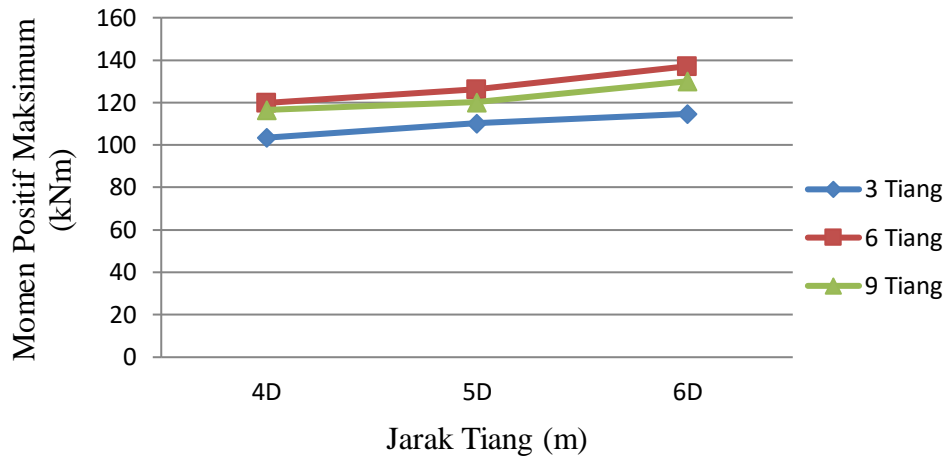
Momen lentur pada pondasi tiang panjang menunjukkan bahwa tiang merupakan tiang terjepit (*fixed*) pada bagian atas di dekat kepala tiang dan ujung bebas (*free end*) pada bagian bawah tiang, sehingga momen lentur maksimum terjadi di dekat kepala tiang pondasi dan sebaliknya momen lentur sama dengan nol di ujung bawah tiang. Hasil analisis momen lentur maksimum terjadi pada pondasi P2 yaitu pondasi yang langsung terkena dengan datangnya arah beban lateral. Momen lentur maksimum kelompok tiang hasil program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 dapat dilihat pada Tabel 5.17.

**Tabel 5.17 Momen Lentur Maksimum Kelompok Tiang Hasil Program  
PLAXIS 3D Foundation Versi 1.6**

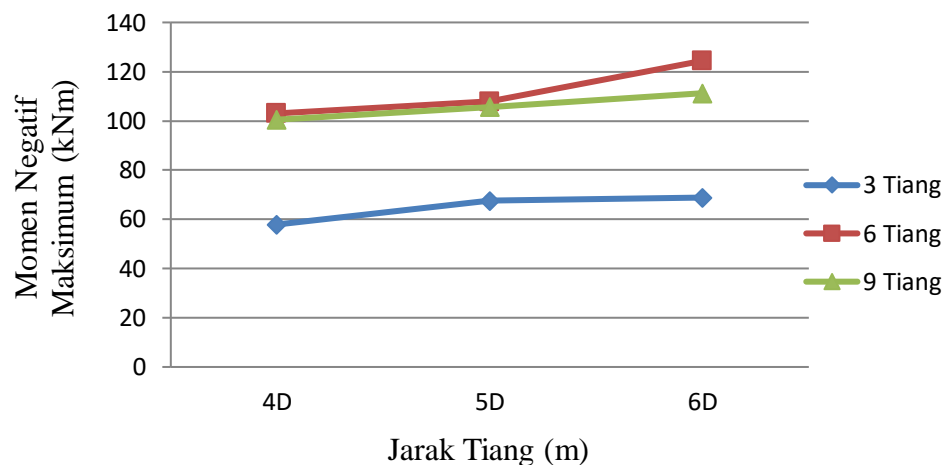
Jarak Antar Tiang	Momen Lentur Maksimum (kNm)					
	Jumlah Tiang					
	3 Tiang		6 Tiang		9 Tiang	
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif
4D	+ 103,45	-57,90	+ 119,84	-103,04	+ 116,56	-100,50
5D	+ 110,30	-67,51	+ 126,52	-107,82	+ 120,27	-105,71
6D	+ 114,67	-68,84	+ 137,13	-124,42	+ 130,04	-111,24

Jumlah tiang kelipatan tiga pada kelompok tiang dengan *pile cap* berbentuk bujur sangkar dan persegi panjang akan menghasilkan nilai momen lentur maksimum yang relatif sama pada masing-masing tiang dalam satu kelompok tiang berdasarkan defleksi ijin. Penelitian ini menggunakan *pile cap* berbentuk persegi panjang pada pondasi 3 tiang dan 6 tiang, sedangkan *pile cap* berbentuk bujur sangkar pada pondasi 9 tiang. Menurut penelitian (Noviati, 2014) menjelaskan bahwa jumlah tiang yang ganjil pada kelompok tiang dengan bentuk *pile cap* yang berbeda, akan menghasilkan nilai momen lentur maksimum yang berbeda-beda.

Analisis momen lentur kelompok tiang dilakukan terhadap berbagai variasi jarak tiang. Grafik momen positif maksimum terhadap jarak tiang dan grafik momen negatif maksimum terhadap jarak tiang dapat dilihat pada Gambar 5.37 dan Gambar 5.38.



**Gambar 5.37 Grafik Momen Positif Maksimum Terhadap Jarak Tiang**

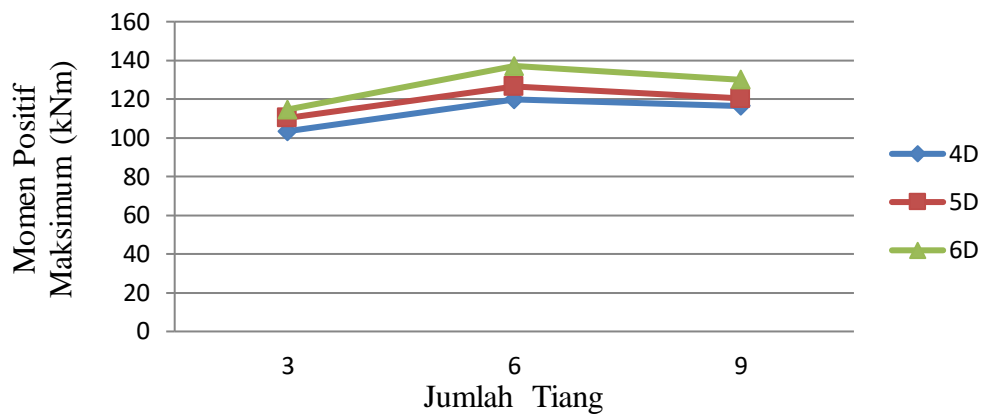


**Gambar 5.38 Grafik Momen Negatif Maksimum Terhadap Jarak Tiang**

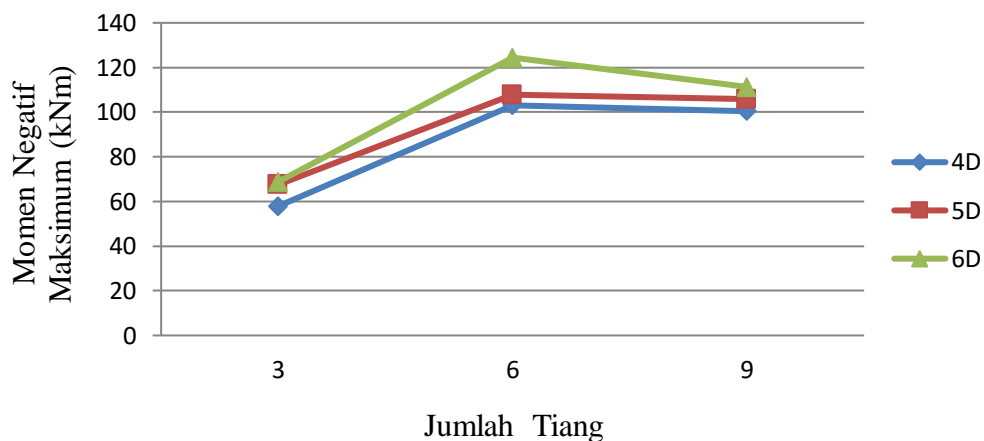
Pada grafik terlihat bahwa semakin besar jarak antar tiang maka momen positif maksimum dan momen negatif maksimum semakin besar. Akan tetapi momen maksimum kelompok 9 tiang lebih rendah dibandingkan momen maksimum kelompok 6 tiang. Hal ini disebabkan oleh perbedaan konfigurasi pondasi terhadap bentuk *pile cap*.

Analisis momen lentur kelompok tiang juga dilakukan terhadap berbagai variasi jumlah tiang. Grafik momen positif maksimum terhadap jumlah tiang dan Grafik momen negatif maksimum terhadap jumlah tiang dapat dilihat pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40.





**Gambar 5.39 Grafik Momen Positif Maksimum Terhadap Jumlah Tiang**



**Gambar 5.40 Grafik Momen Negatif Maksimum Terhadap Jumlah Tiang**

Pada grafik terlihat bahwa momen positif maksimum dan momen negatif maksimum bertambah pada jumlah pondasi 3 tiang dan 6 tiang. Pada pondasi 9 tiang mengalami penurunan momen maksimum. Sama halnya dengan momen maksimum terhadap jarak tiang, hal ini disebabkan oleh perbedaan konfigurasi pondasi terhadap bentuk *pile cap*.

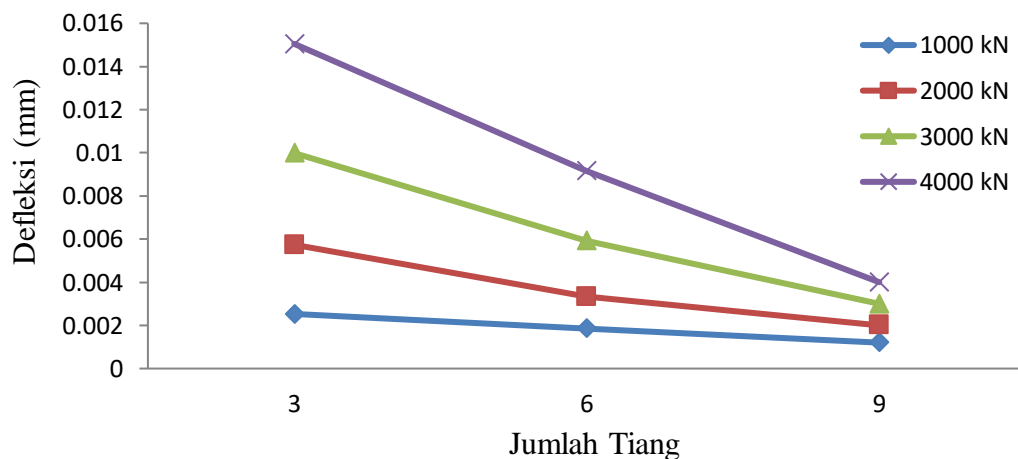
Dari hasil PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 tiang panjang kondisi kepala terjepit (*fixed head*) pada tanah granuler mengalami momen lentur maksimum di dua lokasi, sesuai dengan teori (Broms, 1964) dimana momen

maksimum terjadi di kedalaman 2,4 meter (momen negatif) dan 7,4 meter (momen positif) dari permukaan tanah.

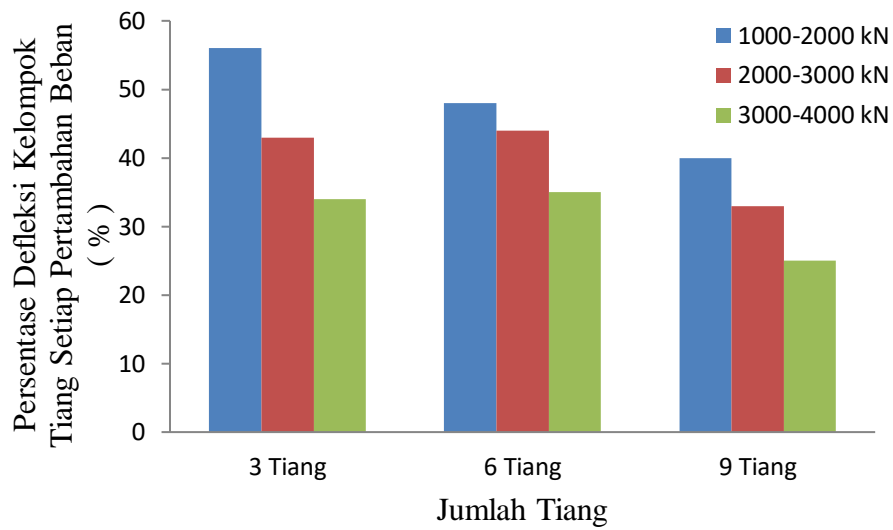
Dapat ditarik kesimpulan bahwa momen positif maksimum dan momen negatif maksimum bertambah besar pada pondasi kelompok 3 tiang dan 6 tiang seiring bertambahnya jarak tiang. Momen positif maksimum dan momen negatif maksimum mengalami penurunan pada pondasi kelompok 9 tiang seiring bertambahnya jumlah tiang. Hal ini disebabkan oleh perbedaan konfigurasi pondasi terhadap bentuk *pile cap*. Bentuk *pile cap* sangat mempengaruhi perilaku tiang khususnya momen lentur tiang.

### 5.6.5 Hasil Analisis Pengaruh Jumlah Tiang Terhadap Perilaku Kelompok Tiang Akibat Variasi Beban Lateral

Pengaruh jumlah tiang terhadap defleksi yang terjadi pada kelompok tiang akibat variasi beban lateral dengan jarak tiang *eksisting* dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42.

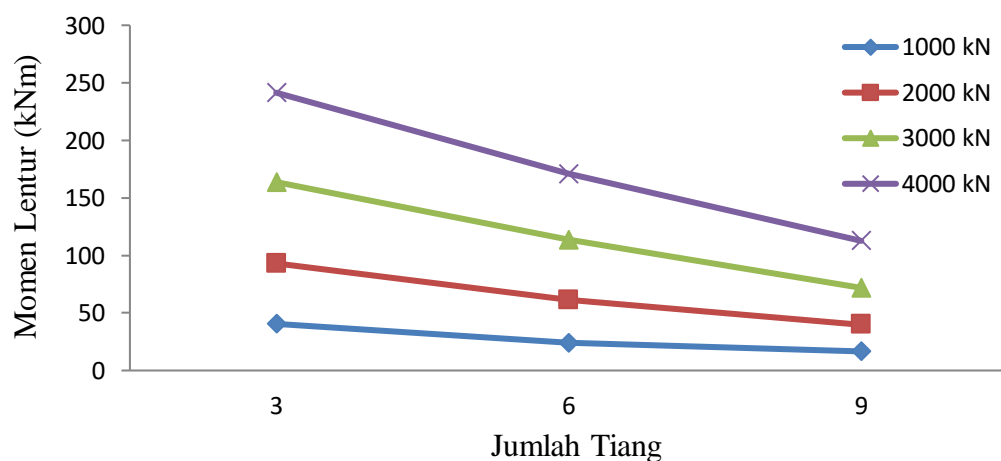


Gambar 5.41 Defleksi Terhadap Jumlah Tiang Dalam Satu Kelompok

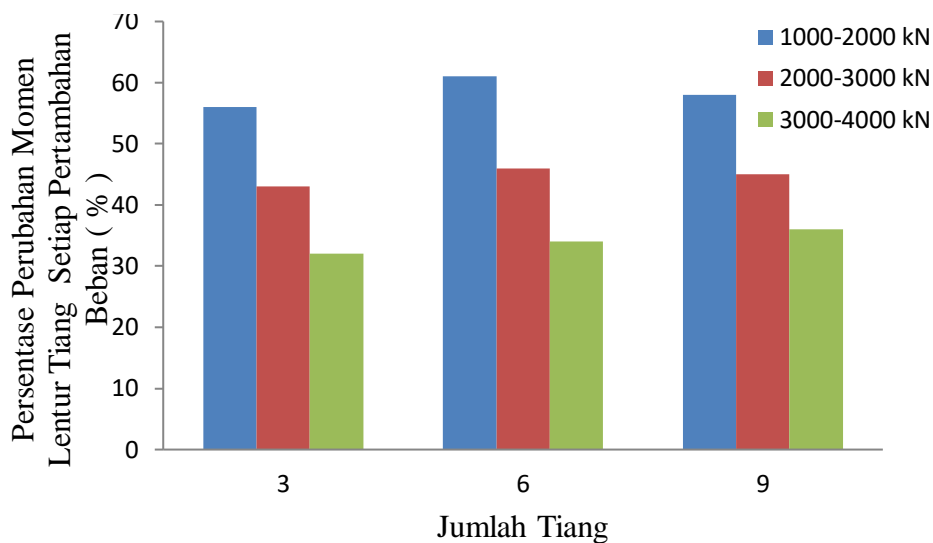


**Gambar 5.42 Persentase Perubahan Defleksi Kelompok Tiang Setiap Pertambahan Beban Sebesar 1000 kN (Variasi Beban) Terhadap Jumlah Tiang**

Pengaruh jumlah tiang terhadap momen yang terjadi pada kelompok tiang akibat variasi beban lateral dengan jarak tiang *eksisting* dapat dilihat pada Gambar 5.43 dan Gambar 5.44.



**Gambar 5.43 Momen Lentur Terhadap Jumlah Tiang Dalam Satu Kelompok**



**Gambar 5.44 Persentase Perubahan Momen Lentur Kelompok Tiang Setiap Pertambahan Beban Sebesar 1000 kN (Variasi Beban) Terhadap Jumlah Tiang**

Hasil program PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 semakin banyak jumlah tiang dalam satu kelompok, defleksi dan momen lentur tiang semakin kecil apabila kepala tiang menerima beban yang sama. Dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan 5.43, pengaruh jumlah tiang terhadap perilaku tiang berupa defleksi dan momen lentur dengan variasi beban dalam satu kelompok tiang adalah linear dimana semakin banyak jumlah tiang dalam satu kelompok maka defleksi dan momen lentur akan semakin kecil. Dalam satu kelompok tiang apabila diberikan variasi beban berupa penambahan beban mengalami kenaikan defleksi dan momen lentur tiang. Besarnya kenaikan defleksi dan momen lentur tiang dalam satu kelompok tiang dengan penambahan beban sebesar 1000 kN tidak sama. Gambar 5.42 dan 5.44 memperlihatkan bahwa setiap penambahan beban sebesar 1000 kN dalam satu kelompok tiang mengalami penurunan persentase kenaikan defleksi dan momen lentur tiang, hal ini menunjukkan bahwa setiap penambahan beban terjadi kenaikan defleksi dan momen lentur yang tidak sama, dimana semakin besar beban yang diterima oleh satu kelompok tiang mengalami penurunan presentase kenaikan defleksi dan momen lentur tiang. Pada kelompok 3 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan

defleksi sebesar 34% - 56% dan momen lentur tiang sebesar 32% - 56%. Pada kelompok 6 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 35% - 48% dan momen lentur tiang sebesar 34% - 61%. Pada kelompok 9 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 25% - 40% dan momen lentur tiang sebesar 36% - 58%. Konfigurasi kelompok tiang dengan *pile cap* berbentuk bujur sangkar dan persegi panjang akan menghasilkan momen lentur maksimum yang berbeda-beda pada masing-masing kelompok tiang akibat variasi beban lateral. Menurut Firdaus (2011) jarak tiang juga berpengaruh terhadap defleksi tiang, akibat berubahnya jarak antar tiang berupa penambahan kemampuan tiang dalam menahan beban lateral, untuk beban yang sama, perubahan jarak antar tiang dapat mengurangi defleksi tiang. Defleksi kelompok tiang dengan beban lateral yang nilainya sama menunjukkan bahwa defleksi tiang *rear* makin ke dalam memiliki nilai yang lebih besar dari tiang *lead*. Tiang yang jaraknya terjauh (*rear*) dengan arah beban, dan tiang yang jaraknya terdekat (*lead*) dengan arah beban. Momen pada kepala tiang dalam kondisi tiang ujung jepit bernilai negatif, karena beban lateral yang diberikan pada kepala tiang akan mendapatkan perlawanan dari *pile cap*. Hubungan defleksi tiang dengan momen lentur yaitu semakin besar defleski tiang maka momen lentur juga akan semakin besar.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis faktor efisiensi dan perilaku kelompok tiang akibat beban lateral didapatkan beberapa kesimpulan, adalah sebagai berikut.

1. Faktor efisiensi kapasitas lateral berdasarkan defleksi yang diijinkan, dengan menggunakan Metode *Finite Difference* jarak tiang yang semakin besar maka nilai dari faktor efisiensi kelompok tiang akan membesar dan mendekati satu yang merupakan faktor efisiensi dari tiang tunggal. Berdasarkan hasil perhitungan Metode Elemen Hingga menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 faktor efisiensi terhadap jarak tiang semakin besar jarak antar tiang dalam satu kelompok tiang maka semakin besar faktor efisiensinya dan faktor efisiensi terhadap jumlah tiang semakin besar jumlah tiang dalam satu kelompok tiang maka semakin kecil faktor efisiensinya.
2. Analisa pergerakan kelompok tiang akibat beban lateral berdasarkan defleksi ijin telah dilakukan dalam penelitian ini menggunakan Metode *Finite Difference* dan Metode Elemen Hingga menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6. Hasil perhitungan Metode *Finite Difference* dan perhitungan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 semakin besar jarak antar tiang maka pergerakan tiang akan mendekati tiang tunggal. Pergerakan masing-masing tiang dalam kelompok tiang secara bersamaan mengalami pergerakan lateral yang relatif sama. Hasil perhitungan Metode Elemen Hingga menggunakan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 jumlah tiang kelipatan tiga pada kelompok tiang dengan *pile cap* berbentuk bujur sangkar dan persegi panjang akan menghasilkan nilai momen lentur maksimum yang relatif sama pada masing-masing kelompok tiang akibat beban lateral berdasarkan defleksi ijin. Momen lentur maksimum terjadi di dua lokasi, yaitu di kedalaman 2,4 meter (momen negatif) dan 7,4 meter (momen positif) dari permukaan tanah.

3. Pengaruh jumlah tiang terhadap perilaku kelompok tiang akibat variasi beban lateral dengan jarak tiang *eksisting* menggunakan Metode Elemen Hingga dengan PLAXIS 3D *Foundation* Versi 1.6 adalah linear dimana semakin banyak jumlah tiang dalam kelompok tiang maka defleksi dan momen lentur akan semakin kecil. Pada kelompok 3 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 34% - 56% dan moemen lentur tiang sebesar 32% - 56%. Pada kelompok 6 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 35% - 48% dan moemen lentur tiang sebesar 34% - 61%. Pada kelompok 9 tiang, dengan beban 1000 kN samapai dengan beban 4000 kN terjadi kenaikan defleksi sebesar 25% - 40% dan moemen lentur tiang sebesar 36% - 58%. Hubungan defleksi tiang dengan momen lentur yaitu semakin besar defleski tiang maka momen lentur juga akan semakin besar.

## 6.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut ini:

1. menggunakan diameter tiang dan panjang tiang yang berbeda-beda dan meninjau efek *pile cap*,
2. melakukan analisa yang sama dengan menggunakan program *finite element* yang berbeda, seperti Geo Studio, L- Pile dan program geoteknik lainnya,
3. untuk penelitian selanjutnya dapat membandingkan besarnya nilai deformasi akibat beban lateral arah sumbu X dan arah sumbu Z, dan
4. melakukan analisa perilaku kelompok tiang tidak hanya meninjau akibat beban lateral saja tetapi meninjau akibat beban aksial dan beban lateral.

## PENUTUP

Puji syukur berkat do'a, usaha dan kerja keras penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir tidak lupa pula saya panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah serta inayah-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca yang memerlukan referensi dengan kasus yang hampir sama. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari masih banyak kesalahan dan kekurangan.

Akhir kata saya ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam terselesaikannya Tugas Akhir ini baik secara moril maupun spiritual. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan bagi rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Sipil pada khususnya.  
*Wassalaamu'alaikum Wr Wb.*



## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D3966-81. 1989. *Method Statement for Static Pile Load Test*. Bangkok.
- Ashour, M. dan Norris, G. 2000. Modelling Lateral Soil-Pile Response Based on Soil-Pile Interaction. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*. Vol. 126, pp. 420-428.
- Broms, B. B. 1964. The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. *Journal of the Soil Mechanics Division, ASCE*. Vol. 90, No. SM2, pp. 27-63.
- Boris, A.F. 2013. Analisis Kapasitas Kelompok Tiang Pancang Terhadap Beban Lateral Menggunakan Metode Finite Difference. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Chen, L. T., Poulos, H.G. dan Hull, T.S. 1997. Model Test on Pile Groups Subjected to Lateral Soil Movement. *Soil and Foundation*. Vol. 37, pp. 1-12.
- Das, B.M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*, SI, 7<sup>th</sup> edition. Global Engineering, Stamford. CT 06902 USA.
- Firdaus, W. 2011. Studi Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan PLAXIS 2D Pada Tanah Lunak. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Google Earth Fakultas Ilmu Budaya. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. (<https://www.google.co.id/earth/place/Fakultas+Ilmu+Budaya+UGM/@7.772167110.3767275,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x2e7a59b4ce522fd9:0x80ad1a866060e4a6!8m2!3d-7.772167!4d110.3789162>). Diakses 8 September 2017.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Teknik Pondasi 2*, Edisi Kedua. Beta Offset. Yogyakarta.
- Haridyatmo, H. C. 2007. *Mekanika Tanah 2*, Edisi Keempat. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2008. *Teknik Pondasi 2*, Edisi Keempat. Beta Offset. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Mekanika Tanah 1*, Edisi Kenam. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H. C. 2014. *Anlasis dan Perencanaan Fondasi I*, Edisi Ketiga. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. *Anlasis dan Perencanaan Fondasi II*, Edisi Ketiga. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ilyas, T. 2002. Perilaku Grup Tiang di Lapisan Tanah Lempung yang dibebani Gaya Lateral Statis. *Disertasi*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Indonesia. Jakarta.
- McNulty, J.F. dan Matlock, H. 1956. Thrust Loading on Pile Proc. *Journal Soil Mech and Foundation*, DIV. LXXII. ASCE.
- Muntohar, A.S dan Fauzi, F. 2013. Perilaku Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Model Elemen Hingga 2D dan 3D. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Noviati, T. dan Wulandar, S. 2014. Shadowing Effect Grup Tiang Akibat Gaya Lateral Pada Gedung IKPT. *Jurnal Desain Konstruksi*. Vol 13 No.2:65-72. Depok.
- Palmer, L. A. dan Thomson, J. B. 1948. "The Earth Pressure and Deflection Along The Embedded Lengths of Piles Subjected to Lateral Thrusts." *Proc. 2nd Int. Conf. S.M. and F.E.* Vol. 5: 156-161. Rotterdam.
- Parkash, S. 1962. *Soil Dynamics*. McGraw-Hill. New York.
- Poulos, H. G. dan Davis, E. H. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley & Sons. New York.
- Program *PLAXIS 3D Foundations Versi 1.6*
- Reese, L.C. dan Matlock, H. (1956). *Non Dimensional Solution for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proporsional to Depth*. Proc. Of The 8 th Texas Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.1-41. Austin, Texas.
- Reese, L.C. dan Matlock, H. (1960). *Numerical Analysis of Laterally Loaded Piles*. Bureau of Engginering Research. University of Texas. Australia.
- Rimasyada. 2015. *Laporan Penyelidikan Tanah Proyek FIB UGM*. Yogyakarta.
- Dewi, S. dan Tjie-Liong, G. 2009. Analisa Kapasitas Kelompok Tiang Terhadap Beban Lateral dengan Menggunakan PLAXIS 3D Foundation. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Bina Nusantara. Jakarta.

- Dewi, S. dan Tjie-Liong, G. 2009. Analisa Kapasitas Kelompok Tiang Terhadap Beban Lateral dengan Menggunakan PLAXIS 3D Foundation. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Bina Nusantara. (<http://eprints.binus.ac.id/id/eprint/24230>). Diakses 8 September 2017.
- Tomlinson, M. J. 1977. *Pile Design and Construction Practice*. The Garden City Press Limited, Lechworth, Hertfordshire SG6 1JS.
- Tomlison, M. dan J. Woodmard. 2008. *Pile Design and Construction Practice*. Tylor & Francis. New York.
- Winkler E. (1867). *Theory of Elasticity and Strength of Materials*. German.
- Wartono. 2004. Sudi Pembebanan Lateral Model Tiang Pancang Tunggal Ujung Bebas (Free end Pile) dengan Variasi Panjang dan Diameter pada Tanah Pasir. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

# LAMPIRAN



## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Umum**

Penyelidikan tanah bawah permukaan mempunyai tujuan primer, di dalam teknik sipil, adalah untuk menentukan stratigrafi dan sifat fisik tanah sedemikian sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk perencanaan atau pemeliharaan fondasi.

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (upper structure/super structure) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Oleh karena itu fondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban bangunan dan gaya-gaya luar, seperti gempa bumi, tekanan angin dan lain-lain. Dan tidak boleh terjadi penurunan fondasi setempat atau merata lebih dari batas tertentu.

Informasi yang memadai harus diperoleh agar pekerjaan dapat aman, ekonomis, dan mudah dalam pelaksanaannya nanti.

### **1.2 Lingkup Pekerjaan**

Pekerjaan yang dilakukan berupa penyondiran dengan menggunakan sondir kapasitas 5.00 ton, pengeboran dengan Bor Mesin dan pengujian laboratorium. Dengan jumlah titik :

1. 4 titik sondir
2. 1 titik Bor mesin dengan kedalaman bor -30.00 m
3. 3 sample tanah.

Dan dilengkapi dengan foto kegiatan sebagai dokumentasi.

### **1.3 Maksud Penyelidikan dan Waktu Pelaksanaan**

Pekerjaan penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dan kapasitas daya dukung tanah (bearing capacity) yang diizinkan, guna merancang fondasi bangunan gedung **Fakultas Ilmu Budaya UGM.**

Dan waktu pelaksanaannya pada tanggal 21 Juli 2015.

### **1.4 Lokasi**

Lokasi penyondiran : Kompleks UGM,  
Jogjakarta.

## 2.2.6 Klasifikasi tanah berdasarkan data pengeboran

Hasil pengeboran secara visual disajikan seperti Tabel-tabel di bawah

ini:

Tabel 2.5 Jenis tanah secara visual titik bor BM-01

Kedalaman	Secara Visual	
0.00 - 0.70	Uruk	
0.70 - 5.30	Pasir sedang warna merah kecoklatan	$\gamma_b = 17,7855$
5.30 - 6.00	Pasir halus warna merah	$\gamma_b = 17,7855$
6.00 - 8.50	Pasir sedang warna merah kecoklatan	$\gamma_{sat} = 18,5583$
8.50 - 9.00	Pasir kasar disertai gravel warna hitam	$\gamma_{sat} = 18,5583$
9.00 - 10.50	Pasir halus warna merah kecoklatan	$\gamma_{sat} = 18,5583$
10.50 - 13.00	Pasir sedang warna hitam	$\gamma_{sat} = 17,7735$
13.00 - 15.40	Pasir kasar disertai gravel warna hitam	$\gamma_{sat} = 17,7735$
15.40 - 18.00	Pasir sedang warna hitam	$\gamma_{sat} = 17,7735$
18.00 - 20.00	Pasir kasar warna hitam	$\gamma_{sat} = 17,7735$
20.00 - 23.50	Pasir sedang warna hitam	$\gamma_{sat} = 17,7735$
23.50 - 30.00	Pasir kasar warna hitam	$\gamma_{sat} = 17,7735$

### III. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian sondir dan pengeboran, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Letak tanah keras maksimum titik-1 pada kedalaman -3.00 meter, titik-2 pada kedalaman -2.50 meter, titik-3 pada kedalaman -3.00 meter dan titik-4 pada kedalaman -1.60 meter.
2. Dapat dipergunakan alternatif fondasi Sumuran atau Bore Pile.

### IV. PENUTUP

Apabila dalam pelaksanaan pekerjaan, dijumpai hal-hal yang menyimpang, meragukan, atau tak terduga maka perlu diadakan penyesuaian dengan keadaan tersebut. Kami, bersedia membantu lebih lanjut.

# LABORATORIUM TEST RESULT

Fak. Ilmu Budaya UGM  
Kompleks UGM, Jogjakarta

Type	Kedalaman meter	Kadar	Berat	Berat	Grain Size Analysis		
		Air % w	Jenis G <sub>c</sub>	Volume basah gr/cm <sup>3</sup> g <sub>b</sub>	Passing #200 %	Cu	Cc
Undisturb	-5.00	22.553	2.727	1.813	12.28	13.24	1.02
Undisturb	-10.00	19.990	2.758	1.817	8.88	5.89	0.54
Undisturb	-15.00	21.108	2.785	2.217	12.85	11.08	0.94

Type	Kedalaman meter	Geser langsung		Konsolidasi	
		$\bar{c}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\phi}$ °	Cc	av
Undisturb	-5.00	46.7	0.005	0.0246	0.007
Undisturb	-10.00	42.4	0.003	0.0191	0.0106
Undisturb	-15.00	47.5	0.001	0.0101	0.0054



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian di lapangan pada lokasi rencana Peroyek Perencanaan Gedung Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gajah Mada. yang beralamat di Jalan Nusantara 1 Bulak Sumur Yogyakarta, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jenis tanah didominasi jenis tanah pasir berbutir sedang hingga kasar berkerikil dengan tingkat kepadatan sedang hingga sangat keras,
2. Muka air tanah dijumpai pada kedalaman 6 meter dari muka tanah setempat.
3. Lapisan tanah keras dengan nilai  $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$  dijumpai mulai pada kedalaman 2,00 meter kebawah, dengan ketebalan lapisan berkisar antara 0,80 meter hingga 1,20 meter dan pada kedalaman 12 meter kebawah nilai  $q_c > 200 \text{ kg/cm}^2$  dan berangsur angsur meningkat hingga pada kedalaman di bawah 17 meter nilai  $q_c$  mencapai  $770 \text{ kg/cm}^2$ .
4. Tegangan ijin tanah untuk pondasi dangkal disajikan pada table 4.1.
5. Kapasitas dukung pondasi tiang pancang disajikan pada Tabel 4.2 dan kapasitas dukung pondasi tiang bor disajikan pada Tabel 4.3.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil pengujian di lapangan dan dari analisis hasil pengamatan pada lokasi rencana Peroyek Perencanaan Gedung Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gajah Mada. yang beralamat di Jalan Nusantara 1 Bulak Sumur Yogyakarta, maka kami sarankan sebagai berikut :

1. Daya dukung pondasi ijin harus lebih besar dari beban yang bekerja.
2. Faktor keamanan beban disarankan dipakai 1,50 untuk beban vertikal, 3,00 untuk beban tarik dan 3,00 untuk beban horisontal.
3. Pada perhitungan pondasi dangkal disarankan dipakai tegangan ijin sebesar  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  pada kedalaman 1,00 meter dari muka tanah setempat.
4. Pada perhitungan pondasi untuk bangunan gedung bertingkat banyak disarankan menggunakan pondasi tiang bor/sumuran dengan panjang tiang minimal (L), 16 meter dengan diameter 0,60 meter, dengan kapasitas dukung tiang tunggal maksimum sebesar 150 ton.

5. Pada perhitungan pondasi, disarankan untuk diperhitungkan juga berdasarkan kekuatan bahan, karena dalam perhitungan kapasitas dukung di atas berdasarkan kekuatan tanah.
6. Pengambilan kedudukan dasar pondasi pada saran-saran digunakan ketinggian muka tanah setepat yang ada pada saat pengujian, sehingga apabila dilakukan pematangan lahan (gali/timbun) tanah kedudukan dan panjang tiang perlu disesuaikan.
7. Untuk konstruksi tiang bor, sebaiknya setelah pengeboran dilakukan proses *cleaning* untuk membersihkan Lumpur yang tertinggal di dasar lubang bor.
8. Pengecoran tiang bor sebaiknya dilakukan dengan jeda waktu paling lama 3 jam setelah proses *cleaning*, hal ini dimaksudkan agar ujung tiang tidak bertumpu di atas endapan lumpur yang mengendap karena proses pengeboran, karena apabila terjadi maka akan mereduksi kapasitas dukung tiang.
9. Pada saat pemasangan tulangan sebaiknya digunakan pipa pelindung (*casing*) supaya tidak terjadi runtuh pada dinding lubang bor.
10. Untuk memastikan kapasitas dukung tiang bor yang sebenarnya dapat digunakan uji pembebanan tiang atau dengan uji PDA.