

802/FT.01/SKRIP/07/2008

**SIMULASI PLAXIS *LOW STRAIN DYNAMIC*  
*TESTING* PADA TIANG TUNGGAL DENGAN PILE  
CAP**

**SKRIPSI**

Oleh

**HARIES YOLANDA**  
**04 04 01 027 9**



**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

802/FT.01/SKRIP/07/2008

**SIMULASI PLAXIS *LOW STRAIN DYNAMIC*  
TESTING PADA TIANG TUNGGAL DENGAN PILE  
CAP**

**SKRIPSI**

Oleh

**HARIES YOLANDA**

**04 04 01 027 9**

**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **SIMULASI PLAXIS *LOW STRAIN DYNAMIC TESTING* PADA TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juli 2008



Haries Yolanda

NPM 04 04 01 027 9

# PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

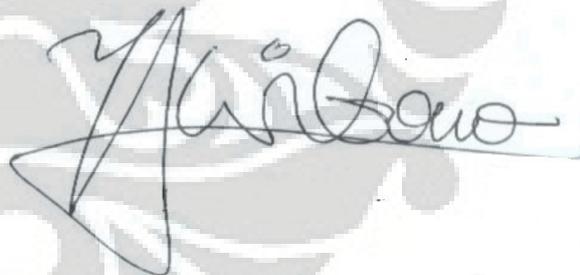
## **SIMULASI PLAXIS *LOW STRAIN DYNAMIC TESTING* PADA TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 10 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 18 Juli 2008

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Ir. Widjojo A. Prakoso, PhD

Dr.-Ing. Ir. Henki W. Ashadi

NIP. 132 127 786

NIP. 131 845 375

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya hingga telah selesainya skripsi yang berjudul “*Simulasi PLAXIS Low Strain Dynamic Testing pada Tiang Tunggal dengan Pile Cap*” ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan Ibu beserta adik-adik tercinta yang telah memberikan dukungan, semangat dan nasehat sampai penyusunan skripsi selesai.
2. Bapak Ir. Widjojo A. Prakoso, PhD, sebagai Pembimbing I
3. Bapak Dr.-Ing. Ir. Henki W. Ashadi, sebagai Pembimbing II
4. Dosen-dosen di Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia yang telah bersedia memberikan ilmu-ilmu yang berguna dan bermanfaat.
5. Teman-teman angkatan 2004 yang telah bersama-sama berjuang dengan keras untuk tetap eksis di Teknik Sipil Universitas Indonesia.
6. Teman-teman peminatan Geoteknik 2004 yang juga bersama-sama menerima ilmu Geoteknik agar nanti kedepannya tetap sukses di bidang ini.
7. Teman-teman Anugerah Kost (Kresna, Yan, Mamo, Tukul, Ceper, Kiki, Regi, Ojan dan Gusti) yang telah turut membantu lancarnya penyusunan skripsi ini.
8. Teman-teman angkatan lain.
9. Laboran-laboran yang bersedia membimbing pada berbagai praktikum.

Dan akhir kata penulis berharap semoga tulisan ini dapat memberi manfaat baik kepada diri penulis pribadi dan bagi semua mahasiswa pada umumnya.

Depok, 18 Juli 2008



Haries Yolanda

NPM 04 04 01 027 9

Haries Yolanda  
NPM 04 04 01 027 9  
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing  
I. Ir. Widjojo A. Prakoso, PhD  
II. Dr.-Ing. Ir. Henki W. Ashadi

## **SIMULASI PLAXIS *LOW STRAIN DYNAMIC TESTING* PADA TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP**

### **ABSTRAK**

Dari sekian banyak gedung yang telah dibangun, tentunya ada beberapa gedung yang tidak diketahui desain kondisi eksisting pondasinya baik dilihat dari jenis, kedalaman maupun dimensinya. Untuk dapat menentukan karakteristik-karakteristik dari pondasi yang belum diketahui kondisi eksistingnya tersebut dapat dilakukan dengan mempertimbangkan hal-hal yang belum diketahui untuk mempermudah dalam melakukan analisa. Pada penyusunan skripsi ini, penulis menetapkan kasus yang akan dianalisa yaitu kasus dimana penulis telah menentukan jenis dari pondasinya yaitu tiang tunggal dengan *pile cap* menggunakan material beton, tetapi tidak diketahui dimensi maupun kedalaman dari pondasi tersebut.

Penentuan dimensi ataupun kedalaman kondisi eksisting tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan *low strain dynamic testing*. Secara konsep, pengujian maupun interpretasinya tergolong sederhana dimana pengujian ini, pada dasarnya, identik dengan pengujian pemantulan gelombang. Dalam melakukan analisa tersebut, penulis dibantu dengan menggunakan salah satu *software* geoteknik yaitu PLAXIS v8. Output yang didapat berupa grafik *time domain* maupun *frequency domain*.

Kata kunci : pondasi kondisi eksisting, *low strain dynamic testing*, pemantulan gelombang, *pile cap*, PLAXIS, grafik *time domain* dan *frequency domain*.

Haries Yolanda  
NPM 04 04 01 027 9  
Civil Engineering Department

Counsellors :  
I. Ir. Widjojo A. Prakoso, PhD  
II. Dr.-Ing. Ir. Henki W. Ashadi

**PLAXIS SIMULATION *LOW STRAIN DYNAMIC TESTING*  
AT SINGLE PILE WITH PILE CAP**

**ABSTRACT**

From many buildings which have been built, there are several buildings have 'unknown' designs of existing condition of the deep foundation i.e. type, length and/or other dimensions. Determining characteristics of deep foundation which have 'unknown' designs of existing condition can be done with considering unknown things to easy for analyzing. In this paper, author decides cases which will be analyzed where cases which author has determined type of foundation i.e. drilled shaft with pile cap, but do not know deep foundation dimensions and lengths.

Determining dimensions and lengths of the existing deep foundations can be done with using "low strain dynamic testing". The testing and/or interpretation can be simple to do because this evaluation identical with wave reflection evaluations. Analyzing wave reflection, author uses one of Geotechnical Software i.e. PLAXIS Version 8. Outputs which are obtained from PLAXIS v8 that is graphics of time and frequency domain.

Keywords : existing foundation, low strain dynamic testing, wave reflection, pile cap, PLAXIS v8, graphics of time and frequency domain.

## DAFTAR ISI

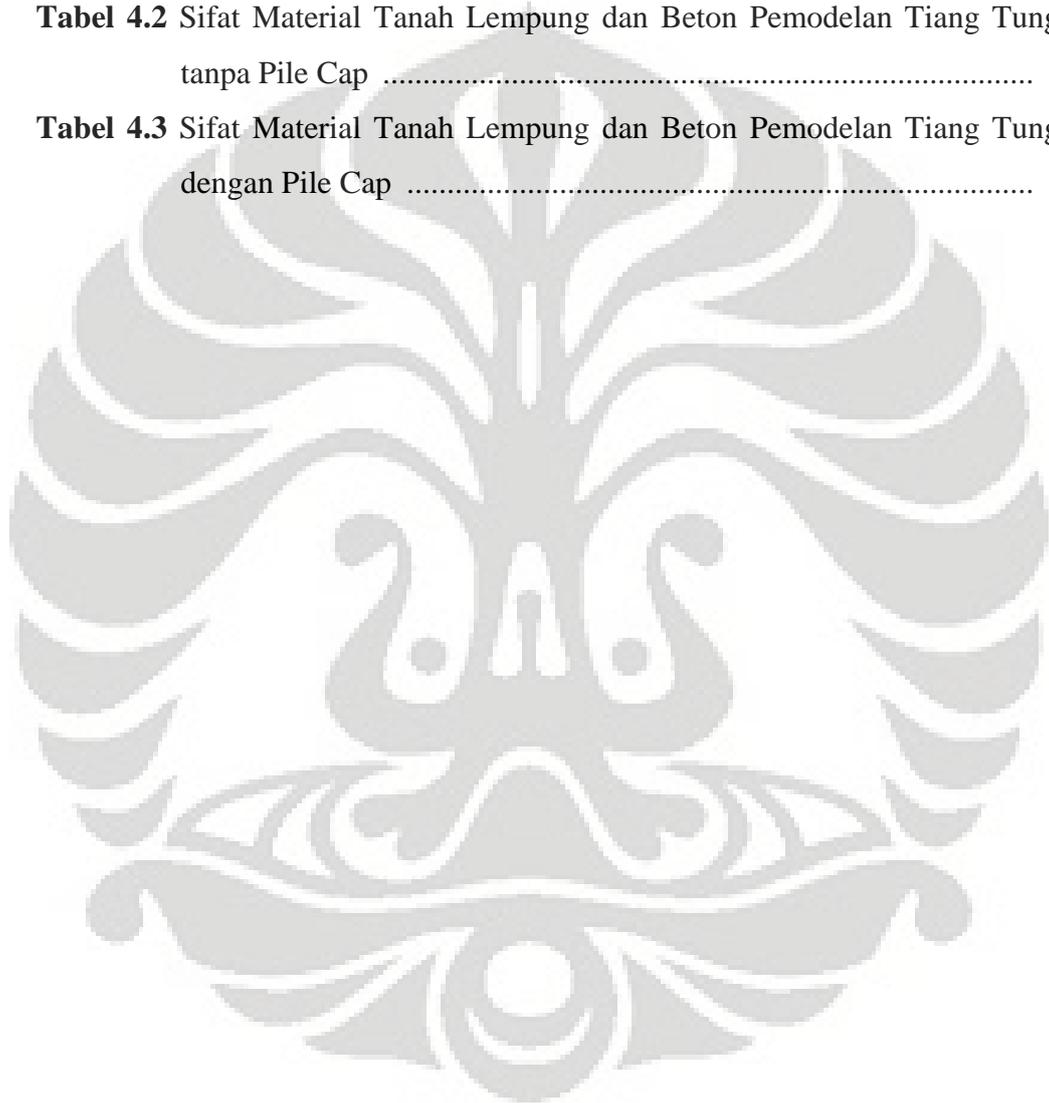
	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 MAKSUD DAN TUJUAN .....	2
1.3 RUANG LINGKUP PENULISAN .....	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN .....	3
BAB II LITERATUR .....	4
2.1 PERAMBATAN GELOMBANG .....	4
2.1.1 Teori Dasar .....	4
2.1.2 Cara Mengukur .....	11
2.1.3 Studi Kasus Sebelumnya .....	13
2.2 BETON .....	17
2.2.1 Hubungan Tegangan-Regangan .....	18
2.2.2 Rasio Poisson $\nu$ .....	18
2.2.3 Modulus Elastisitas .....	18
2.3 SOFTWARE PLAXIS V8 .....	19
2.3.1 Pengertian Metode Elemen Hingga .....	19
2.3.2 Input Plaxis V8 .....	19
2.3.3 Perhitungan Plaxis V8 .....	23
2.3.4 Output Plaxis V8 .....	23
BAB III METODOLOGI PENULISAN .....	24

3.1 ANALISA DENGAN BANTUAN PLAXIS V8 .....	24
3.1.1 Penentuan Input .....	24
3.1.2 Perhitungan Menggunakan Plaxis V8 .....	26
3.1.3 Output Dari Plaxis V8 .....	26
3.1.4 Analisa Hasil .....	26
3.2 PEMILIHAN KASUS .....	28
BAB IV PEMODELAN .....	30
4.1 PEMODELAN ROD .....	31
4.1.1 Model 1 .....	32
4.1.2 Model 2 .....	33
4.1.3 Model 3 .....	34
4.1.4 Model 4 .....	35
4.2 PEMODELAN TIANG TUNGGAL TANPA PILE CAP .....	36
4.2.1 Model Tiang Tunggal Tanpa Cacat .....	38
4.2.2 Model Tiang Tunggal Dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	39
4.2.3 Model Tiang Tunggal Dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	40
4.3 PEMODELAN TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP .....	41
4.3.1 Pile Cap Terbenam Di Dalam Tanah .....	43
4.3.2 Pile Cap Setengah Terbenam Di Dalam Tanah .....	44
4.3.3 Pile Cap Tidak Terbenam Di Dalam Tanah .....	45
4.3.4 Pile Cap Sedikit Tergantung Di Atas Tanah .....	46
4.3.5 Pile Cap Tanpa Tiang (Footing) Yang Tidak Terbenam Di Dalam Tanah .....	47
BAB V ANALISA HASIL .....	49
5.1 HASIL PEMODELAN ROD .....	50
5.1.1 Model 1 .....	50
5.1.2 Model 2 .....	52
5.1.3 Model 3 .....	54
5.1.4 Model 4 .....	56
5.1.5 Gabungan Model 1 – 4 .....	58
5.1.6 Analisa Hasil Pemodelan Rod .....	60
5.2 HASIL PEMODELAN TIANG TUNGGAL TANPA PILE CAP .....	63

5.2.1	Model Tiang Tunggal Tanpa Cacat .....	63
5.2.2	Model Tiang Tunggal Dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	65
5.2.3	Model Tiang Tunggal Dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	67
5.2.4	Analisa Hasil Pemodelan Tiang Tunggal Tanpa Pile Cap .....	69
5.3	HASIL PEMODELAN TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP .....	75
5.3.1	Pile Cap Terbenam Di Dalam Tanah .....	76
5.3.2	Pile Cap Setengah Terbenam Di Dalam Tanah .....	78
5.3.3	Pile Cap Tidak Terbenam Di Dalam Tanah .....	80
5.3.4	Pile Cap Sedikit Tergantung Di Atas Tanah .....	82
5.3.5	Pile Cap Tanpa Tiang Tunggal (Footing) Yang Tidak Terbenam Di Tanah .....	84
5.3.6	Analisa Hasil Pemodelan Tiang Tunggal Dengan Pile Cap .....	86
BAB VI KESIMPULAN .....		93
DAFTAR PUSTAKA .....		97

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 4.1</b> Sifat-sifat Material Beton pada Pemodelan Rod .....	31
<b>Tabel 4.2</b> Sifat Material Tanah Lempung dan Beton Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap .....	37
<b>Tabel 4.3</b> Sifat Material Tanah Lempung dan Beton Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap .....	42



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> P-Wave (Primary Wave) .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Jalur Lintas untuk Incident dan Reflected P-Wave pada Bidang Horizontal .....	5
<b>Gambar 2.3</b> Hubungan Waktu Lintas antara Direct dan Reflected Wave .....	6
<b>Gambar 2.4</b> Sebuah fungsi sederhana dan spektrum Fouriernya .....	8
<b>Gambar 2.5</b> Pergerakan perambatan gelombang satu dimensi .....	10
<b>Gambar 2.6</b> Proses Uji Integritas Tiang menggunakan Pile Integrity Test (PIT)	12
<b>Gambar 2.7</b> Pile Integrity Test (PIT) .....	12
<b>Gambar 2.8</b> Transducer dan Accelerometer .....	13
<b>Gambar 2.9</b> Beberapa Model Geometri Pengujian di NGES .....	14
<b>Gambar 2.10</b> Grafik Waktu Terhadap Beban pada Model 3 .....	14
<b>Gambar 2.11</b> Grafik Frekuensi Terhadap Beban pada Model 3.....	15
<b>Gambar 2.12</b> Grafik Waktu Terhadap Kecepatan pada Model 3 .....	15
<b>Gambar 2.13</b> Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan pada Model 3 .....	15
<b>Gambar 2.14</b> Grafik Frekuensi terhadap Mobilitas pada Model 3: (a) Hasil dibawah 2000 Hz; (b) Hasil dibawah 1000 Hz .....	16
<b>Gambar 2.15</b> Kurva tegangan-regangan beton silinder dengan beban uniaksial	18
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Analisa Menggunakan PLAXIS v8 .....	27
<b>Gambar 4.1</b> Model Geometri untuk Model 1 (Pemodelan Rod) .....	32
<b>Gambar 4.2</b> Model Geometri untuk Model 2 (Pemodelan Rod) .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Model Geometri untuk Model 3 (Pemodelan Rod) .....	34
<b>Gambar 4.4</b> Model Geometri untuk Model 4 (Pemodelan Rod) .....	35
<b>Gambar 4.5</b> Model Geometri untuk Model Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	38
<b>Gambar 4.6</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	38
<b>Gambar 4.7</b> Model Geometri untuk Model Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	39

<b>Gambar 4.8</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	39
<b>Gambar 4.9</b> Model Geometri untuk Model Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	40
<b>Gambar 4.10</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	40
<b>Gambar 4.11</b> Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah .....	43
<b>Gambar 4.12</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Terbenam di Tanah .....	44
<b>Gambar 4.13</b> Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	44
<b>Gambar 4.14</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	45
<b>Gambar 4.15</b> Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	45
<b>Gambar 4.16</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	46
<b>Gambar 4.17</b> Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	46
<b>Gambar 4.18</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	47
<b>Gambar 4.19</b> Pemodelan Pile Cap Tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Tanah .....	47
<b>Gambar 4.20</b> Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap Tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Tanah .....	48
<b>Gambar 5.1</b> Perbandingan hasil grafik dengan menggunakan Amplitude Multiplier yang berbeda .....	49
<b>Gambar 5.2</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 1 (Pemodelan Rod) .....	50
<b>Gambar 5.3</b> Grafik Spektrum Beban untuk Model 1 (Pemodelan Rod) .....	51
<b>Gambar 5.4</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 1 (Pemodelan Rod) .....	51

<b>Gambar 5.5</b> Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 1 (Pemodelan Rod) ...	51
<b>Gambar 5.6</b> Grafik Mobilitas untuk Model 1 (Pemodelan Rod) .....	52
<b>Gambar 5.7</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 2 (Pemodelan Rod)	52
<b>Gambar 5.8</b> Grafik Spektrum Beban untuk Model 2 (Pemodelan Rod) .....	53
<b>Gambar 5.9</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 2 (Pemodelan Rod) .....	53
<b>Gambar 5.10</b> Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 2 (Pemodelan Rod) .	53
<b>Gambar 5.11</b> Grafik Mobilitas untuk Model 2 (Pemodelan Rod) .....	54
<b>Gambar 5.12</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 3 (Pemodelan Rod)	54
<b>Gambar 5.13</b> Grafik Spektrum Beban untuk Model 3 (Pemodelan Rod) .....	55
<b>Gambar 5.14</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 3 (Pemodelan Rod) .....	55
<b>Gambar 5.15</b> Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 3 (Pemodelan Rod) .	55
<b>Gambar 5.16</b> Grafik Mobilitas untuk Model 3 (Pemodelan Rod) .....	56
<b>Gambar 5.17</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 4 (Pemodelan Rod)	56
<b>Gambar 5.18</b> Grafik Spektrum Beban untuk Model 4 (Pemodelan Rod) .....	57
<b>Gambar 5.19</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 4 (Pemodelan Rod) .....	57
<b>Gambar 5.20</b> Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 4 (Pemodelan Rod) .	57
<b>Gambar 5.21</b> Grafik Mobilitas untuk Model 4 (Pemodelan Rod) .....	58
<b>Gambar 5.22</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Rod .....	58
<b>Gambar 5.23</b> Grafik Spektrum Beban untuk Pemodelan Rod .....	59
<b>Gambar 5.24</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Rod .....	59
<b>Gambar 5.25</b> Grafik Spektrum Beban untuk Pemodelan Rod .....	59
<b>Gambar 5.26</b> Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Rod .....	60
<b>Gambar 5.27</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	63
<b>Gambar 5.28</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	63
<b>Gambar 5.29</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	64

<b>Gambar 5.30</b> Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	64
<b>Gambar 5.31</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat .....	64
<b>Gambar 5.32</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	65
<b>Gambar 5.33</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	65
<b>Gambar 5.34</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	66
<b>Gambar 5.35</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	66
<b>Gambar 5.36</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz) .....	66
<b>Gambar 5.37</b> Grafik Waktu - Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	67
<b>Gambar 5.38</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	67
<b>Gambar 5.39</b> Grafik Waktu - Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	68
<b>Gambar 5.40</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	68
<b>Gambar 5.41</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz) .....	68
<b>Gambar 5.42</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap dengan Total Waktu Simulasi 61 ms .....	69
<b>Gambar 5.43</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap dengan Total Waktu Simulasi 31 ms .....	70
<b>Gambar 5.44</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap dengan Total Waktu Simulasi 25 ms .....	70
<b>Gambar 5.45</b> Perbandingan Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap .....	72

<b>Gambar 5.46</b> Perbandingan Grafik Kecepatan terhadap Waktu pada Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap .....	73
<b>Gambar 5.47</b> Perbandingan Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap .....	74
<b>Gambar 5.48</b> Perbandingan Grafik Mobilitas pada Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap .....	75
<b>Gambar 5.49</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah .....	76
<b>Gambar 5.50</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah .....	76
<b>Gambar 5.51</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah .....	77
<b>Gambar 5.52</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah .....	77
<b>Gambar 5.53</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah .....	77
<b>Gambar 5.54</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	78
<b>Gambar 5.55</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	78
<b>Gambar 5.56</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	79
<b>Gambar 5.57</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	79
<b>Gambar 5.58</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	79
<b>Gambar 5.59</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	80
<b>Gambar 5.60</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah	80

<b>Gambar 5.61</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	81
<b>Gambar 5.62</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	81
<b>Gambar 5.63</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	81
<b>Gambar 5.64</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	82
<b>Gambar 5.65</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah	82
<b>Gambar 5.66</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	83
<b>Gambar 5.67</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	83
<b>Gambar 5.68</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	83
<b>Gambar 5.69</b> Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	84
<b>Gambar 5.70</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah ..	84
<b>Gambar 5.71</b> Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	85
<b>Gambar 5.72</b> Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	85
<b>Gambar 5.73</b> Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	85
<b>Gambar 5.74</b> Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah Menggunakan Total Waktu Simulasi 41 ms .....	86
<b>Gambar 5.75</b> Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah Menggunakan Total Waktu Simulasi 21 ms .....	86

<b>Gambar 5.76</b> Grafik Pembandingan Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap .....	88
<b>Gambar 5.77</b> Grafik Pembandingan Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah	89
<b>Gambar 5.78</b> Grafik Pembandingan Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah .....	89
<b>Gambar 5.79</b> Grafik Pembandingan Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	89
<b>Gambar 5.80</b> Grafik Pembandingan Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah .....	90
<b>Gambar 5.81</b> Grafik Pembandingan Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah .....	90
<b>Gambar 5.82</b> Gabungan Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap .....	92

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Di beberapa negara maju, khususnya di kota-kota besar, telah banyak terdapat gedung-gedung atau bangunan-bangunan yang tinggi. Dalam pembangunan gedung-gedung tersebut tentunya dilakukan dengan mengadakan perencanaan terlebih dahulu baik itu perencanaan desain maupun strukturnya.

Adapun dari sekian banyak gedung yang telah dibangun, tentunya ada beberapa gedung yang tidak diketahui desain kondisi eksisting pondasinya baik dilihat dari jenis, kedalaman maupun dimensinya. Hal ini disebabkan karena sebagian besar dari gedung-gedung tersebut telah berdiri dalam jangka waktu yang lama sehingga data-data tentang desain kondisi eksisting dari pondasi gedung tersebut seperti jenis, kedalaman, dimensi dan material tidak tersedia atau telah hilang. Terdapat dua jenis kasus pondasi yang tidak diketahui kondisi eksistingnya, yaitu sebagai berikut:

1. Pondasi dimana tidak diketahui jenis, kedalaman dan dimensinya,
2. Pondasi dimana diketahui jenisnya, tetapi tidak diketahui kedalaman dan dimensinya.

Pada penyusunan skripsi ini, penulis menetapkan kasus yang akan dianalisa yaitu kasus kedua dimana penulis telah menentukan jenis dari pondasinya yaitu tiang tunggal dengan *pile cap* menggunakan material beton, tetapi tidak diketahui dimensi maupun kedalaman dari pondasi tersebut.

Untuk dapat menentukan karakteristik-karakteristik dari pondasi yang belum diketahui kondisi eksistingnya tersebut dapat dilakukan dengan mempertimbangkan hal-hal yang belum diketahui untuk mempermudah dalam melakukan analisa. Namun, dalam kasus ini, penulis telah menentukan jenis pondasinya yaitu tiang tunggal dengan *pile cap* menggunakan material beton, sehingga hal-hal lain yang perlu dipertimbangkan lagi yaitu sebagai berikut:

1. Jenis pondasi, apakah merupakan pondasi dangkal atau pondasi dalam. Selain itu, ukuran jenis pondasi tersebut juga divariasikan, seperti diameter maupun kedalaman tiang yang berbeda-beda serta *pile cap* yang divariasikan berdasarkan posisinya di tanah.
2. Jenis tanah tiap lapisan pada pondasi, yaitu tanah lunak, sedang atau keras. Pada penyusunan skripsi ini, penulis melakukan analisa dengan menggunakan bantuan *software* geoteknik yaitu PLAXIS v8, dengan menganalisa *Low Strain Dynamic Testing* pada pondasi tiang tunggal dengan *pile cap*. Dari penyelidikan ini nantinya dapat diharapkan output yang baik sehingga dapat memperkirakan kondisi dari pondasi tersebut dengan berbagai pertimbangan yang berbeda-beda.

## 1.2 MAKSUD DAN TUJUAN

Adapun maksud dari penyusunan skripsi ini ialah untuk menganalisa perilaku gelombang yang terjadi pada pondasi tiang tunggal dengan *pile cap* yang menggunakan material beton agar dapat memperkirakan dimensi ataupun kedalaman dari kondisi eksistingnya.

Tujuan dari penyusunan skripsi ini ialah sebagai berikut:

1. Mengetahui beberapa teori dasar perambatan gelombang pada tiang tunggal dengan *pile cap*,
2. Memperkirakan kondisi eksisting pondasi tiang tunggal dengan *pile cap* dari perilaku gelombang yang terjadi,
3. Menganalisa grafik atau kurva baik dilihat dari *time domain* maupun *frequency domain*,
4. Menganalisa berbagai pertimbangan yang mungkin terjadi dengan menggunakan *software* PLAXIS v8.

## 1.3 RUANG LINGKUP PENULISAN

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis memfokuskan pada analisa kondisi eksisting pondasi tiang tunggal dengan *pile cap* menggunakan material beton. Penulis melakukan analisa menggunakan *software* geoteknik yaitu PLAXIS v8. Dalam hal ini, yang akan dianalisa yaitu perilaku gelombangnya dilihat dari *low strain dynamic testing* pada tiang tunggal dengan *pile cap*. Penulis melakukan

analisa dari berbagai kasus yang mungkin terjadi yaitu seperti posisi *pile cap* yang berbeda-beda, diameter dan kedalaman tiang yang berbeda-beda, parameter tanah yang berbeda-beda, dan lain sebagainya. Selain itu, output yang dapat ditampilkan oleh penulis yaitu dapat berupa grafik maupun tabel yang dapat mendukung analisa penulis nantinya.

#### **1.4 SISTEMATIKA PENULISAN**

Metode penulisan dalam skripsi ini dibagi dalam 6 (enam) bab, yaitu sebagai berikut:

- BAB I : Berisikan pendahuluan yang memuat latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, ruang lingkup penulisan dan sistematika penulisan.
- BAB II : Menjelaskan tentang teori dasar maupun cara mengukur perambatan gelombang, studi kasus, material beton, serta penjelasan tentang program yang digunakan yaitu PLAXIS v8.
- BAB III : Menjelaskan mengenai metodologi tahapan pengerjaan skripsi.
- BAB IV : Menjelaskan detail-detail pemodelan yang digunakan yaitu berupa model geometri, sifat-sifat material serta penyusunan jaringan elemen hingga.
- BAB V : Menampilkan grafik-grafik *time domain* dan *frequency domain* dari hasil simulasi yang dilakukan beserta analisa dan perhitungannya.
- BAB VI : Berisikan kesimpulan dari keseluruhan simulasi yang telah dilakukan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

Dalam penyusunan skripsi, diperlukan adanya acuan teori yang dapat mendukung penulis dalam melakukan analisa. Oleh karena itu, pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori dasar maupun cara mengukur perambatan gelombang, studi kasus sebelumnya, material beton, serta penjelasan tentang *software* yang digunakan yaitu PLAXIS v8.

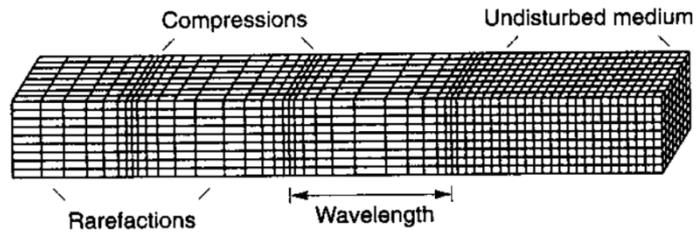
#### **2.1 PERAMBATAN GELOMBANG**

##### **2.1.1 Teori Dasar**

Gelombang merupakan getaran yang merambat melalui medium dengan frekuensi dan amplitudo yang tetap. Terdapat dua jenis gelombang, yaitu sebagai berikut:

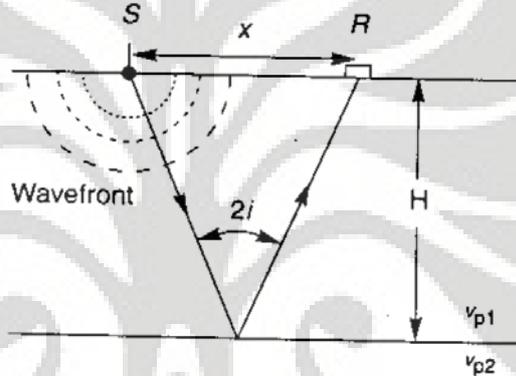
1. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya. Pada gelombang transversal yang merambat adalah bentuk bukit/bentuk lembah. Gelombang transversal hanya dapat terjadi dalam zat padat.
2. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarnya berhimpit atau searah dengan arah rambatnya. Yang merambat pada gelombang ini adalah rapatan dan regangan. Gelombang ini dapat merambat dalam semua wujud zat (padat, gas, cair).

Adapun gelombang yang disebabkan oleh tumbukan (*impact*) yang dipukulkan secara vertikal pada permukaan pondasi pada umumnya ialah *P-wave (Primary Wave)* dimana gelombang ini merupakan gelombang longitudinal (seperti terlihat pada gambar 2.1).



Gambar 2.1 P-Wave (Primary Wave)

Penentuan dimensi ataupun kedalaman kondisi eksisting dari sebuah pondasi dapat dilakukan dengan menggunakan *low strain dynamic testing*. Secara konsep, pengujian maupun interpretasinya tergolong sederhana dimana pengujian ini, pada dasarnya, identik dengan pengujian pemantulan gelombang.



Gambar 2.2 Jalur Lintas untuk Incident dan Reflected P-Wave pada Bidang Horizontal

Secara sederhana seperti terlihat pada gambar 2.2, dimana pengujian ini menghasilkan sebuah impuls dari sumber S, dan menghitung waktu rambat gelombang menuju R. Impuls menghasilkan gelombang yang menyebar menuju ke segala arah. Beberapa energi gelombang yang mengikuti jalur rambat langsung dari S ke R dan tiba di R pada:

$$t_d = \frac{\text{jarak lintas}}{\text{kecepatan gelombang}} = \frac{x}{v_p} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan menghitung  $x$  dan  $t_d$ , maka kecepatan *P-wave* dapat ditentukan dengan mudah. Namun, untuk beberapa energi gelombang lain yang melalui jalur rambat dengan membentuk sudut:

$$i = \tan^{-1} \frac{x}{2H} \dots\dots\dots (2.2)$$

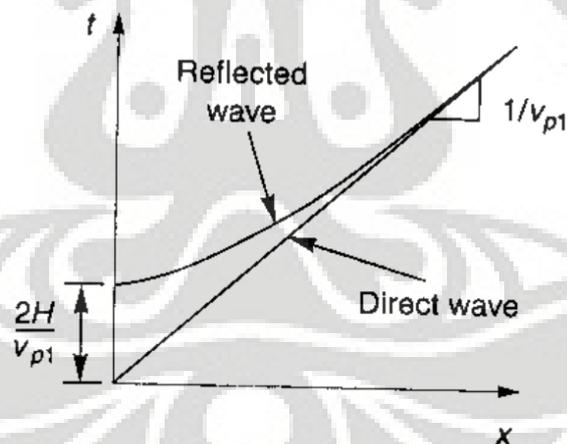
dimana beberapa energi gelombang tersebut dipantulkan sehingga tiba di R pada:

$$t_r = \frac{\text{jarak lintas}}{\text{kecepatan gelombang}} = \frac{2\sqrt{H^2+(x/2)^2}}{v_p} = \frac{\sqrt{4H^2+x^2}}{v_p} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan menghitung  $t_r$  dan mengetahui  $x$  dan  $v_p$  dari perhitungan rambat langsung, kedalaman lapisan dapat dihitung, yaitu sebagai berikut:

$$H = \frac{1}{2} \sqrt{t_r^2 v_p^2 - x^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Sedangkan pada gambar 2.3 ditunjukkan bahwa waktu tiba untuk gelombang langsung (*direct wave*) maupun gelombang yang dipantulkan (*reflected wave*) berhubungan. Apabila jarak lintasnya semakin jauh, maka selisih waktu tiba gelombang semakin kecil.



Gambar 2.3. Hubungan Waktu Lintas antara Direct dan Reflected Wave

Pada pondasi tiang dalam, besarnya waktu rambat gelombang tergantung juga pada karakteristik redaman dan penyebaran, dimana dilihat dari kondisi pada ujung pondasi. Kondisi pada ujung pondasi ditentukan ada dua jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi dimana pada ujung pondasi dalam keadaan bebas atau dalam keadaan *void*,

2. Kondisi dimana pada ujung pondasi terdapat tanah keras (*bed rock*).

Pada keadaan ujung bebas, *reflected wave* dan *incident wave* berada pada satu fase. Sedangkan pada keadaan ujung pondasi yang terdapat pada tanah keras, terdapat perbedaan fase antara *incident* dan *reflected wave* yaitu sebesar  $180^0$ . Oleh karena itu, kondisi dari ujung pondasi dapat dievaluasi dari perbedaan fase gelombang tersebut. Variasi pada fase dan besarnya gelombang terhadap waktu (*time domain*) ditentukan oleh perubahan waktu menjadi frekuensi (*frequency domain*) yang menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Pada analisa *time domain*, kecepatan akibat pukulan *hammer* pada kepala tiang diplot terhadap waktu. *Reflected wave* terbentuk akibat kelainan-kelainan pada tiang yang diidentifikasi dari hasil pengujian. Sedangkan analisa *frequency domain* dibentuk dengan melakukan perubahan sinyal-sinyal *time domain* dengan analisa Fourier menjadi spektrum frekuensi.

*Fourier Transform* sebuah fungsi merupakan penyajian akhir dari grafik sinus maupun kosinus pada frekuensi yang berbeda. Penyajian akhir ini, menurut teori, memiliki jumlah tak terhingga pada grafik sinus dan kosinus tersebut.

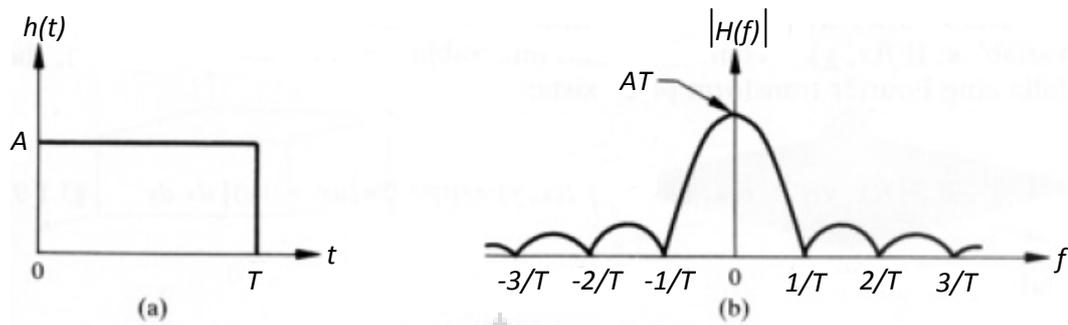
Kemudian,  $h(t)$  merupakan *continuous function* dari variabel  $t$ . *Fourier transform* dari  $h(t)$  didefinisikan dengan persamaan-persamaan berikut.

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-i2\pi ft} dt \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana  $i = \sqrt{-1}$  dan  $f$  sering disebut *frequency variable*. Setelah diketahui  $H(f)$ , sehingga dapat diperoleh  $h(t)$  dengan menggunakan *inverse* dari *Fourier transform* tersebut seperti berikut.

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{i2\pi ft} df \dots\dots\dots (2.6)$$

Berikut bentuk spektrum Fourier dari sebuah fungsi terhadap waktu yang sederhana dilihat dari Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Sebuah fungsi sederhana dan spektrum Fouriernya.

Selain menggunakan *continuous Fourier transform* diatas, juga bisa menggunakan *discrete Fourier transform* dimana cara ini menentukan jumlah nilai dengan batas nilai tertentu.

Ditentukan bahwa  $N$  merupakan *discrete sample* dari  $h(t)$ . Berikut *Fourier transform* dari  $h(t)$  didefinisikan dengan persamaan-persamaan berikut.

$$H(f) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} h(t) e^{-\frac{i2\pi ft}{N}} \dots\dots\dots (2.7)$$

untuk  $f = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ , dan

$$h(t) = \sum_{f=0}^{N-1} H(f) e^{\frac{i2\pi ft}{N}} \dots\dots\dots (2.8)$$

untuk  $t = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

*Discrete Fourier transform* biasanya digunakan pada komputer, tetapi tidak begitu efisien. Hal ini dikarenakan jumlah nilai yang digunakan memiliki perkalian dan penjumlahan yang kompleks yang sebanding dengan  $N^2$ . Dimana untuk setiap  $N(f)$  yang dihitung, dibutuhkan untuk menggunakan semua  $f(0), \dots, f(N - 1)$  dan ada  $N$  pada  $H(f)$  untuk menghitung. Oleh karena itu, *decomposition* yang tepat dari persamaan 2.7 dapat membuat jumlah operasi perkalian maupun penjumlahan menjadi  $N \log_2 N$ . Prosedur *decomposition* tersebut disebut *Fast Fourier Transform* (FFT).

Teori perambatan gelombang elastis mengindikasikan bahwa pondasi dalam seharusnya menghasilkan jarak frekuensi yang konsisten pada puncak-

puncak resonansi awal yang merupakan fungsi dari panjang tiang dan kecepatan rambat gelombang. Puncak-puncak resonansi dapat dengan mudah diidentifikasi, dan dengan menentukan perubahan frekuensi  $\Delta f$  pada puncaknya, panjang dari *transducer* ke sumber pemantulan  $L$  dapat ditentukan dengan rumus:

$$L = \frac{v_c}{2\Delta f} \dots\dots\dots (2.9)$$

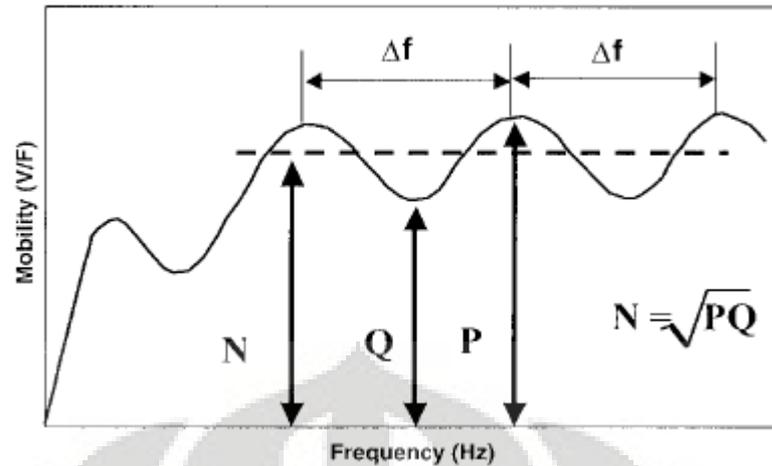
dimana  $v_c$  merupakan kecepatan rambat gelombang pada beton. Pergerakan rata-rata  $N_c$  dapat dihitung dengan menentukan rata-rata geometris dari puncak resonansi pada kurva pergerakan atau menggunakan rumus:

$$N_c = \sqrt{PQ} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana  $P$  dan  $Q$  merupakan pergerakan maksimum dan minimum, secara berurutan, pada puncak resonansi. Pergerakan teoritis  $N_T$  didefinisikan sebagai kebalikan dari *impedance* pada tiang (Davis and Robertson 1975; Stain 1982), diberikan rumus:

$$N_T = \frac{1}{\rho_c v_c A} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana  $\rho_c$  merupakan kepadatan beton dan  $A$  merupakan luas bidang tiang. Jika  $N_c$  lebih besar dibandingkan dengan  $N_T$ , maka kemungkinan ada perubahan bentuk pada tiang dikarenakan terjadi pengecilan pada tiang (*necking*) atau terjadi penurunan kualitas beton ( $\rho_c$  atau  $v_c$  rendah).



Gambar 2.5 Pergerakan perambatan gelombang satu dimensi

Resolusi sinyal impuls dapat didefinisikan pada hubungan perbandingan antara  $P$  dan  $Q$ . Resolusi sinyal yang tinggi ( $> 1$ ) memudahkan untuk membedakan dan menafsirkan panjang tiang dan lokasi kelainan yang terjadi. Ketika rasio  $P/Q \leq 1$ , maka frekuensi resonansi tidak dapat diidentifikasi.

Untuk memperoleh hasil perilaku gelombang yang lebih akurat, dapat dilakukan dengan menentukan ukuran elemen hingga sesuai dengan persamaan di bawah ini, yaitu sebagai berikut:

$$\text{Ukuran elemen hingga (s)} \leq \frac{v_c \times t_c}{25} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana  $v_c$  merupakan kecepatan rambat gelombang pada beton dan  $t_c$  merupakan waktu beban *impact* dari *hammer*.

Gaya dinamis akibat tumbukan dari hammer pada kepala pondasi akan menimbulkan regangan pada pondasi. Pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara pondasi dan tanah disekitarnya menimbulkan gelombang perlawanan atau reaksi tanah. Semakin besar kekuatan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul. Gelombang aksi maupun reaksi akibat perlawanan tanah akan direkam. Dari hasil rekaman, karakteristik gelombang-gelombang ini dapat dianalisa.

Uji integritas mudah untuk diimplementasikan, tetapi interpretasi dari data yang didapat sering mengalami kesulitan. Kesulitan tersebut dipengaruhi oleh

kondisi strukturnya, seperti aksesibilitas tiang dengan beberapa parameternya yaitu panjang tiang, kondisi *bearing* dan modulus serta hasil kerusakan dari kelainan geometrinya, seperti mengalami *necking*, *void*, atau *crack*. Dengan demikian, dilihat dari hasil uji, akan jarang menyerupai sebuah kurva yang ideal. Kesulitan akan bertambah apabila aksesibilitas dari tiang tersebut dibatasi oleh adanya *pile cap* atau struktur lainnya.

Pemodelan komputasi memberikan hasil yang cepat dan efisien. Akan tetapi, ketika diaplikasikan ke penelitian, pemodelan akan selalu menentukan asumsi nilai-nilai parameter dan akan sering mengidealiskan kondisi sebuah percobaan untuk mendapatkan hasil uji.

### **2.1.2 Cara Mengukur**

Masalah integritas tiang merupakan masalah yang rumit, karena keberadaan tiang dalam tanah yang tidak dapat dilihat dengan mata. Cara yang banyak dipakai menguji integritas tiang saat ini adalah dengan menggunakan alat *Pile Integrity Test* (ASTM D5882-96).

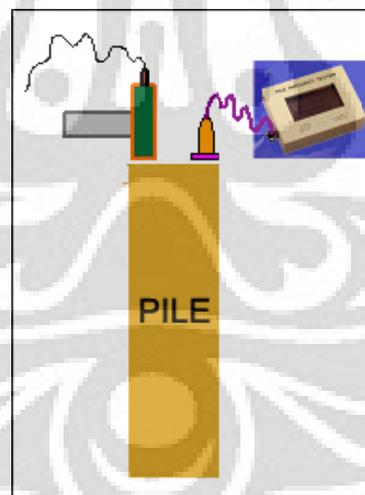
Metode ini merupakan cara pemantulan gelombang yang merambat dari atas pondasi tiang yang kemudian dilanjutkan dengan menganalisa frekuensi pada gelombang sehingga dapat mengidentifikasi perubahan geometri dari pondasi tersebut.

Dalam melakukan uji ini, gelombang yang memiliki frekuensi rendah diberikan pada permukaan atas pondasi dengan memukulkan sebuah *hammer* dimana tidak memerlukan pukulan yang besar. Gelombang yang merambat pada pondasi tersebut, akan memantul akibat perubahan geometri pondasi yang disebabkan oleh kerusakan, kelainan pada struktur, dan lain-lain. Jika gelombang yang merambat pada kerusakan geometri dari struktur pondasi tersebut, memiliki ukuran yang lebih besar atau sama dengan panjang gelombangnya, gelombang tersebut cukup untuk mencatat kemungkinan yang terjadi hingga ke dasar pondasi. Oleh karena itu, pemantulan gelombang yang tercatat tersebut adalah akibat dari kerusakan atau kelainan yang terjadi pada struktur pondasi tersebut.



Gambar 2.6 Proses Uji Integritas Tiang menggunakan Pile Integrity Test (PIT)

*Pile Integrity Test* (ASTM D5882-96) terdiri atas, (1) *Impulse hammer*, merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan gelombang pada permukaan atas pondasi dengan cara dipukulkan secara perlahan. *Hammer* ini memiliki berat 590 g hingga 3 kg dimana diperlukan untuk menghasilkan frekuensi yang berbeda. (2) *Accelerometer* dan *transducer*, digunakan untuk mencatat getaran yang dihasilkan pada pondasi. Bila rambatan gelombang mencapai lokasi *defect* (penampangnya mengecil) atau mencapai ujung tiang, maka akan terjadi pantulan gelombang. Pantulan gelombang akibat perubahan penampang akan menentukan tingkat kerusakan dari tiang, yang dinyatakan dengan BTA (%).



Gambar 2.7 Pile Integrity Test (PIT)



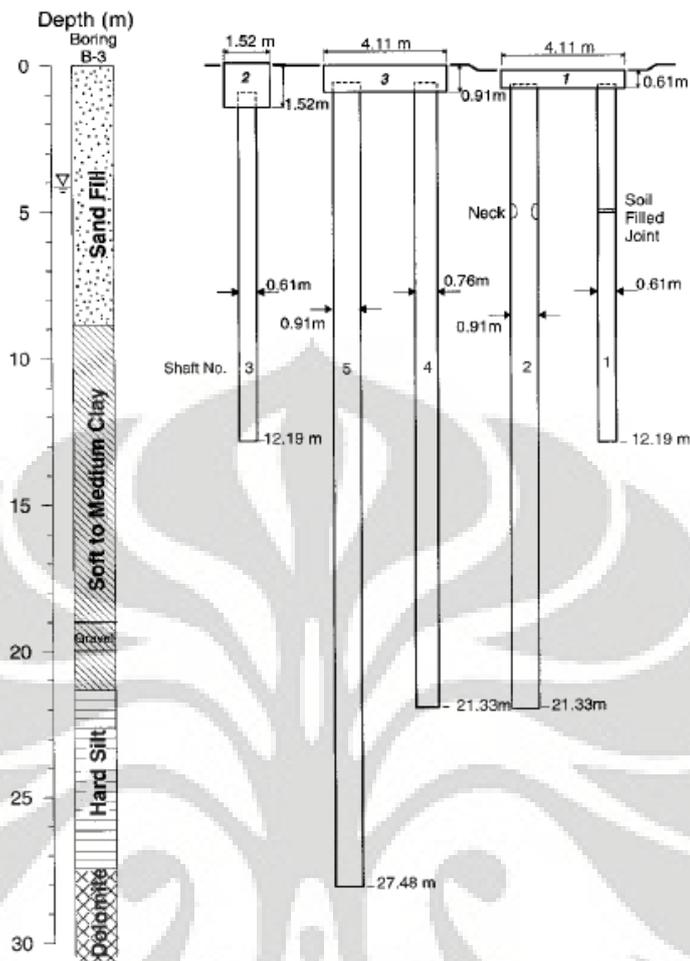
Gambar 2.8 Transducer dan Accelerometer

*Pile Integrity Test (PIT)* tidak memerlukan pekerjaan pendahuluan apapun pada tiang yang akan dites, seperti pemasangan tabung ataupun pekerjaan lainnya. PIT dapat langsung dikerjakan pada setiap tiang pondasi yang sudah tertanam didalam tanah, dengan menempelkan accelerometer pada permukaan atas kepala tiang. Accelerometer merekam gelombang akibat *impact* atas palu kecil yang dipukulkan pada permukaan kepala tiang tersebut. Pada uji PIT tidak diperlukan pukulan yang besar, tapi cukup menggunakan palu tangan, sehingga PIT disebut pula “*low strain testing*”.

### 2.1.3 Studi Kasus Sebelumnya

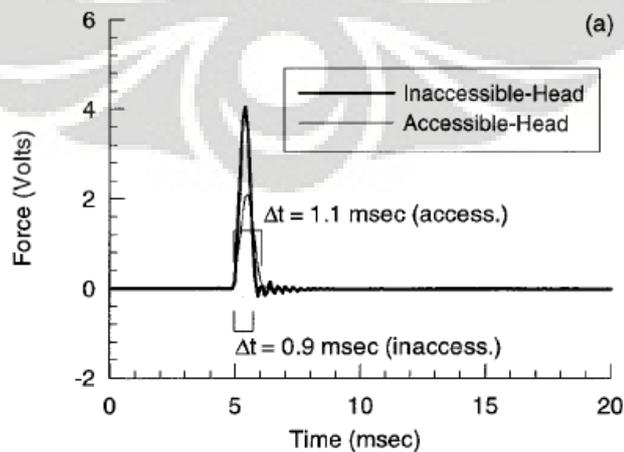
Sebuah pondasi dalam dimana terdiri dari tiang tunggal dan *pile cap* dibuat di *National Geotechnical Experimentation Site (NGES)* di *University of Northwestern* untuk diadakan evaluasi dengan menggunakan teknik *Nondestructive Evaluation (NDE)*. Pada teknik ini juga menggunakan respon impuls untuk menentukan panjang dan keutuhan pondasi dalam. Pengujian ini dilakukan terhadap beberapa variasi pondasi dalam. Percobaan ini dilakukan oleh Richard J. Finno dan Sarah L. Gassman dimana mereka melakukan perbandingan antara tiang tunggal tanpa *pile cap (Accessible-Head)* dengan tiang tunggal dengan *pile cap (Inaccessible-Head)*.

Adapun model-model geometri yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat dari Gambar 2.9.

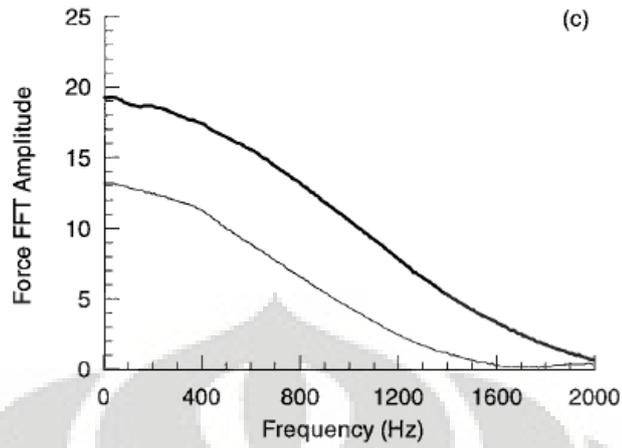


Gambar 2.9 Beberapa Model Geometri Pengujian di NGES

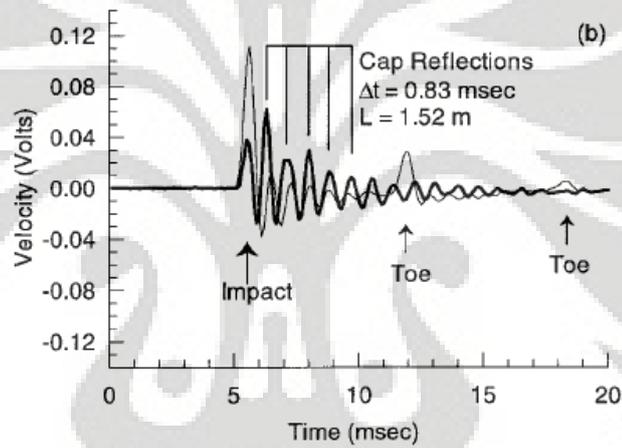
Dalam analisisnya, Finno dan Gassman, hanya menampilkan hasil-hasil pengujian yang dilakukan terhadap Model 3. Berikut hasil-hasil pengujian yang diperoleh berupa grafik *time domain* dan *frequency domain* yaitu sebagai berikut:



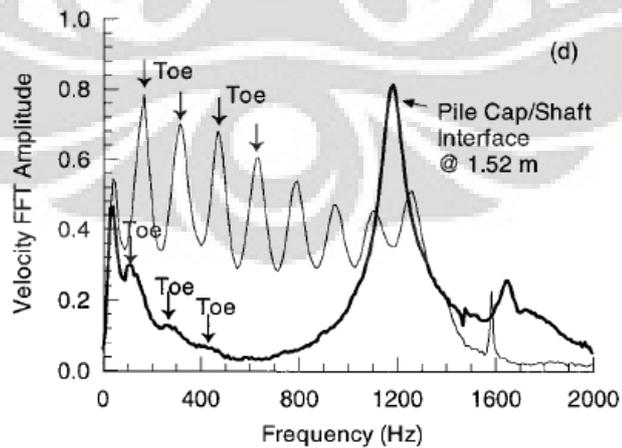
Gambar 2.10 Grafik Waktu Terhadap Beban pada Model 3



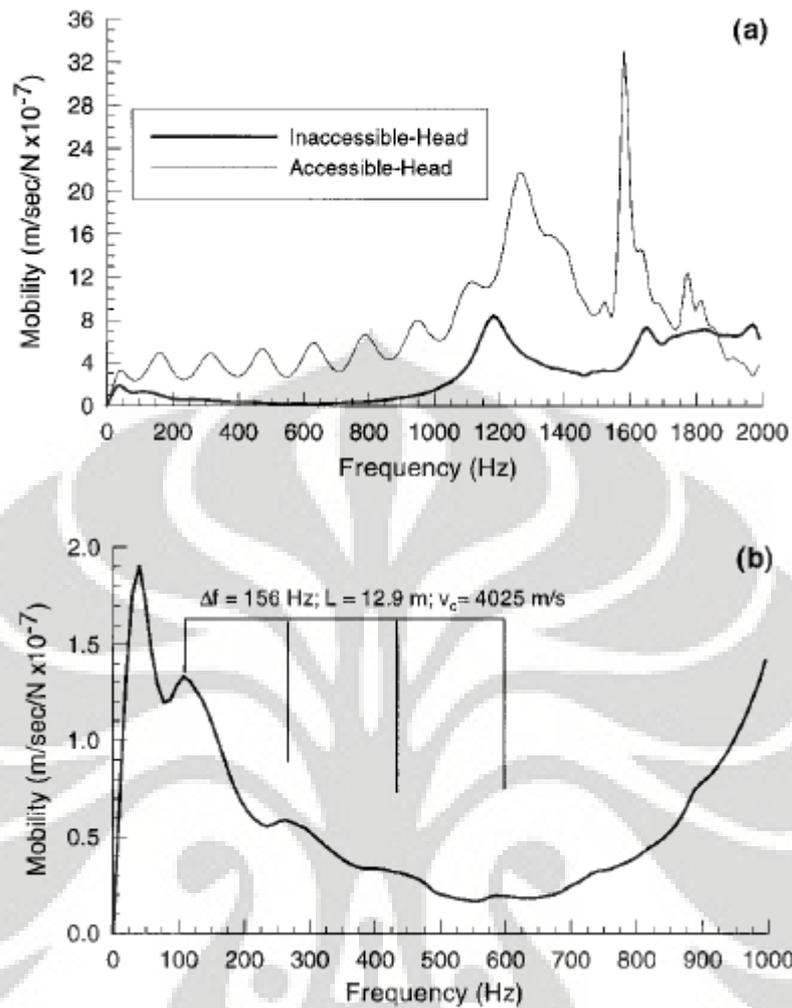
Gambar 2.11 Grafik Frekuensi Terhadap Beban pada Model 3



Gambar 2.12 Grafik Waktu Terhadap Kecepatan pada Model 3



Gambar 2.13 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan pada Model 3



Gambar 2.14 Grafik Frekuensi terhadap Mobilitas pada Model 3: (a) Hasil dibawah 2000 Hz; (b) Hasil dibawah 1000 Hz

Dilihat dari Gambar 2.10, bahwa beban untuk *inaccessible-head* menggunakan *magnitude* yang lebih besar dan waktu beban yang lebih kecil dibandingkan *accessible-head*. Pada Gambar 2.11, merupakan hasil FFT dari beban dimana terlihat bahwa frekuensi untuk beban dibedakan untuk *accessible-head* dengan *inaccessible-head* karena dibutuhkan energi yang lebih besar pada pengujian *inaccessible-head* untuk melakukan penetrasi melalui cap, mencapai kaki tiang, dan memantul kembali menuju kepala tiang.

Dari grafik waktu terhadap kecepatan dapat ditentukan panjang struktur. Namun, pada Gambar 2.12, panjang keseluruhannya tidak dapat ditentukan karena dilihat dari perilaku gelombangnya tidak terdapat perubahan karena gelombang

akibat beban telah terpantulkan sebelum waktunya selesai karena tinggi *pile cap* yang tergolong rendah. Berikut perhitungannya.

- Tinggi *pile cap* = 1,52 m
- $\Delta t = \frac{2L}{v_c} = \frac{2 \times 1,52}{3663} = 0,83 \text{ ms}$

Spektrum kecepatan dilihat dari Gambar 2.13 dapat menunjukkan puncak-puncak resonan awal kira-kira di bawah 600 Hz. Puncak-puncak awal merupakan resonansi dari pemantulan dari kaki tiang, dengan nilai berkisar 156 Hz dan menggunakan kecepatan rambat gelombang 4025 m/s. Selain itu, dapat juga dilihat bahwa terjadi perkuatan frekuensi pada 1200 Hz, dimana ini merupakan resonansi dari pemantulan yang terjadi pada *interface* antara dasar *pile cap* dan kepala tiang. Untuk lebih jelasnya, dapat dianalisa dari grafik mobilitas.

Pada grafik mobilitas dilihat dari Gambar 2.14, dapat ditentukan panjang total tiang dan *pile cap* serta tinggi *pile cap* itu sendiri. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang total tiang dan *pile cap* yaitu dengan menentukan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang sama pada puncak-puncak resonan awal karena merupakan resonansi dari pemantulan pada kaki tiang, sedangkan tinggi *pile cap* dapat ditentukan dari puncak resonan yang mengalami perkuatan frekuensi dimana merupakan resonansi pada *interface* antara dasar *pile cap* dan kepala tiang. Adapun perhitungannya yaitu sebagai berikut:

- Panjang total tiang dan *pile cap* = 12,9 m
- $\Delta f_{\text{tiang dan pile cap}} = \frac{v_c}{2L} = \frac{4025}{2 \times 12,9} = 156 \text{ Hz}$

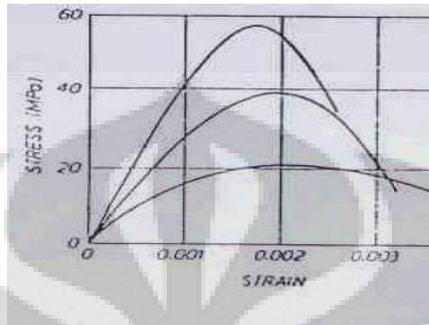
## 2.2 BETON

Beton adalah suatu campuran atau komposit dari bahan batuan atau agregat baik halus maupun kasar yang direkatkan oleh pasta semen (campuran air dan semen) dan kadang-kadang ditambah bahan kimia tambahan (admixtures). Campuran tersebut mengeras dan menyerupai batu. Rongga yang terbentuk oleh agregat kasar diisi oleh agregat halus dan pasta semen.

Dalam penyusunan skripsi ini, hal yang perlu dijelaskan dari material beton ialah yang berkaitan dengan perambatan gelombang yang terjadi pada material ini yaitu sebagai berikut:

### 2.2.1 Hubungan tegangan-regangan

Dari percobaan kekuatan tekan terhadap benda uji dapat dibuat suatu bentuk kurva yang menyatakan nilai tegangan yang bersesuaian dengan nilai regangan betonnya.



Gambar 2.15 Kurva tegangan-regangan beton silinder dengan beban uniaksial

Pada gambar di atas dapat dilihat kurva tegangan-regangan tipikal yang dihasilkan dari uji tekan silinder beton. Beton yang berkekuatan lebih rendah mempunyai daktilitas yang lebih tinggi dari beton yang berkekuatan tinggi, dan tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan diantara 0,002 dan 0,0025. Regangan batas (*ultimate*) pada saat hancurnya beton berkisar antara 0,003 sampai 0,008, tetapi harga regangan maksimum yang dipakai dalam prakteknya adalah 0,003.

### 2.2.2 Rasio poisson $\nu$

Tekanan uniaksial pada silinder beton, selain menimbulkan regangan aksial (memendek) juga menimbulkan regangan lateral (mengembang). Perbandingan regangan lateral terhadap regangan aksial ini dinyatakan dalam rasio poisson,

$$\nu = \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}} \dots \dots \dots (2.13)$$

### 2.2.3 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton sering didefinisikan sebagai kemiringan garis singgung pada segmen pertama garis parabola pada grafik tegangan-regangan beton (modulus tangen atau *tangent modulus*). Sedangkan yang lebih umum diambil sebagai modulus elastisitas beton adalah kemiringan garis yang melalui

titik  $0,5 f_c'$  yang disebut modulus sekan (*modulus secant*). Modulus elastisitas beton bervariasi karena sifat beton yang merupakan material heterogen. Modulus elastisitas dari beton juga bergantung pada umur dari beton, properti dari agregat dan semen, tingkat pembebanan, serta tipe dan ukuran dari spesimen.

## 2.3 SOFTWARE PLAXIS V8

### 2.3.1 Pengertian Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah sebuah penyelesaian komputasi yang digunakan untuk mendapatkan perkiraan solusi terhadap permasalahan matematika yang terdapat pada bermacam bidang geoteknik. Fitur utama pada metode ini adalah rumus-rumus matematika yang diperkirakan dari rangkaian rumus aljabar yang dievaluasi dari titik-titik tertentu dalam bidang yang ditentukan. Rumus-rumus elemen hingga dirumuskan dan diselesaikan dalam banyak cara dimana meminimalkan kesalahan perkiraan solusi.

Langkah awal pada banyak analisa elemen hingga ialah menghasilkan jaring elemen hingga. Jaring tersebut terdiri dari elemen yang terhubung pada nodal. Nodal merupakan titik-titik pada jaring dimana nilai variabel utama dihitung. Misalnya, untuk analisa *displacement*, variabel utamanya merupakan nilai-nilai nodal *displacement*. Nilai-nilai nodal *displacement* diinterpolasikan dalam elemen agar memberikan tanda aljabar untuk *displacement* dan regangan pada jaring. Kemudian, constitutive law digunakan untuk menghubungkan regangan terhadap tegangan dan juga digunakan untuk penghitungan gaya yang bekerja pada nodal. Gaya-gaya nodal dihubungkan ke nodal displacement oleh rumus kekakuan yang diselesaikan pada program elemen hingga agar mendapatkan nilai nodal *displacement*.

### 2.3.2 Input PLAXIS v8

Adapun input yang akan digunakan penulis dalam penggunaan PLAXIS v8 yaitu sebagai berikut:

1. *Getaran sumber-tunggal*

Permasalahan getaran sumber-tunggal seringkali dimodelkan dengan menggunakan model axi-simetri, tidak seperti analisis deformasi statis yang

umumnya menggunakan model regangan bidang. Hal ini karena gelombang pada axi-simetri akan menyebar dalam pola yang serupa dengan penyebaran gelombang pada sistem tiga dimensi. Dalam sistem ini, penyebaran energi akan menyebabkan atenuasi gelombang terhadap jarak. Efek ini dapat dikaitkan sebagai redaman geometri, yang secara definisi telah diikutsertakan dalam model axi-simetri. Dalam permasalahan getaran sumber-tunggal, redaman geometri umumnya memberikan kontribusi paling penting terhadap redaman dari sistem. Oleh karena itu, untuk permasalahan getaran sumber-tunggal, perlu menggunakan model axi-simetri.

## 2. *Percepatan gravitasi*

Secara langsung, percepatan gravitasi bumi,  $g$ , diatur sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Nilai ini digunakan untuk menghitung kepadatan material,  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ), dan berat isi,  $\gamma$  ( $\rho = \gamma/g$ ).

## 3. *Satuan*

Dalam analisis dinamik, satuan waktu umumnya diatur ke detik. Interval waktu dalam analisis dinamik selalu merupakan waktu dinamis dan PLAXIS selalu menggunakan detik sebagai satuan dari waktu dinamis tersebut.

## 4. *Batas Penyerap Standar*

Batas penyerap digunakan untuk menyerap peningkatan tegangan pada batas model yang disebabkan oleh beban dinamis, yang jika tidak diserap maka akan dipantulkan ke dalam massa tanah. Untuk getaran sumber-tunggal, PLAXIS mempunyai pengaturan pra-pilih untuk menerapkan batas penyerap secara teratur. Untuk model axi-simetri, batas penyerap standar hanya diterapkan pada sisi kanan dan dasar dari batas model.

## 5. *Beban eksternal dan perpindahan tertentu*

Dalam PLAXIS v8, input dari beban dinamis serupa dengan beban statis. Disini, pilihan beban eksternal standar (beban terpusat dan beban merata serta perpindahan tertentu) dapat digunakan. Dalam program input, pengguna harus menentukan sistem beban yang akan digunakan sebagai beban dinamis. Sistem beban yang diatur sebagai beban dinamis, tidak dapat digunakan

sebagai beban statis. Sistem beban yang tidak diatur sebagai beban dinamis, dianggap sebagai beban statis.

## 6. *Parameter Model*

Analisis dinamik secara prinsip tidak memerlukan parameter model tambahan. Walaupun demikian, parameter alternatif dan/atau parameter tambahan dapat digunakan untuk menentukan kecepatan gelombang dan untuk mengikutsertakan redaman material.

### a. *Cepat rambat gelombang $V_p$ dan $V_s$*

Parameter material ditentukan dalam lembar-tab *Parameter* dari jendela *Sifat material*. Saat memasukkan parameter elastic  $E$  dan  $\nu$ , cepat rambat gelombang  $V_p$  dan  $V_s$  yang bersangkutan secara otomatis dihitung, dengan syarat berat isi yang benar telah ditentukan. Namun demikian, untuk model *Mohr-Coulomb* dan model linier elastis dapat memasukkan cepat rambat gelombang  $V_p$  dan  $V_s$  sebagai alternatif untuk parameter  $E$  dan  $\nu$ . Nilai tersebut akan dihitung oleh PLAXIS.

### b. *Alpha dan Beta Rayleigh*

Redaman material dalam tanah umumnya diakibatkan oleh sifat viskositas, friksi dan terjadinya plastisitas. Walaupun demikian, model-model tanah dalam PLAXIS saat ini tidak mengikutsertakan viskositas, tetapi efek redaman diasumsikan proporsional terhadap massa dan kekakuan dari sistem (redaman Rayleigh), yaitu:

$$C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana  $C$  menyatakan redaman,  $M$  adalah massa,  $K$  adalah kekakuan dan  $\alpha$  (alpha) serta  $\beta$  (beta) adalah koefisien-koefisien Rayleigh.

Pengaturan standar dalam PLAXIS mengasumsikan tidak terjadi redaman Rayleigh (alpha dan beta Rayleigh bernilai nol). Namun, redaman dapat dimasukkan dalam kumpulan data material untuk tanah dan

antarmuka. Dalam lembar-tab *Umum* dari jendela material, klik tombol *Tingkat lanjut*. Kemudian dalam jendela *Sifat-sifat umum tingkat lanjut* nilai alpha dan/atau beta Rayleigh dapat diatur. Dengan cara yang serupa, redaman Rayleigh juga dapat diterapkan pada kumpulan data material dari pelat. Dalam permasalahan getaran sumber-tunggal yang menggunakan model axi-simetri, redaman Rayleigh tidak perlu diikutsertakan karena sebagian besar redaman disebabkan oleh redaman geometri.

*c. Penentuan koefisien redaman Rayleigh*

Merupakan suatu fakta yang telah diketahui dengan baik bahwa redaman dalam struktur tanah sangat mempengaruhi nilai dan bentuk dari respon tanah. Meskipun telah banyak dilakukan riset dalam bidang ini, namun hanya sedikit pengembangan yang telah dicapai dalam prosedur yang diterima secara umum untuk menentukan parameter redaman. Namun, untuk kepentingan rekayasa, beberapa usaha telah dilakukan untuk mengikutsertakan redaman material dan redaman geometri. Sebuah parameter teknis yang umum digunakan adalah rasio redaman,  $\zeta$ .

Dalam metode elemen hingga, redaman Rayleigh memiliki salah satu prosedur untuk menangani redaman yang menyatukan efek redaman di dalam matriks massa dan kekakuan dalam sistem. Alpha Rayleigh adalah parameter yang menentukan pengaruh dari massa terhadap redaman dari sistem. Semakin tinggi nilai alpha, semakin banyak frekuensi rendah yang teredam. Beta Rayleigh adalah parameter yang menentukan pengaruh dari kekakuan terhadap redaman dari sistem. Semakin tinggi nilai beta, semakin banyak frekuensi tinggi yang teredam.

Koefisien redaman Rayleigh  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat ditentukan dari setidaknya dua buah rasio redaman,  $\zeta$ , yang berhubungan dengan dua buah frekuensi getar,  $\omega_i$ . Hubungan antara  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\zeta$ , dan  $\omega_i$  dapat dinyatakan sebagai:

$$\alpha + \beta \cdot \omega_i^2 = 2 \cdot \omega_i \cdot \zeta_i \dots\dots\dots (2.15)$$

Hubungan ini mengandung arti bahwa jika diketahui dua buah rasio redaman pada frekuensi-frekuensi tertentu, maka persamaan simultan dapat dibentuk dimana nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dihitung.

### 2.3.3 Perhitungan PLAXIS v8

Dalam program perhitungan, penulis mendefinisikan beban dinamis dengan mengaktifkan perpindahan dan beban sebagai fungsi dari waktu dengan mengatur faktor-faktor pengali yang bersangkutan.

Perhitungan dinamis dapat didefinisikan dengan memilih *Analisis dinamik* dalam kotak jenis perhitungan pada lembar-tab *Umum*. Dengan PLAXIS dimungkinkan untuk melakukan analisis dinamik setelah beberapa perhitungan plastis sebelumnya. Walaupun demikian terdapat beberapa keterbatasan sebagai berikut:

1. Jaring elemen yang diperbaharui tidak dapat digunakan dalam analisis dinamik.
2. Jenis pembebanan berupa tahapan konstruksi untuk perhitungan dinamis tidak dapat digunakan.

### 2.3.4 Output PLAXIS v8

Untuk output, penulis akan menampilkan berbagai keluaran yang nantinya akan menjadi sumber untuk mengadakan analisa terhadap kasus dalam penyusunan skripsi ini, diantaranya:

1. Menampilkan kurva kecepatan atau percepatan sebagai fungsi terhadap waktu yang disebut juga grafik *time domain*.
2. Memungkinkan untuk melakukan transformasi dari kurva menjadi sebuah spektrum frekuensi dengan menggunakan FFT atau *Fast Fourier Transform* yang disebut juga grafik *frequency domain*.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam penyusunan skripsi, diperlukan adanya acuan tahap-tahap pengerjaan skripsi yang dapat mempermudah penulis. Oleh karena itu, pada bab ini akan menjelaskan mengenai tahapan pengerjaan skripsi mulai dari penentuan input hingga mendapatkan hasil output untuk dilakukan analisa.

#### **3.1. ANALISA DENGAN BANTUAN PLAXIS V8**

Dalam program PLAXIS, ada prosedur perhitungan yang harus dilalui dengan benar sehingga tidak terjadi kesalahan dalam proses analisisnya. Bagi pengguna yang awam, akan menganggap output yang dihasilkan program sesuai dengan contoh bentuk kasus yang dibuatnya. Dengan mengetahui tahapan-tahapan beserta fungsinya, diharapkan dapat meminimalisasi kesalahan pengguna dalam membuat bentuk kasus dengan menggunakan program PLAXIS. Perbedaan dalam proses aplikasi perhitungan dengan program PLAXIS didasarkan atas kasus yang ada sehingga perlu pendalaman dalam aplikasi program PLAXIS agar tidak terjadi kesalahan dalam perhitungannya.

Adapun tahapan-tahapan yang harus dilalui dalam mendapatkan hasil yang diinginkan pada PLAXIS v8 yaitu sebagai berikut:

##### **3.1.1 Penentuan Input**

Hal-hal yang dibutuhkan untuk dijadikan input pada PLAXIS v8, antara lain:

- a. *Permodelan global*, dimana untuk keseluruhan kasus, dimisalkan sebagai getaran sumber-tunggal karena getarannya berasal dari satu sumber yaitu dari pukulan *hammer* yang dipukulkan pada permukaan *pile cap*. Oleh karena itu, getaran sumber-tunggal ini dimodelkan dengan menggunakan model axi-simetri, dimana gelombang pada axi-simetri akan menyebar

dalam pola yang serupa dengan penyebaran gelombang pada sistem tiga dimensi hingga mencapai ujung atau dasar pondasi.

b. *Permodelan struktur*, dengan:

- Menggambar bangunan konstruksi (secara geometri).
- Menentukan properti material yang digunakan, baik properti material beton maupun properti tanah.
- Menentukan beban yang bekerja (bila ada), untuk keseluruhan kasus, tidak menggunakan beban luar, beban hanya diakibatkan oleh beban dinamis akibat pukulan *hammer*.

c. *Percepatan gravitasi*,  $g$ , diatur sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

d. *Satuan*, dalam analisis dinamik, satuan waktu umumnya diatur ke detik, satuan panjang menggunakan m dan satuan gaya menggunakan kN.

e. *Batas Penyerap Standar*, dimana digunakan untuk menyerap peningkatan tegangan pada batas model yang disebabkan oleh beban dinamis, yang jika tidak diserap maka akan dipantulkan ke dalam massa tanah. Untuk getaran sumber-tunggal, PLAXIS mempunyai pengaturan pra-pilih untuk menerapkan batas penyerap secara teratur. Pilihan ini dapat diaktifkan dari menu *Beban*.

f. *Parameter Model*, diantaranya:

- *Cepat rambat gelombang*  $V_p$  dan  $V_s$ , dimana ditentukan dalam lembar-tab *Parameter* dari jendela *Sifat material*. Saat memasukkan parameter elastic  $E$  dan  $\nu$ , cepat rambat gelombang  $V_p$  dan  $V_s$  yang bersangkutan secara otomatis telah dihitung, dengan syarat berat isi yang benar telah ditentukan
- *Alpha dan Beta Rayleigh*, dalam keadaan standar, bernilai nol.
- *Koefisien redaman Rayleigh*, dimana pada permasalahan getaran sumber-tunggal yang menggunakan model axi-simetri, tidak perlu diikutsertakan karena sebagian besar redaman disebabkan oleh redaman geometri.

### 3.1.2 Perhitungan menggunakan PLAXIS v8

Perhitungan dinamis dapat dilakukan dengan memilih *Analisis dinamik* dalam kotak jenis perhitungan pada lembar-tab *Umum*.

### 3.1.3 Output dari PLAXIS v8

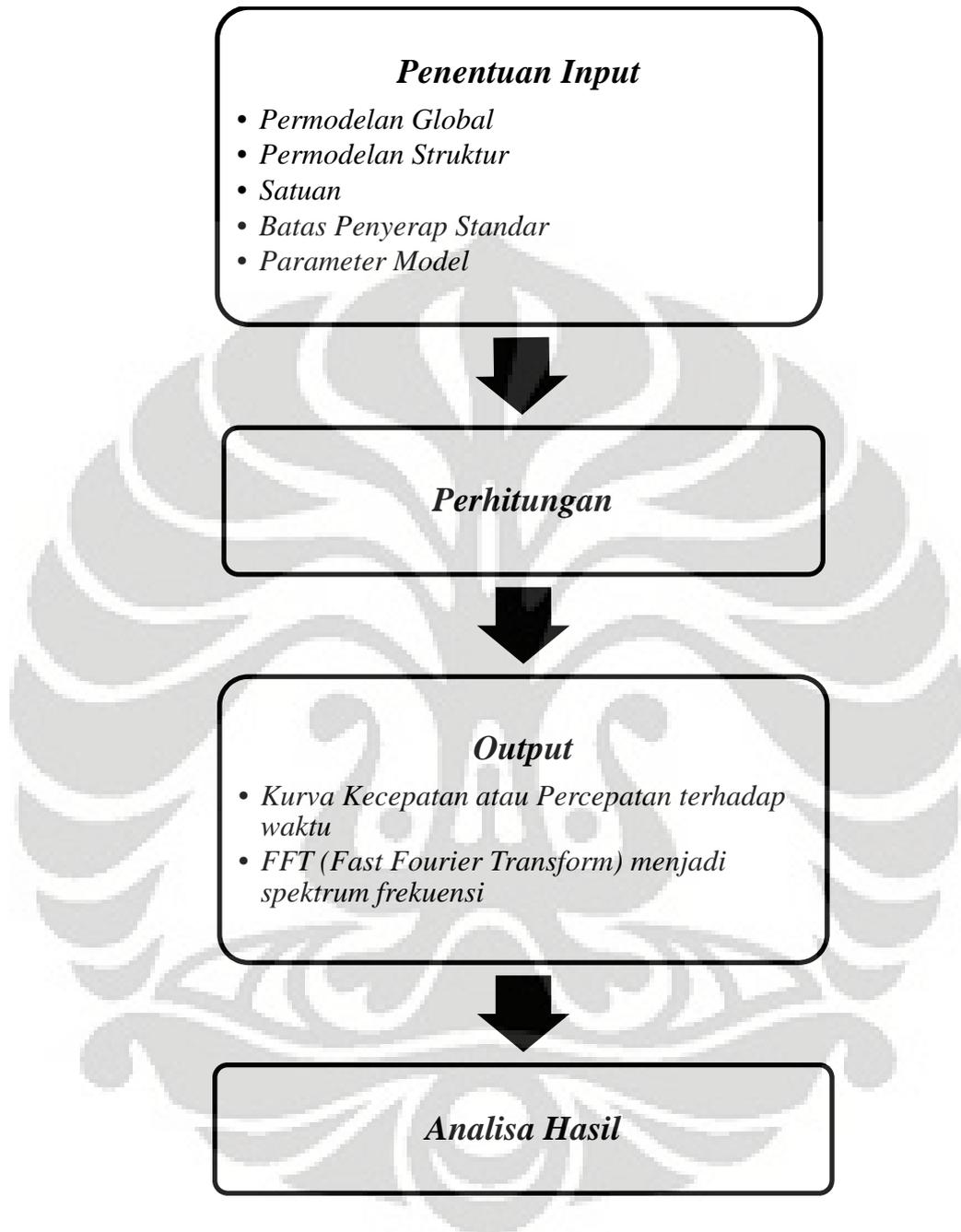
Adapun output yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan PLAXIS v8, yaitu sebagai berikut:

1. Menampilkan grafik *time domain* yaitu berupa kurva kecepatan atau percepatan maupun perpindahan sebagai fungsi terhadap waktu. Pilih *Radio button* yang sesuai. Jika ingin menampilkan gerakan dari titik tertentu dalam geometri, maka memilih titik tersebut dengan *Pilih titik untuk kurva* dalam program Perhitungan.
2. Memungkinkan untuk melakukan transformasi dari kurva menjadi sebuah spektrum frekuensi dengan menggunakan FFT atau *Fast Fourier Transform* disebut juga grafik *frequency domain*. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan pilihan *Diagram* dalam menu *Format* atau dengan meng-klik tombol *Pengaturan diagram* pada *toolbar*. Dalam jendela *Pengaturan diagram*, dapat mengaktifkan pilihan *Gunakan representasi frekuensi (spectrum)* dan salah satu dari tiga jenis spektrum (Frekuensi standar (Hz), Frekuensi angular (rad/dtk) atau Periode gelombang (dtk)).

### 3.1.4 Analisa Hasil

Adapun analisa yang akan dilakukan oleh penulis dari input yang telah ditentukan maupun output yang telah diperoleh ialah berupa analisa kecepatan atau percepatan terhadap waktu serta FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk melakukan transformasi menjadi sebuah spektrum frekuensi. Kemudian dari hasil yang didapat tersebut, dapat dilakukan analisa untuk menentukan dimensi serta kedalamannya.

*Diagram Alir Analisa Menggunakan PLAXIS v8*

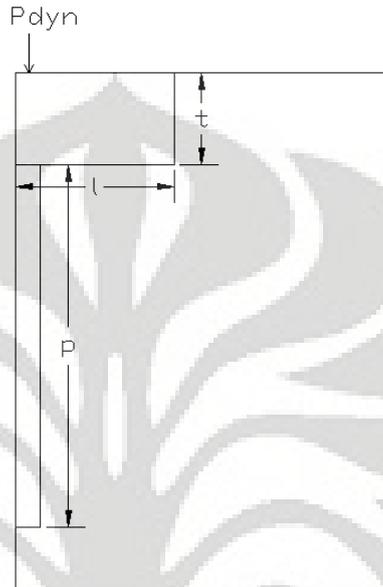


Gambar 3.1 Diagram Alir Analisa Menggunakan PLAXIS v8

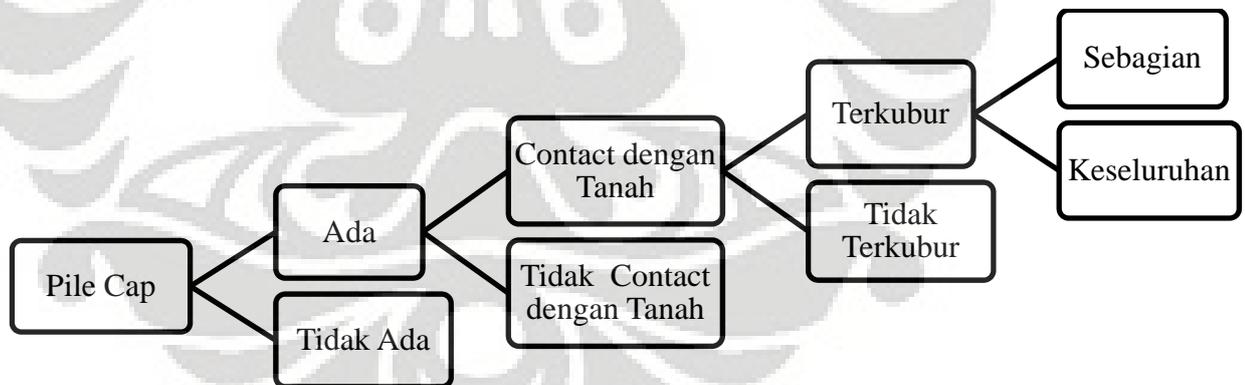
### 3.2. PEMILIHAN KASUS

Adapun kasus-kasus yang akan diambil pada penulisan skripsi ini yaitu:

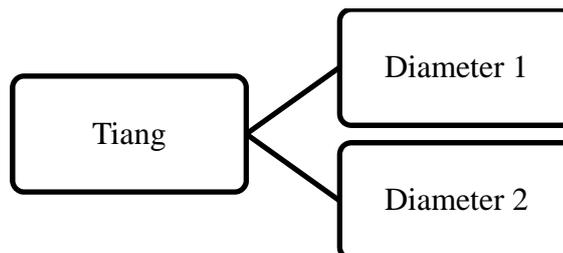
1. Menggunakan bidang Axi-Simetri dengan memberikan beban dinamis di permukaan dan menetapkan panjang tiang ( $p$ ), tinggi ( $t$ ) dan lebar ( $l$ ) *pile cap*.



#### 2. Pile Cap



#### 3. Tiang



Dalam melakukan analisa, penulis mengkombinasikan seluruh kasus diatas baik dari pile cap, tiang maupun tanah. Misalnya, sebuah pondasi tiang dengan panjang,  $p$ , memiliki pile cap dengan tebal,  $t$ , dan lebar,  $l$ , dimana pile cap tersebut *contact* dengan tanah sedang dan terkubur keseluruhan.



## **BAB IV**

### **PEMODELAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai detail pemodelan yang akan penulis jadikan sebagai model acuan untuk dapat dianalisa nantinya. Pemodelannya dibagi atas 3 model yaitu pemodelan rod, pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* dan pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap*. Pada masing-masing pemodelan menggunakan material beton dan tanah yang ditentukan oleh penulis sendiri yang tentunya akan disesuaikan dengan material yang ada pada umumnya. Kecuali pemodelan rod, pemodelan tiang tunggal tanpa atau pun dengan *pile cap* menggunakan material tanah, sedangkan pemodelan rod tersebut tidak menggunakan material tanah karena bertujuan untuk menganalisa perilaku gelombang terhadap tiang sebelum dimasukkan ke dalam tanah.

Pemodelan dianalisa menggunakan *software* geoteknik yaitu PLAXIS Versi 8. Dengan menggunakan *software* ini, penulis akan mendapatkan beberapa *output* berupa grafik yang merupakan perilaku gelombang terhadap pemodelan-pemodelan tersebut. Adapun hasil yang didapat yaitu berupa grafik *time domain* dan *frequency domain*. Penulis membuat pemodelan dalam *input* PLAXIS v8, dengan membuat geometri sesuai yang diinginkan dan juga memasukkan detail-detail material baik beton maupun tanah yang digunakan untuk simulasi ini. Untuk menjalankan pemodelan yang telah dibuat di dalam *input* PLAXIS v8 tersebut yaitu dengan menggunakan *calculation* PLAXIS v8. Pada proses ini terdiri dari beberapa tahap dimana tahap pertama yaitu pemberian beban pada kepala tiang dengan frekuensi tertentu sedangkan tahap-tahap berikutnya tidak perlu diberi beban lagi karena pada tahap-tahap ini merupakan tahap dimana beban akan menghasilkan gelombang yang merambat di dalam tiang. Hasil grafiknya dapat dilihat pada *curve* PLAXIS v8, dengan memilih sesuai dengan grafik yang akan dianalisa.

Adapun grafik-grafik yang akan dianalisa yaitu grafik *time domain* yang terdiri dari grafik waktu terhadap kecepatan dan grafik waktu terhadap beban yang

kemudian akan diubah dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) ke *frequency domain* yang terdiri dari grafik frekuensi terhadap spektrum kecepatan, grafik frekuensi terhadap spektrum beban dan frekuensi terhadap mobilitas.

Berikut detail-detail beberapa pemodelan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan skripsi ini, yaitu sebagai berikut:

#### 4.1 PEMODELAN ROD

Pada pemodelan ini hanya berupa tiang beton tanpa material tanah dimana ditujukan untuk menganalisa hasil perilaku gelombang pada tiang saja tanpa dimasukkan ke dalam tanah.

Secara umum, model geometri pada pemodelan rod yang dibentuk di *input* PLAXIS, menggunakan kondisi batas standar dimana dibagi menjadi perletakan sendi ( $u_x = u_y = 0$ ) pada kaki tiang dan perletakan rol ( $u_x = 0$ ) pada bagian kiri dan kanan tiang. Tiang dibuat hanya setengah dari diameter karena dianggap simetris dengan mengacu pada *Center Line* (CL) yang terletak di sebelah kiri tiang. Untuk bebannya diletakkan pada tengah tiang dengan frekuensi tertentu.

Adapun material yang digunakan pada pemodelan rod yaitu material beton dengan sifat-sifat material yang ditampilkan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Sifat-sifat Material Beton pada Pemodelan Rod

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Model Material	Model	<i>Linear Elastic</i>	-
Jenis Perilaku	Jenis	<i>Non-porous</i>	-
Berat isi diatas Muka Air Tanah	$\gamma_{unsat}$	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi di bawah Muka Air Tanah	$\gamma_{sat}$	-	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Young	$E_{ref}$	$3.10^7$	kN/m <sup>2</sup>
Angka Poisson	$\nu$	0,289	-
Kecepatan Rambat Gelombang	$\nu_p$	4001	m/s

Adapun pada pemodelan rod ini dibagi atas 4 model dimana divariasikan berdasarkan diameter tiang dan besarnya ukuran elemen pada pemodelan. Berikut kasus-kasusnya sebagai berikut:

#### 4.1.1 Model 1

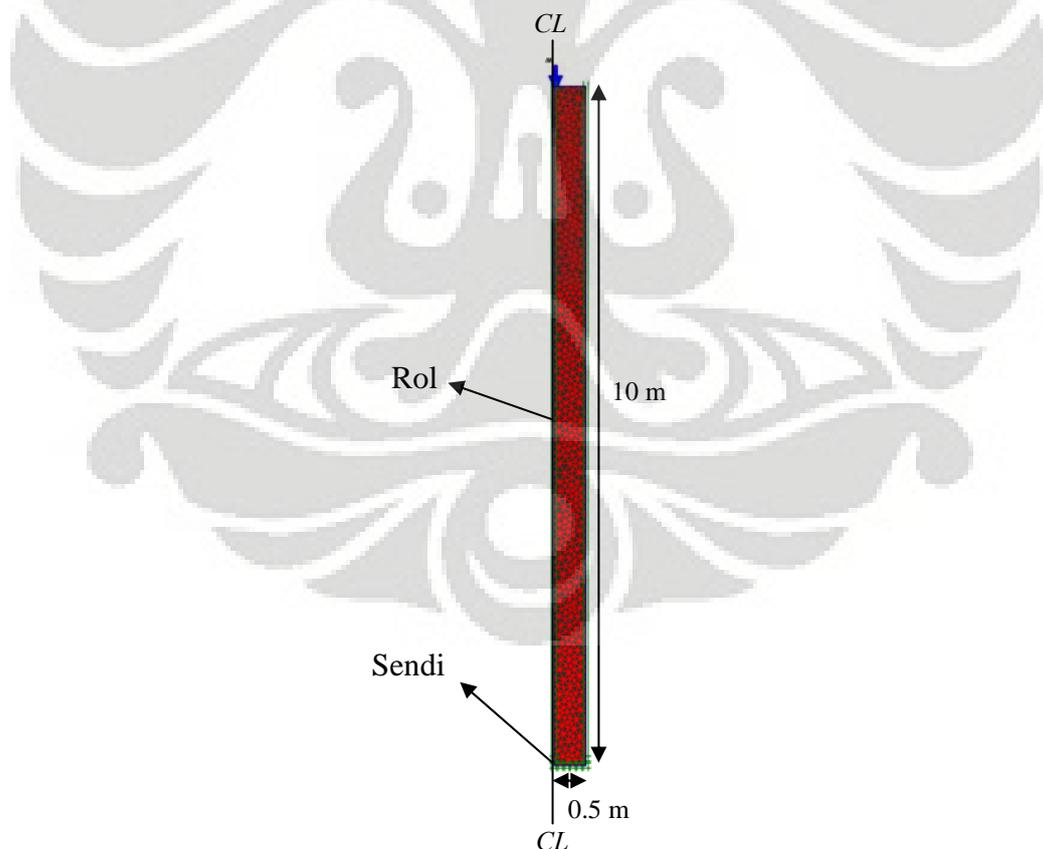
Adapun detail-detail pemodelan pada model 1 dilihat dari model geometri yang dibentuk pada *input* PLAXIS v8 yaitu sebagai berikut:

##### ***Model Geometri***

Geometri menggunakan model axi-simetri dimana tiang diletakkan di sepanjang sumbu simetri (seperti terlihat pada gambar 4.1). Dalam pemodelan ini menggunakan percepatan gravitasi standar ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan satuan waktu diatur ke detik (*s*).

Pada pemodelan ini tiang dimodelkan dengan menggunakan elemen dengan 15 titik nodal. Untuk memodelkan gaya, sebuah beban merata (Sistem A) dibuat di kepala tiang.

Tiang memiliki panjang (*L*) 10 m, diameter (*d*) 1 m, ukuran elemen (*s*) 0,1 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi (*f*) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.



Gambar 4.1 Model Geometri untuk Model 1 (Pemodelan Rod)

#### 4.1.2 Model 2

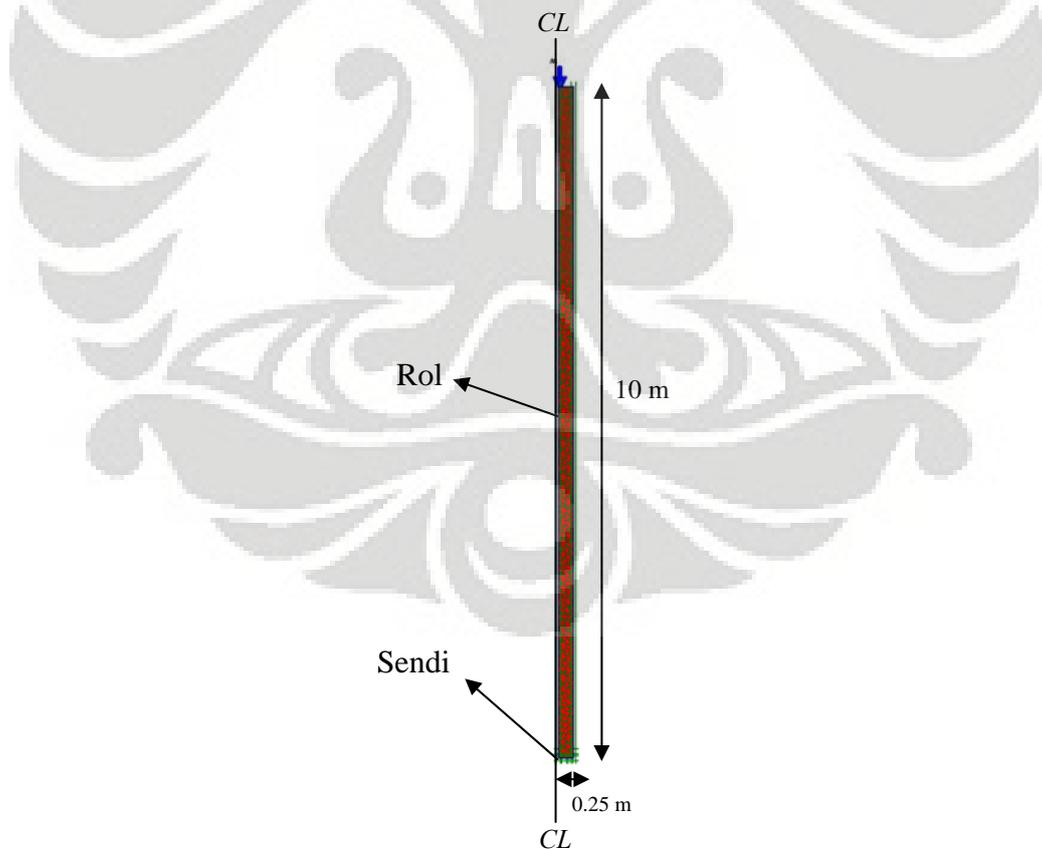
Adapun detail-detail pemodelan pada model 2 dilihat dari model geometri yang dibentuk pada *input* PLAXIS v8 yaitu sebagai berikut:

##### ***Model Geometri***

Geometri menggunakan model axi-simetri dimana tiang diletakkan di sepanjang sumbu simetri (seperti terlihat pada gambar 4.2). Dalam pemodelan ini menggunakan percepatan gravitasi standar ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan satuan waktu diatur ke detik (*s*).

Pada pemodelan ini tiang dimodelkan dengan menggunakan elemen dengan 15 titik nodal. Untuk memodelkan gaya, sebuah beban merata (Sistem A) dibuat di kepala tiang.

Tiang memiliki panjang (*L*) 10 m, diameter (*d*) 0,5 m, ukuran elemen (*s*) 0,1 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi (*f*) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.



Gambar 4.2 Model Geometri untuk Model 2 (Pemodelan Rod)

### 4.1.3 Model 3

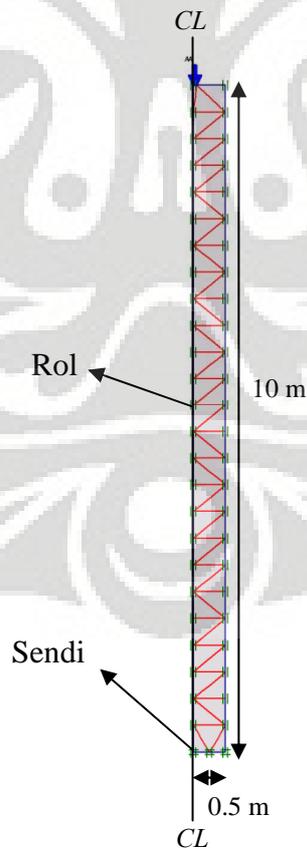
Adapun detail-detail pemodelan pada model 3 dilihat dari model geometri yang dibentuk pada *input* PLAXIS v8 yaitu sebagai berikut:

#### *Model Geometri*

Geometri menggunakan model axi-simetri dimana tiang diletakkan di sepanjang sumbu simetri (seperti terlihat pada gambar 4.3). Dalam pemodelan ini menggunakan percepatan gravitasi standar ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan satuan waktu diatur ke detik ( $s$ ).

Pada pemodelan ini tiang dimodelkan dengan menggunakan elemen dengan 15 titik nodal. Untuk memodelkan gaya, sebuah beban merata (Sistem A) dibuat di kepala tiang.

Tiang memiliki panjang ( $L$ ) 10 m, diameter ( $d$ ) 1 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.



Gambar 4.3 Model Geometri untuk Model 3 (Pemodelan Rod)

#### 4.1.4 Model 4

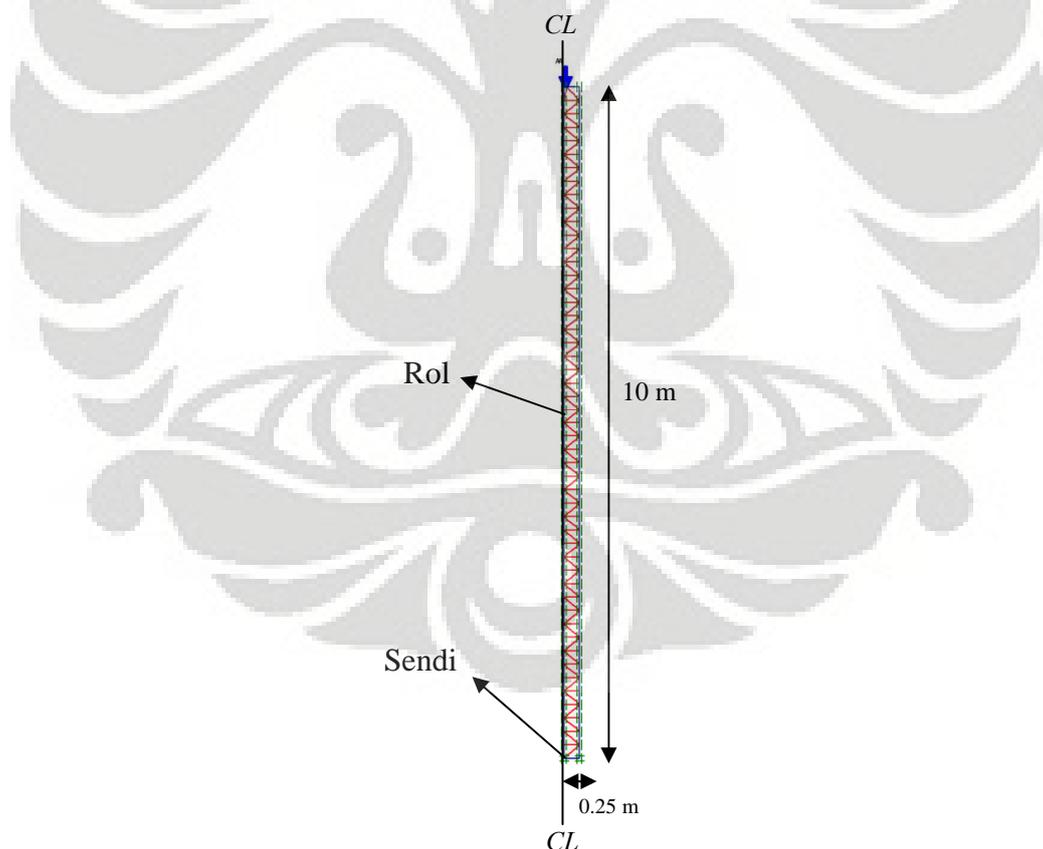
Adapun detail-detail pemodelan pada model 4 dilihat dari model geometri yang dibentuk pada *input* PLAXIS v8 yaitu sebagai berikut:

##### *Model Geometri*

Geometri menggunakan model axi-simetri dimana tiang diletakkan di sepanjang sumbu simetri (seperti terlihat pada gambar 4.4). Dalam pemodelan ini menggunakan percepatan gravitasi standar ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan satuan waktu diatur ke detik ( $s$ ).

Pada pemodelan ini tiang dimodelkan dengan menggunakan elemen dengan 15 titik nodal. Untuk memodelkan gaya, sebuah beban merata (Sistem A) dibuat di kepala tiang.

Tiang memiliki panjang ( $L$ ) 10 m, diameter ( $d$ ) 0,5 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.



Gambar 4.4 Model Geometri untuk Model 4 (Pemodelan Rod)

## 4.2 PEMODELAN TIANG TUNGGAL TANPA PILE CAP

Pada pemodelan ini, tiang tunggal yang digunakan yaitu tiang beton dimana tiang tersebut dimasukkan ke dalam tanah sehingga perlu adanya material tanah pada simulasi ini. Selain itu, pada pemodelan ini dibagi atas 3 (tiga) model yaitu sebagai berikut:

1. Model tiang tunggal tanpa cacat
2. Model tiang tunggal dengan cacat ( $f = 500$  Hz)
3. Model tiang tunggal dengan cacat ( $f = 250$  Hz).

Secara umum, model geometri pada pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* yang dibentuk di *input* PLAXIS, menggunakan kondisi batas standar dimana dibagi menjadi perletakan sendi ( $u_x = u_y = 0$ ) pada bagian bawah geometri dan perletakan rol ( $u_x = 0$ ) pada bagian kiri dan kanan geometri. Selain itu, karena bebannya berupa beban dinamis, maka perlu juga untuk ditambahkan batas penyerap standar pada bagian bawah dan kanan model geometri. Batas penyerap standar tersebut digunakan untuk menyerap peningkatan tegangan pada batas model yang disebabkan oleh beban dinamis, yang jika tidak diserap, maka akan dipantulkan ke massa tanah. Tiang dibuat hanya setengah dari diameter karena dianggap simetris dengan mengacu pada *Center Line (CL)* yang terletak di sebelah kiri tiang. Untuk bebannya diletakkan pada tengah tiang dengan frekuensi tertentu.

Geometri menggunakan model axi-simetri dimana tiang diletakkan di sepanjang sumbu simetri. Dalam pemodelan ini menggunakan percepatan gravitasi standar ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan satuan waktu diatur ke detik (*s*).

Pada pemodelan ini, baik tanah maupun tiang dimodelkan dengan menggunakan elemen dengan 15 titik nodal. Material tanah hanya terdiri dari 1 lapisan yaitu jenis tanah lempung sedang. Batas dari model diambil cukup jauh karena untuk menghindari pengaruh dari kondisi batas model. Batas penyerap standar digunakan pada dasar dan sisi kanan dari batas model untuk menghindari pantulan yang tidak benar. Untuk memodelkan gaya, sebuah beban merata (Sistem A) dibuat di kepala tiang.

Pada pemodelan terdapat beberapa nodal/titik yang ditambahkan pada sisi-sisi tiang. Nodal-nodal tersebut memiliki jarak yang sama yaitu 0,4 m. Ini bertujuan

untuk memperhalus jaringan elemen yang terbentuk pada tiang sehingga hasil yang didapatkan akan menjadi lebih detail. Selain pada tiang, nodal-nodal juga ditambahkan pada garis yang dibentuk tidak jauh dari sisi bawah dan kanan tiang. Ini juga bertujuan untuk memperhalus jaringan elemen tanah di sekeliling tiang.

### ***Sifat – sifat Material***

Lapisan tanah lempung sedang dan material beton dimodelkan dengan menggunakan model *Linear Elastic*. Perilaku material tanah lempung sedang diatur sebagai tanah yang telah terdrainase, sedangkan perilaku material beton diatur sebagai *non-porous*. Pada kondisi awal, tiang belum ada, sehingga sifat lempung juga diterapkan terlebih dahulu pada klaster untuk tiang. Parameter dari lapisan tanah dan tiang beton diberikan dalam Tabel 4.2.

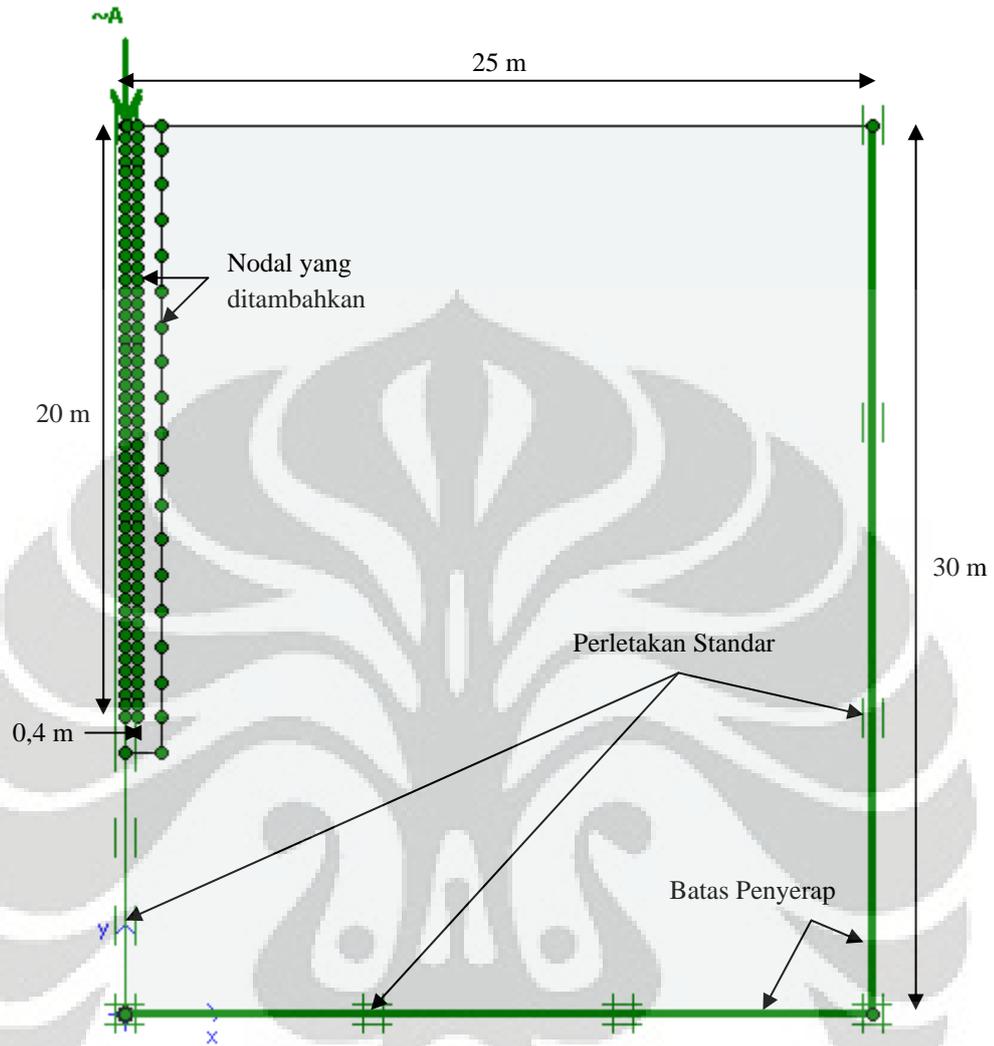
Tabel 4.2 Sifat Material Tanah Lempung dan Beton Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap

<b>Parameter</b>	<b>Simbol</b>	<b>Lempung</b>	<b>Beton</b>	<b>Satuan</b>
Model Material	Model	<i>Linear Elastic</i>	<i>Linear Elastic</i>	-
Jenis Perilaku	Jenis	<i>Drained</i>	<i>Non-porous</i>	-
Berat isi diatas Muka Air Tanah	$\gamma_{unsat}$	17	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi di bawah Muka Air Tanah	$\gamma_{sat}$	20	-	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Young	$E_{ref}$	75000	$3 \cdot 10^7$	kN/m <sup>2</sup>
Angka Poisson	$\nu$	0,3	0,289	-
Kecepatan Rambat Gelombang	$\nu$	129	4001	m/s

Dilihat dari Tabel 4.2 bahwa terdapat perbedaan besar pada cepat rambat gelombang di antara lapisan lempung dan tiang beton akibat perbedaan kekakuan material yang besar sehingga dapat mengakibatkan peningkatan waktu yang kecil dalam prosedur peningkatan waktu secara otomatis dan juga akan menyebabkan proses perhitungan yang sangat lama. Hal ini juga diakibatkan oleh ukuran elemen lokal yang terlalu kecil.

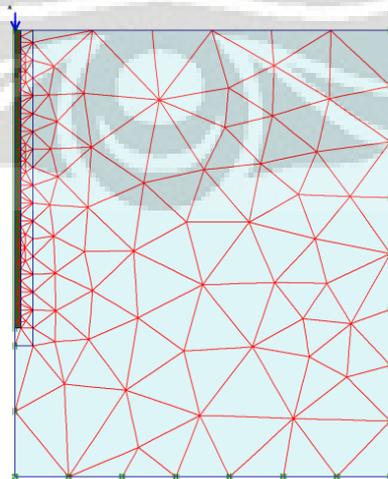
Adapun tiang yang digunakan untuk model geometri memiliki panjang ( $L$ ) 20 m, diameter ( $d$ ) 0,8 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 25 ms. Berikut 3 (tiga) model pada pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap*.

#### 4.2.1 Model Tiang Tunggal Tanpa Cacat



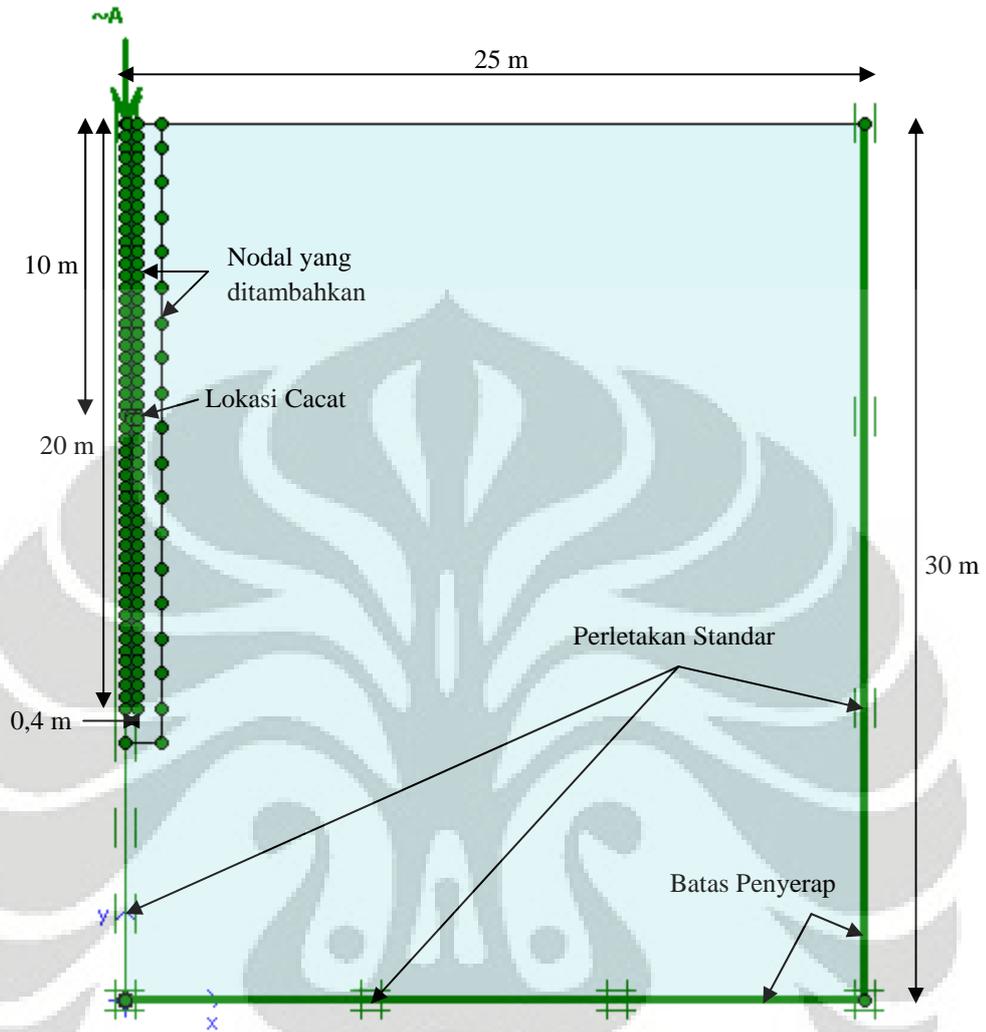
Gambar 4.5 Model Geometri untuk Model Tiang Tunggal tanpa Cacat

#### *Penyusunan Jaringan Elemen*



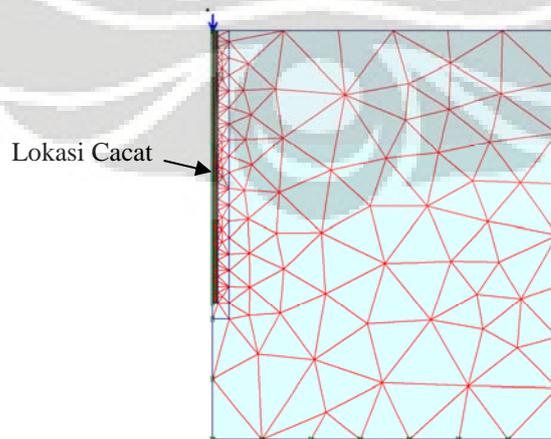
Gambar 4.6 Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat

#### 4.2.2 Model Tiang Tunggal Dengan Cacat ( $f = 500$ Hz)



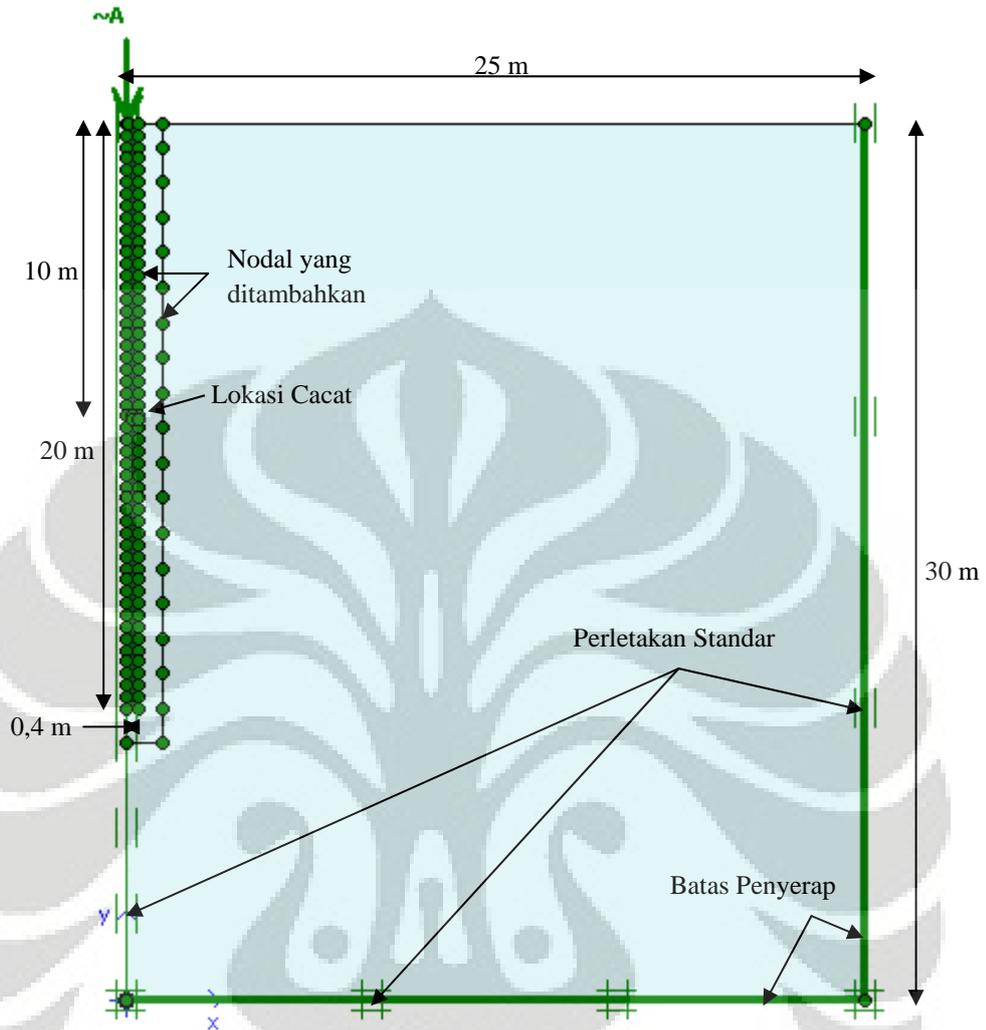
Gambar 4.7 Model Geometri untuk Model Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)

#### *Penyusunan Jaringan Elemen*



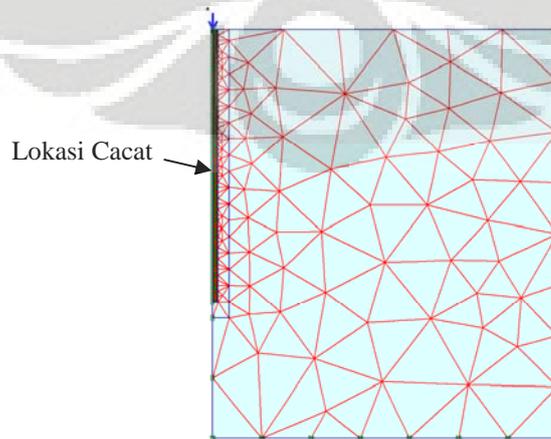
Gambar 4.8 Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)

### 4.2.3 Model Tiang Tunggal Dengan Cacat ( $f = 250$ Hz)



Gambar 4.9 Model Geometri untuk Model Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$  Hz)

### Penyusunan Jaringan Elemen



Gambar 4.10 Jaringan Elemen Hingga untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$  Hz)

### 4.3 PEMODELAN TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP

Pemodelan ini merupakan lanjutan dari pemodelan sebelumnya dimana pada kepala tiang tunggal diberi struktur dimana disini menggunakan *pile cap*. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa tiang yang digunakan yaitu tiang beton dimana tiang tersebut terbenam di dalam tanah sehingga perlu adanya material tanah pada simulasi ini. Selain itu, untuk *pile cap* dibentuk pada kepala tiang dengan menggunakan material beton dan dibagi atas 5 (lima) model yaitu:

1. *Pile cap* terbenam di dalam tanah
2. *Pile cap* setengah terbenam di dalam tanah
3. *Pile cap* tidak terbenam di dalam tanah
4. *Pile cap* sedikit tergantung di atas tanah; dan
5. *Pile cap* tanpa tiang (*footing*) yang tidak terbenam di tanah.

Secara umum, model geometri pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* yang dibentuk di *input* PLAXIS, menggunakan kondisi batas standar dimana dibagi menjadi perletakan sendi ( $u_x = u_y = 0$ ) pada bagian bawah geometri dan perletakan rol ( $u_x = 0$ ) pada bagian kiri dan kanan geometri. Selain itu, karena bebannya berupa beban dinamis, maka perlu juga untuk ditambahkan batas penyerap standar pada bagian bawah dan kanan model geometri. Batas penyerap standar tersebut digunakan untuk menyerap peningkatan tegangan pada batas model yang disebabkan oleh beban dinamis, yang jika tidak diserap, maka akan dipantulkan ke massa tanah. Tiang dan *pile cap* dibuat hanya setengah dari diameternya masing-masing karena dianggap simetris dengan mengacu pada *Center Line (CL)* yang terletak di sebelah kiri geometri. Untuk bebannya diletakkan pada tengah permukaan *pile cap* dengan frekuensi tertentu.

Pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* ini, baik tanah, tiang maupun *pile cap* dimodelkan dengan menggunakan elemen dengan 15 titik nodal. Material tanah hanya terdiri dari satu lapisan yaitu jenis tanah lempung sedang. Batas dari model diambil cukup jauh karena untuk menghindari pengaruh dari kondisi batas model. Batas penyerap standar digunakan pada dasar dan sisi kanan dari batas model untuk menghindari pantulan yang tidak benar. Untuk memodelkan gaya, sebuah beban merata (Sistem A) dibuat di tengah permukaan *pile cap*.

Untuk pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap*, beberapa nodal/titik ditambahkan pada sisi-sisi tiang dan *pile cap*. Nodal-nodal tersebut memiliki jarak yang sama yaitu 0,4 m. Ini bertujuan untuk memperhalus jaringan elemen yang terbentuk pada tiang dan *pile cap* sehingga hasil yang didapatkan akan menjadi lebih detail. Khusus pada *pile cap*, bisa ditambahkan garis disertai beberapa nodal pada bagian dalam geometri *pile cap* untuk memperhalus jaringan elemen yang terbentuk pada bagian dalam *pile cap* tersebut. Selain pada tiang dan *pile cap*, nodal-nodal juga ditambahkan pada garis yang dibentuk tidak jauh dari sisi bawah dan kanan struktur. Ini juga bertujuan untuk memperhalus jaringan elemen tanah di sekeliling struktur tersebut.

Adapun material yang digunakan pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Sifat Material Tanah Lempung dan Beton Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap

Parameter	Simbol	Lempung	Beton	Satuan
Model Material	Model	<i>Linear Elastic</i>	<i>Linear Elastic</i>	-
Jenis Perilaku	Jenis	<i>Drained</i>	<i>Non-porous</i>	-
Berat isi diatas Muka Air Tanah	$\gamma_{unsat}$	17	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi di bawah Muka Air Tanah	$\gamma_{sat}$	20	-	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Young	$E_{ref}$	75000	$3 \cdot 10^7$	kN/m <sup>2</sup>
Angka Poisson	$\nu$	0,3	0,289	-
Kecepatan Rambat Gelombang	$v$	129	4001	m/s

Untuk model geometri yang digunakan pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* yaitu sebagai berikut:

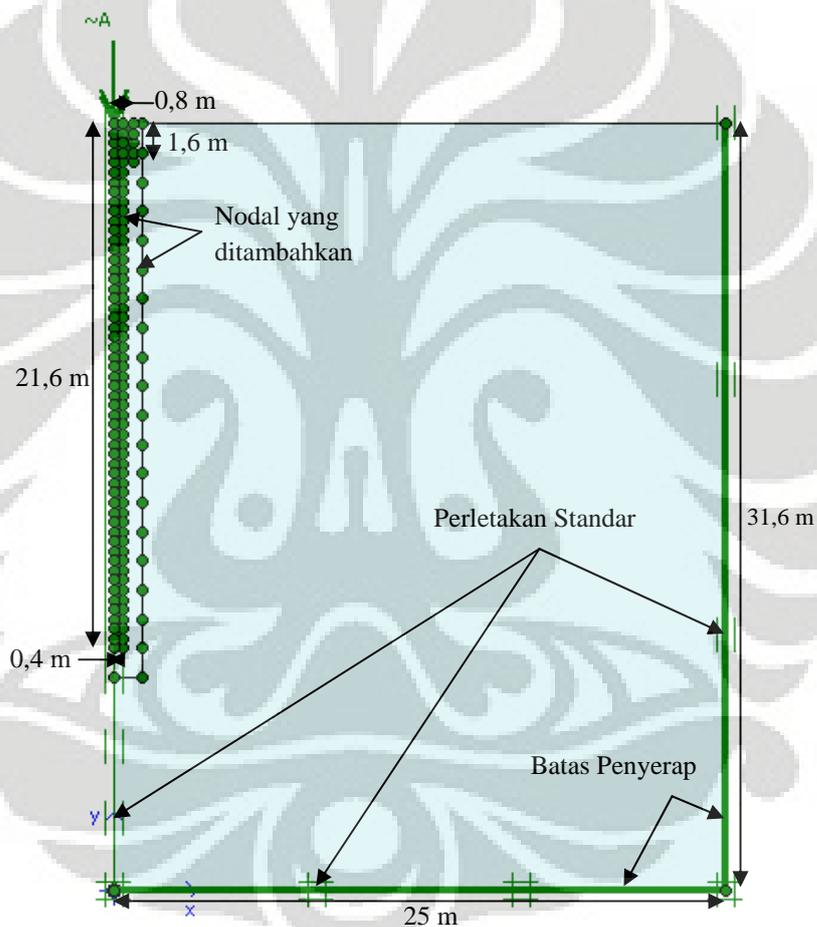
1. Geometri menggunakan model axi-simetri dimana tiang dan *pile cap* diletakkan di sepanjang sumbu simetri.
2. Dalam pemodelan ini menggunakan percepatan gravitasi standar (9,8 m/s<sup>2</sup>) dan satuan waktu diatur ke detik (s).
3. Tiang memiliki panjang ( $L$ ) 20 m dan diameter ( $d$ ) 0,8 m.
4. *Pile cap* memiliki tinggi ( $t$ ) 1,6 m dan diameter ( $d_p$ ) 1,6 m
5. Total panjang keseluruhan 21,6 m ; serta

6. Ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 1000, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 21 ms.

Selain itu, jaring elemen disusun dengan tingkat kekasaran global diatur pada *coarse* (kasar). Namun, untuk tingkat kekasaran lokal khususnya pada tiang dan *pile cap* telah diperhalus dengan menambahkan nodal pada sisi-sisi tiang dan *pile cap* dan juga di dekat sekelilingnya.

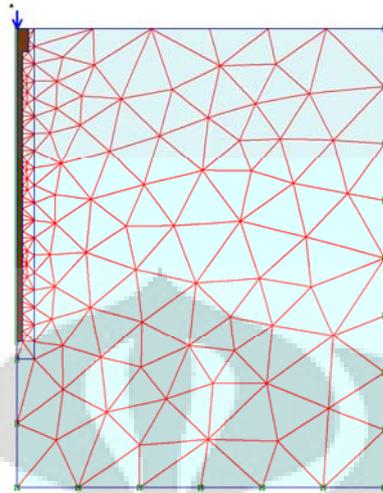
Berikut 5 (lima) model geometri pemodelan *pile cap* dengan tiang tunggal.

#### 4.3.1 Pile Cap Terbenam di Dalam Tanah



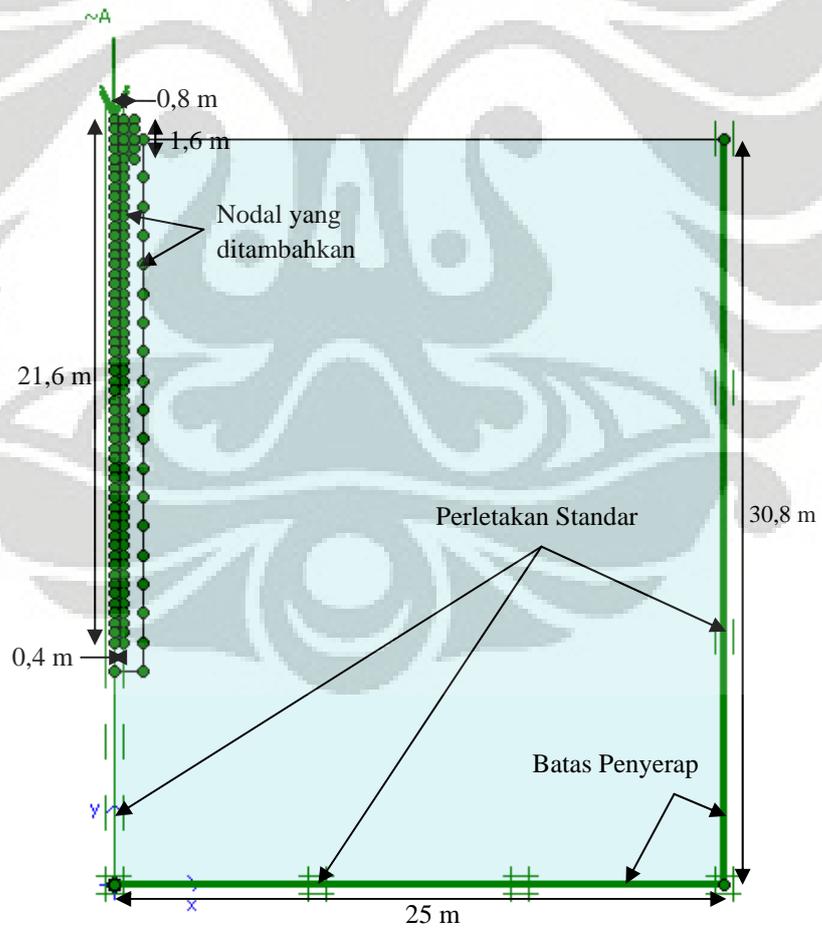
Gambar 4.11 Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah

### Penyusunan Jaringan Elemen



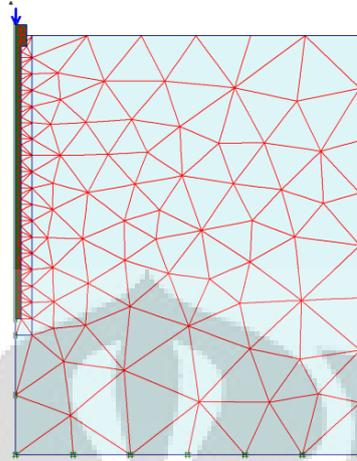
Gambar 4.12 Jaring Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Terbenam di Tanah

### 4.3.2 Pile Cap Setengah Terbenam di Dalam Tanah



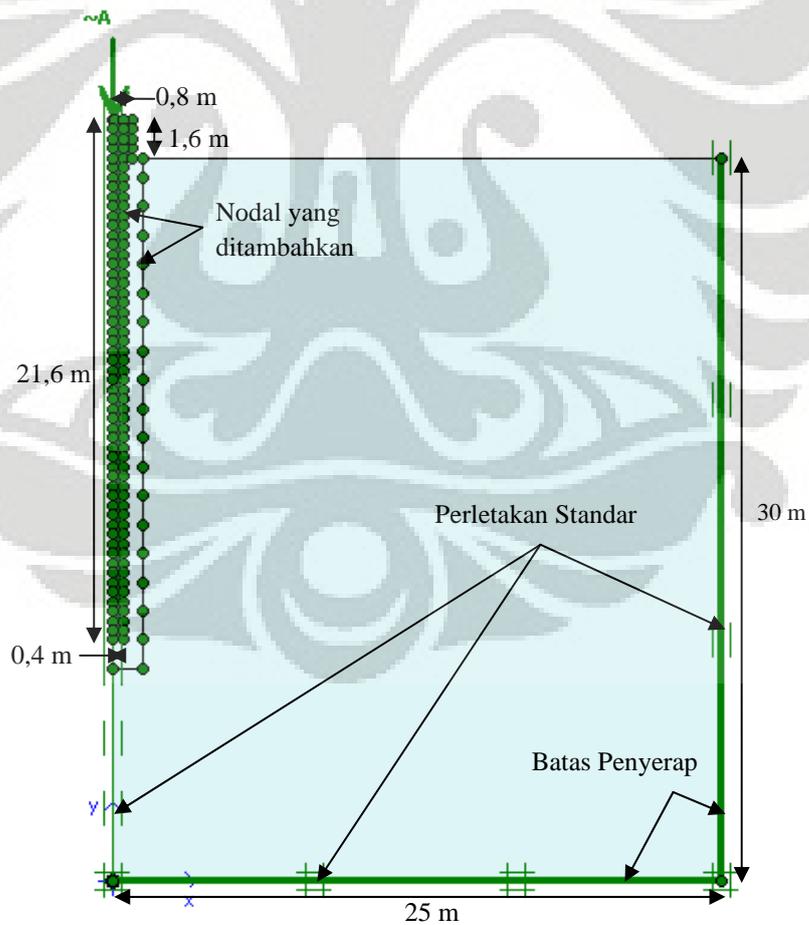
Gambar 4.13 Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah

## Penyusunan Jaringan Elemen



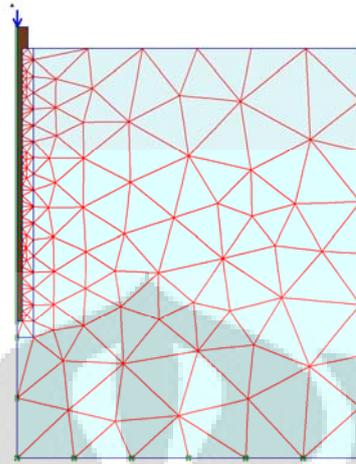
Gambar 4.14 Jaringan Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah

### 4.3.3 Pile Cap Tidak Terbenam di Dalam Tanah



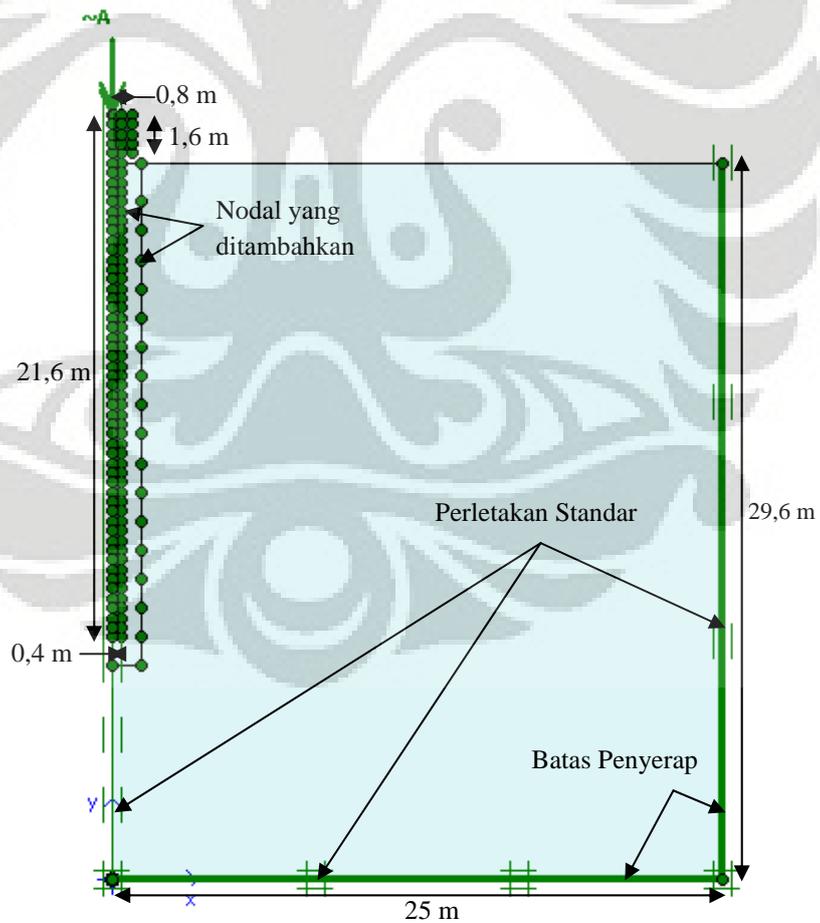
Gambar 4.15 Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah

## Penyusunan Jaringan Elemen



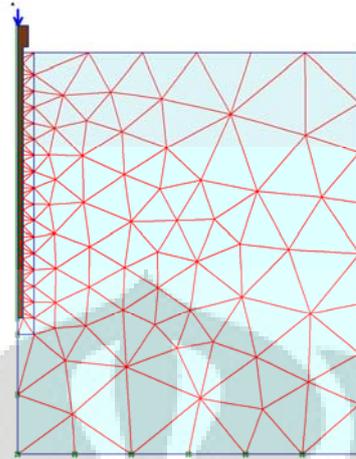
Gambar 4.16 Jaringan Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah

### 4.3.4 Pile Cap Sedikit Tergantung di Atas Tanah



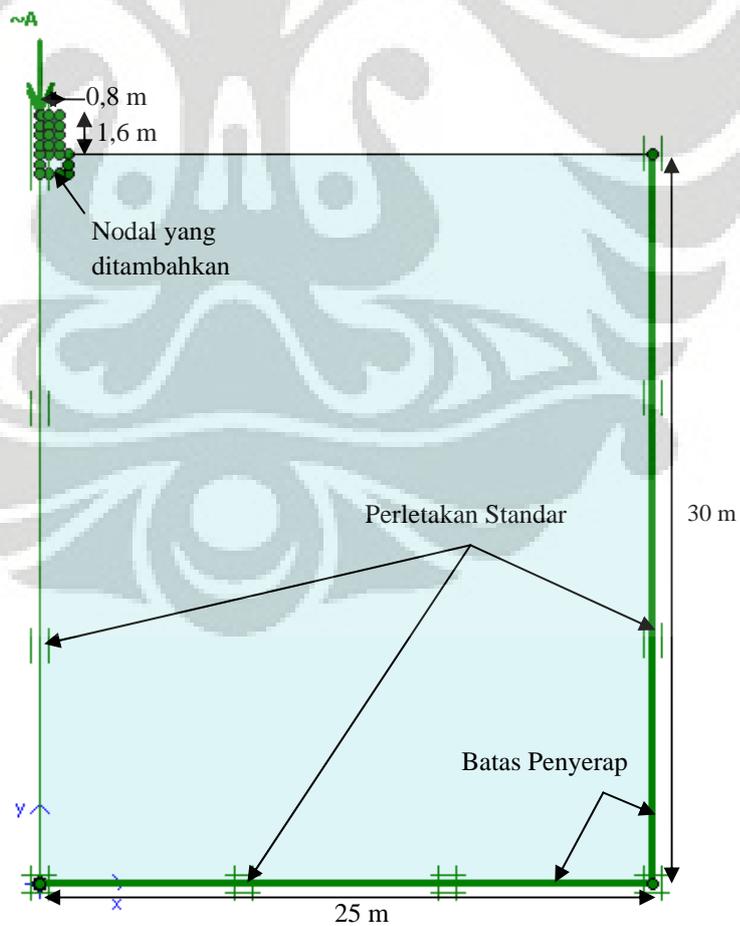
Gambar 4.17 Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap Sedikit Tergantung di Atas Tanah

### Penyusunan Jaringan Elemen



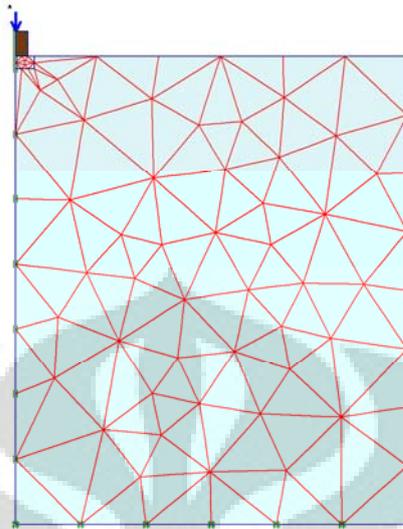
Gambar 4.18 Jaringan Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah

### 4.3.5 Pile Cap Tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 4.19 Pemodelan Pile Cap Tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Tanah

### *Penyusunan Jaringan Elemen*



Gambar 4.20 Jaringan Elemen Hingga untuk Pemodelan Pile Cap Tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Tanah

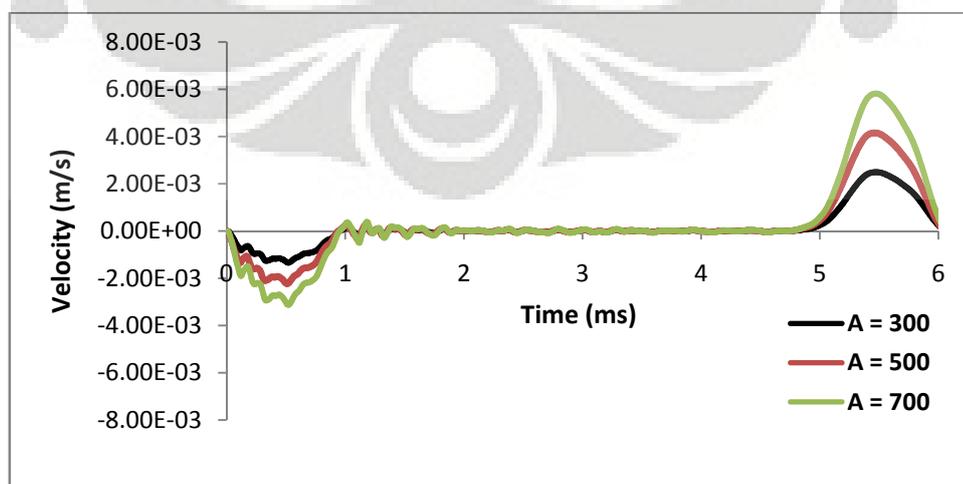
## BAB V

### ANALISA HASIL

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi beserta analisa dari pemodelan yang telah dijalankan dengan menggunakan *software* geoteknik yaitu PLAXIS Versi 8. Hal yang akan dianalisa yaitu berupa grafik *time domain* dan *frequency domain*.

Adapun grafik-grafik yang akan dianalisa yaitu grafik *time domain* yang terdiri dari grafik waktu terhadap kecepatan dan grafik waktu terhadap beban yang kemudian akan diubah dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) ke *frequency domain* yang terdiri dari grafik frekuensi terhadap spektrum kecepatan, grafik frekuensi terhadap spektrum beban dan frekuensi terhadap *mobility*.

Sebelum menampilkan hasil *time domain* maupun *frequency domain* pada keseluruhan pemodelan, penulis mencoba untuk membandingkan hasil simulasi dengan menggunakan *amplitude multiplier* yang berbeda-beda yaitu 300, 500 dan 700. Khusus untuk kasus ini, model yang digunakan yaitu model 4 pada pemodelan rod. Simulasi ini dilakukan sebagai referensi/acuan untuk pemodelan berikutnya. Berikut hasil perbandingan *amplitude multiplier* dengan nilai antara 300, 500 dan 700 dilihat dari grafik waktu terhadap kecepatan yaitu sebagai berikut:



Gambar 5.1 Perbandingan hasil grafik dengan menggunakan Amplitude Multiplier yang berbeda

Dilihat dari Gambar 5.1, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *amplitude multiplier* dengan nilai berapapun tidak berpengaruh terhadap hasil perilaku gelombang karena bentuk grafiknya terlihat sama. Perbedaan *amplitude multiplier* hanya berpengaruh pada besarnya nilai beban dan kecepatan. Semakin besar *amplitude multiplier* maka semakin besar pula nilai beban dan kecepataannya. Pada simulasi ini, penulis menggunakan *amplitude multiplier* 500 untuk seluruh pemodelan.

Berikut analisa hasil dari beberapa pemodelan yang telah dijalankan dengan PLAXIS v8 oleh penulis selama proses penyusunan skripsi ini, yaitu sebagai berikut:

## 5.1 HASIL PEMODELAN ROD

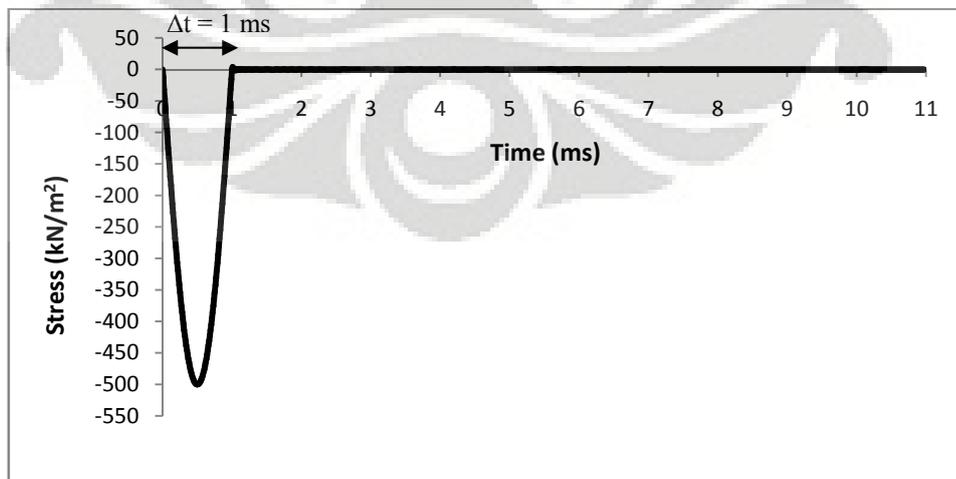
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa pemodelan rod terbagi atas 4 model. Masing-masing model divariasikan berdasarkan diameter tiang dan ukuran elemen yang terbentuk pada geometri tiang.

Adapun hasil simulasi dengan menggunakan PLAXIS v8 beserta analisa dari model-model pada pemodelan rod yaitu sebagai berikut:

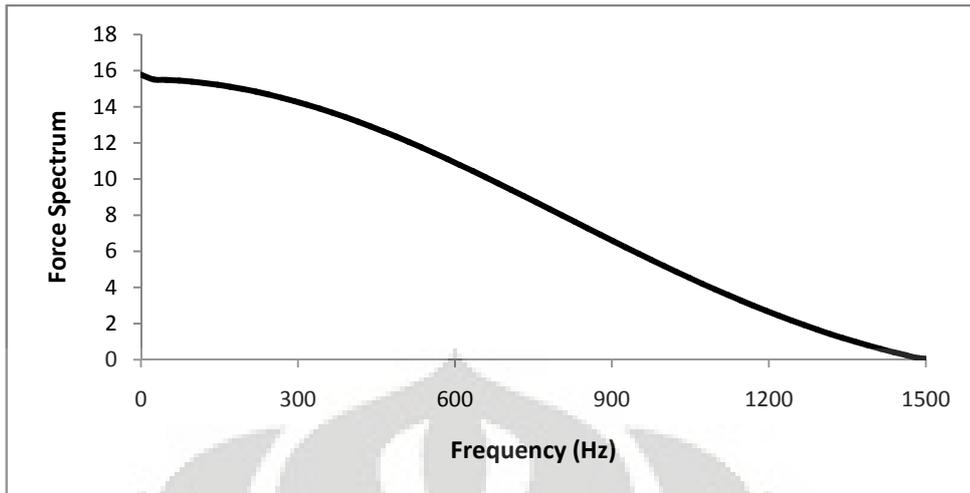
### 5.1.1 Model 1

Pada pemodelan ini tiang memiliki panjang ( $l$ ) 10 m, diameter ( $d$ ) 1 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,1 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.

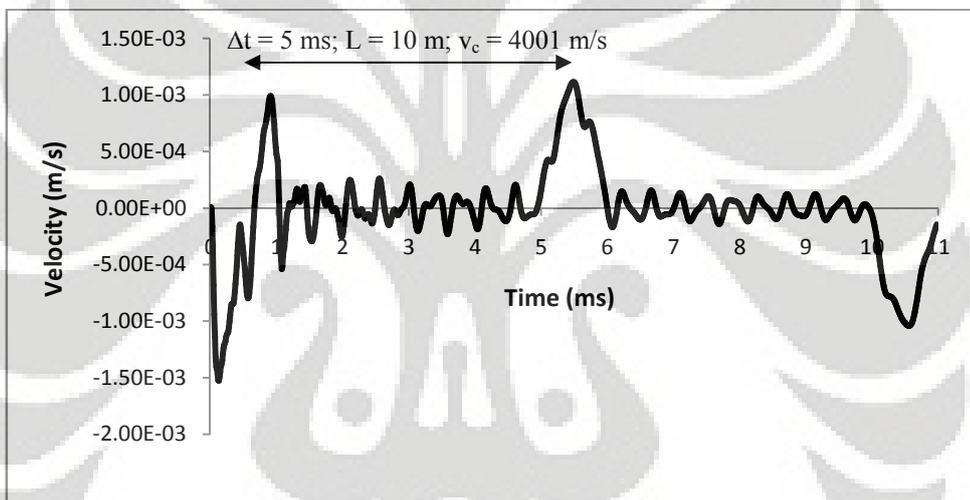
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada model 1 yaitu sebagai berikut:



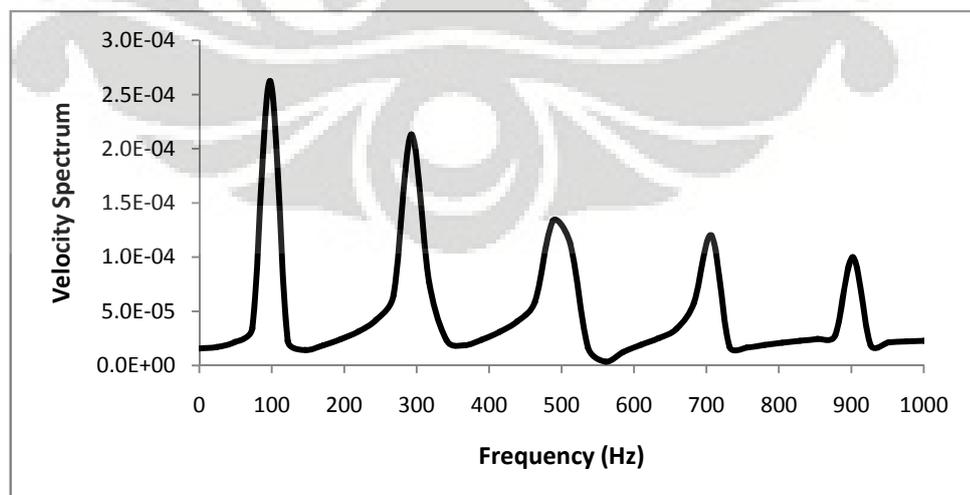
Gambar 5.2 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 1 (Pemodelan Rod)



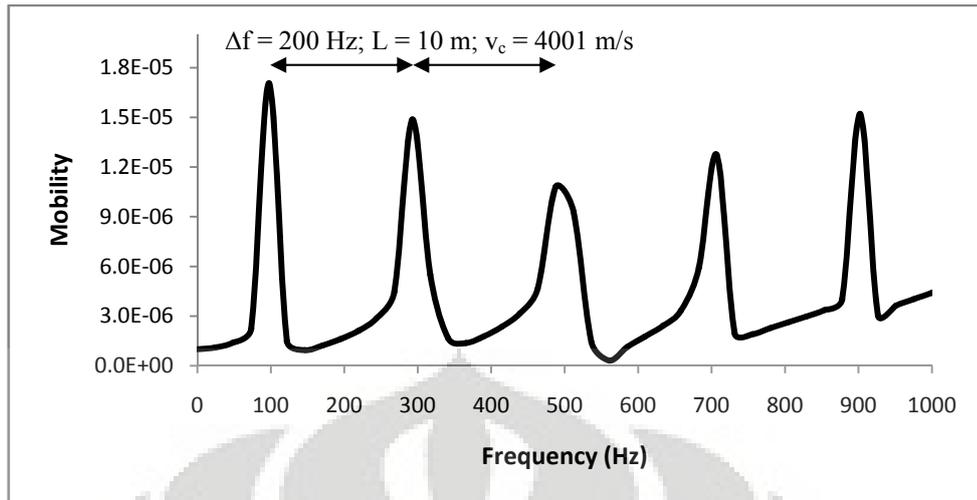
Gambar 5.3 Grafik Spektrum Beban untuk Model 1 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.4 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 1 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.5 Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 1 (Pemodelan Rod)

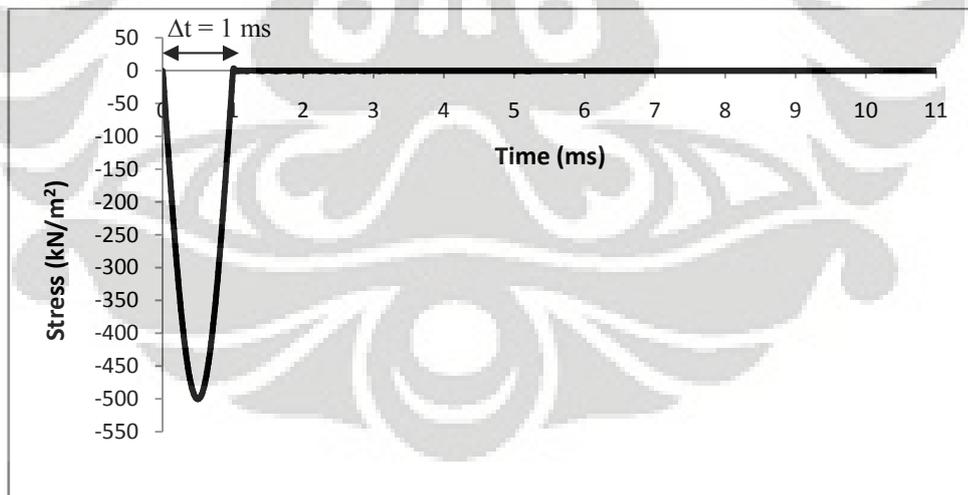


Gambar 5.6 Grafik Mobilitas untuk Model 1 (Pemodelan Rod)

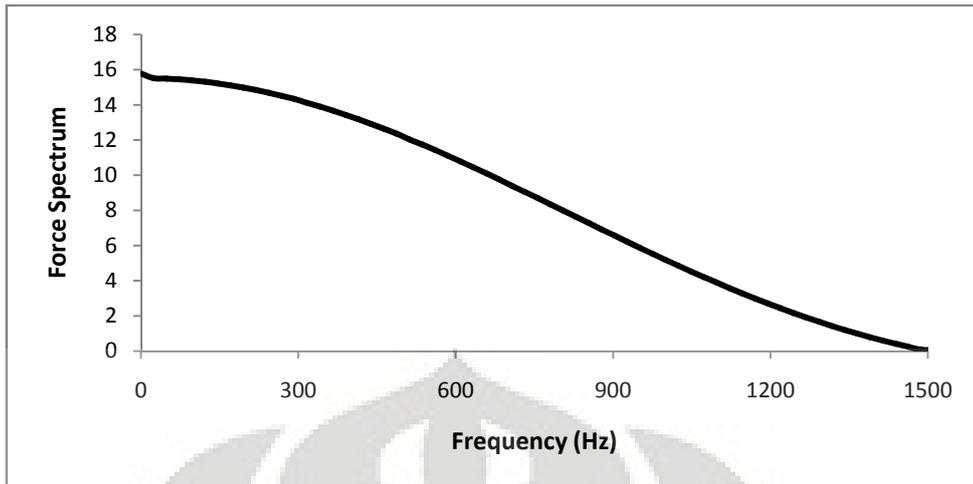
### 5.1.2 Model 2

Pada pemodelan ini tiang memiliki panjang ( $l$ ) 10 m, diameter ( $d$ ) 0,5 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,1 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.

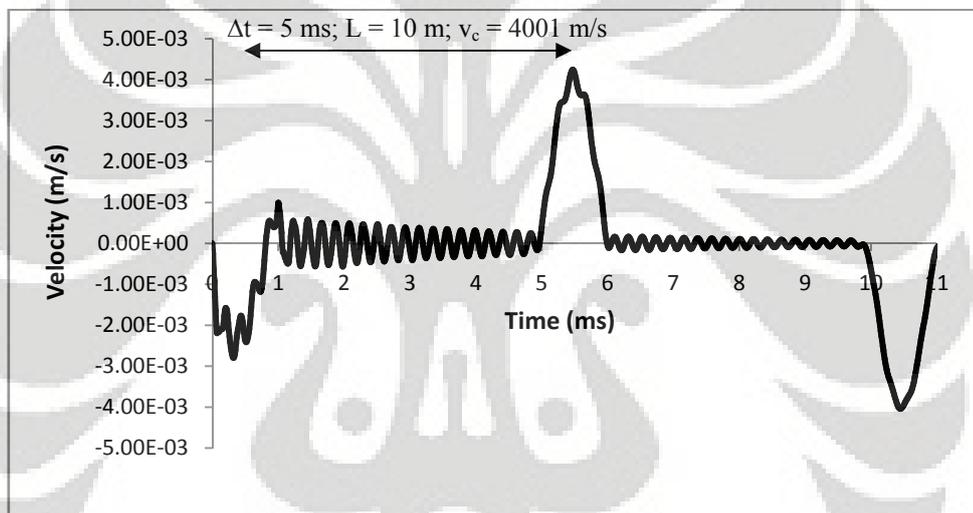
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada model 2 yaitu sebagai berikut:



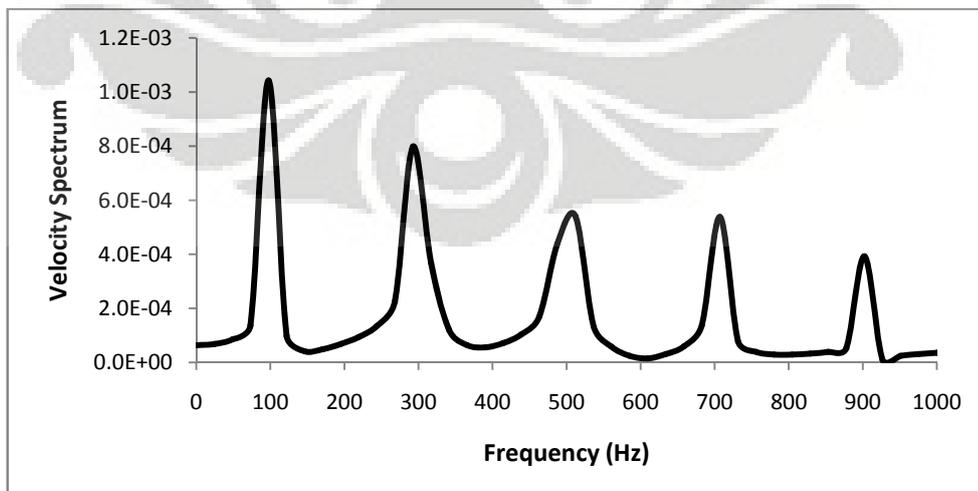
Gambar 5.7 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 2 (Pemodelan Rod)



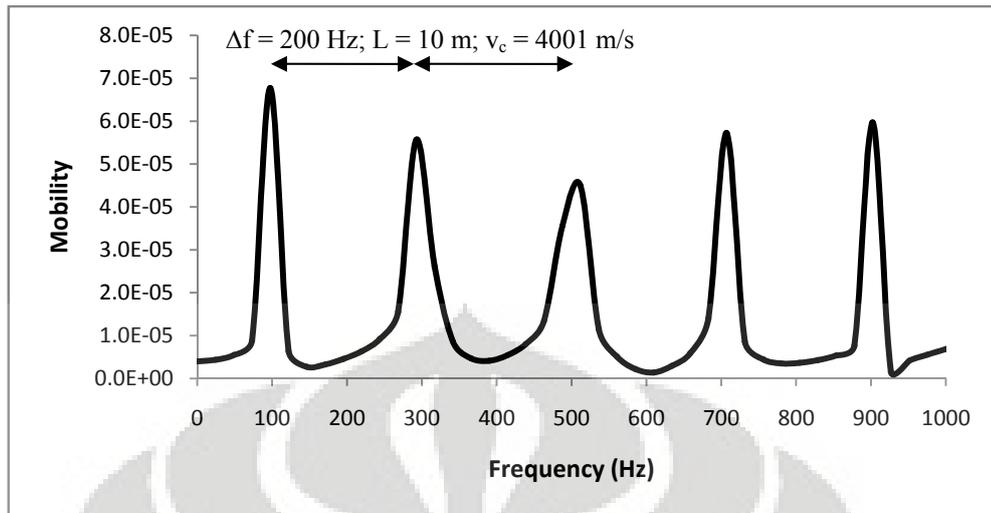
Gambar 5.8 Grafik Spektrum Beban untuk Model 2 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.9 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 2 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.10 Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 2 (Pemodelan Rod)

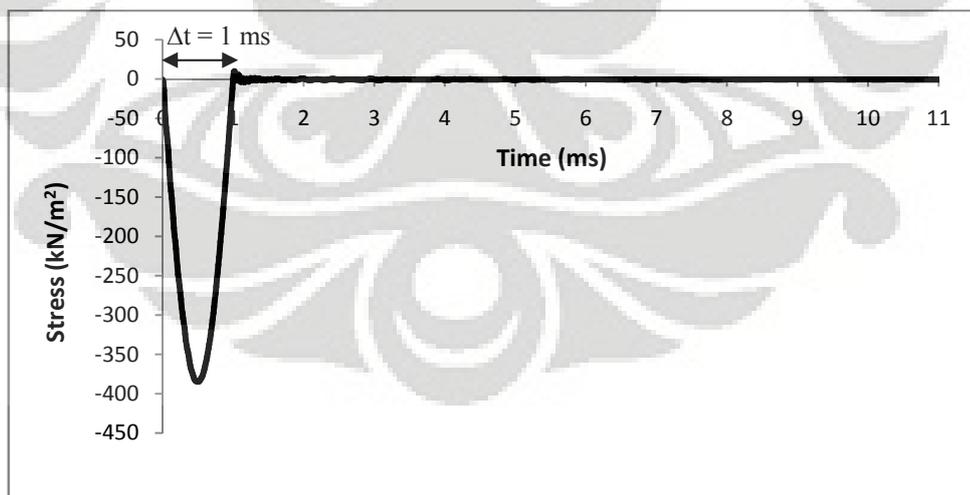


Gambar 5.11 Grafik Mobilitas untuk Model 2 (Pemodelan Rod)

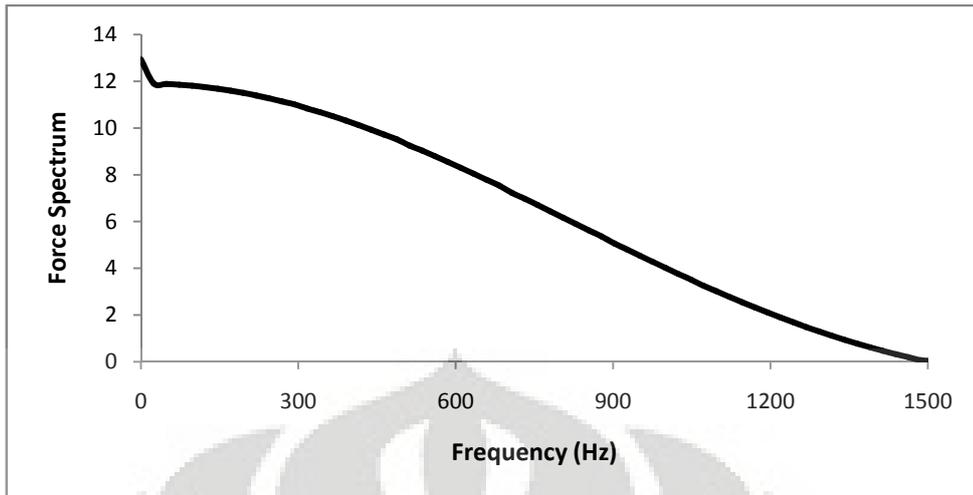
### 5.1.3 Model 3

Pada pemodelan ini tiang memiliki panjang ( $l$ ) 10 m, diameter ( $d$ ) 1 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.

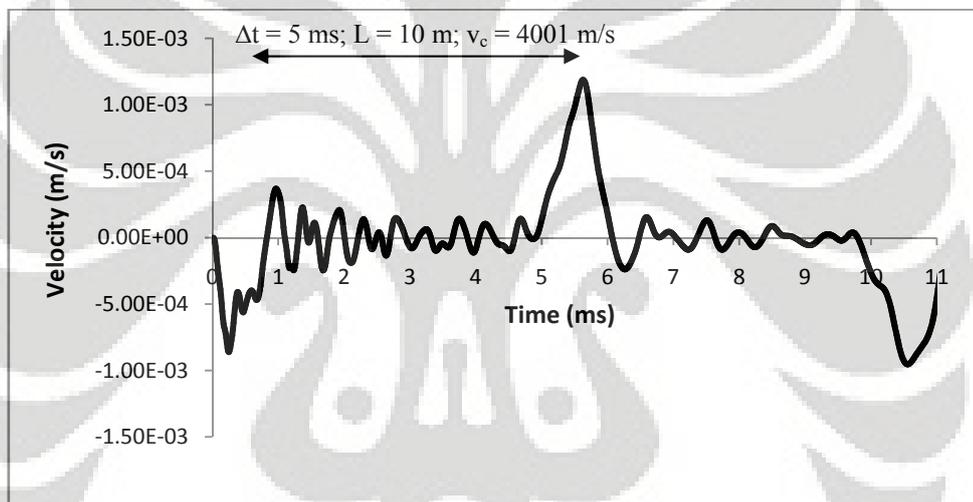
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada model 3 yaitu sebagai berikut:



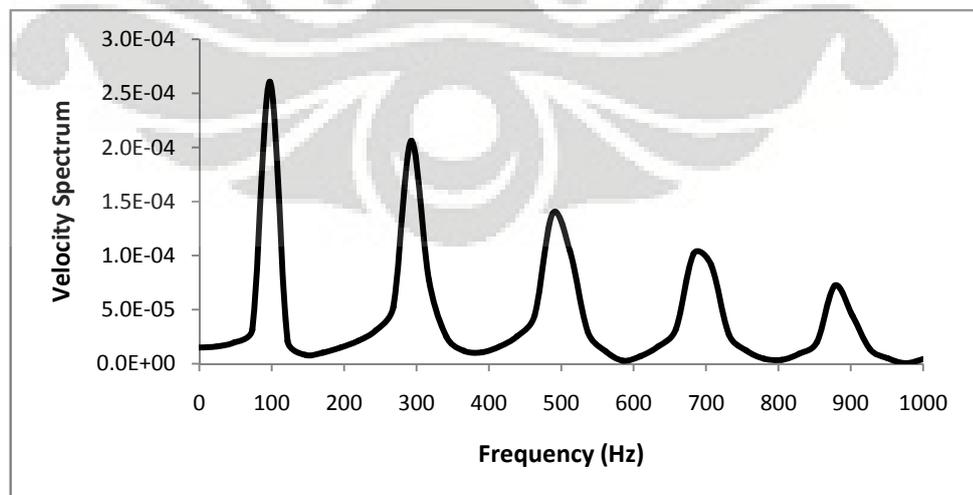
Gambar 5.12 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 3 (Pemodelan Rod)



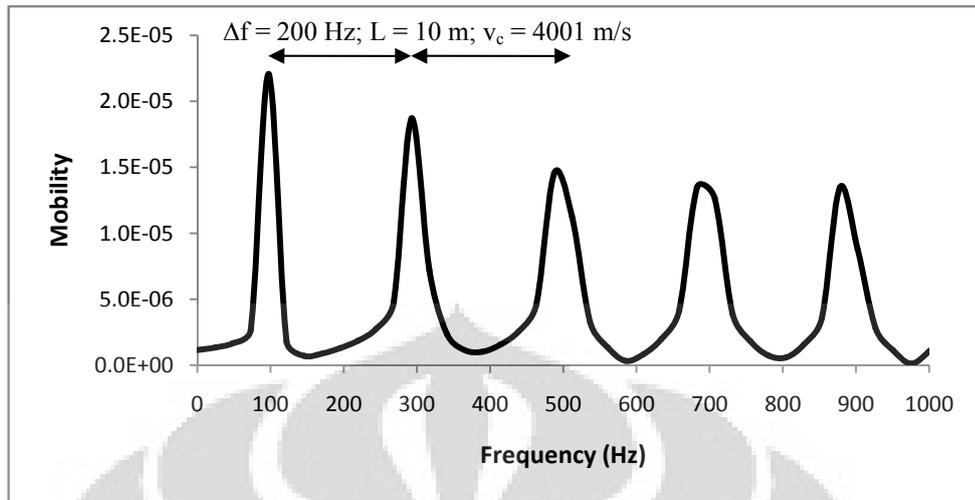
Gambar 5.13 Grafik Spektrum Beban untuk Model 3 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.14 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 3 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.15 Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 3 (Pemodelan Rod)

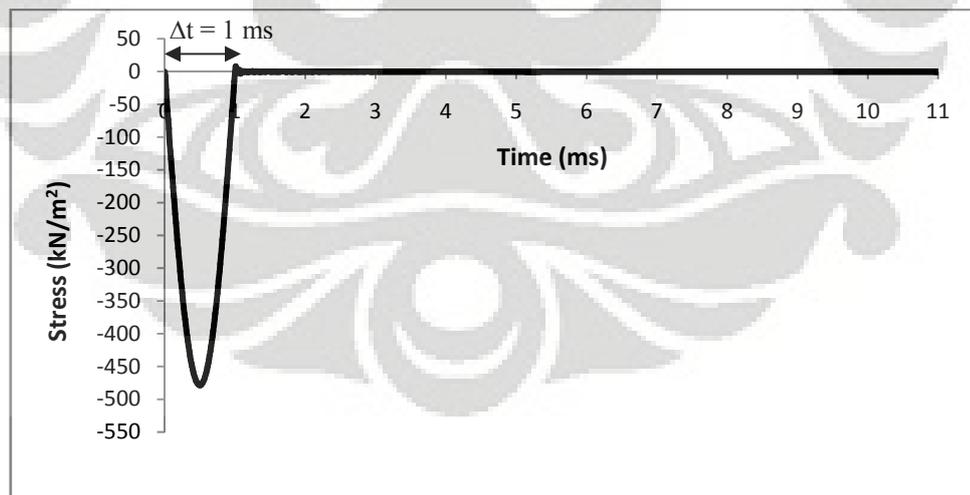


Gambar 5.16 Grafik Mobilitas untuk Model 3 (Pemodelan Rod)

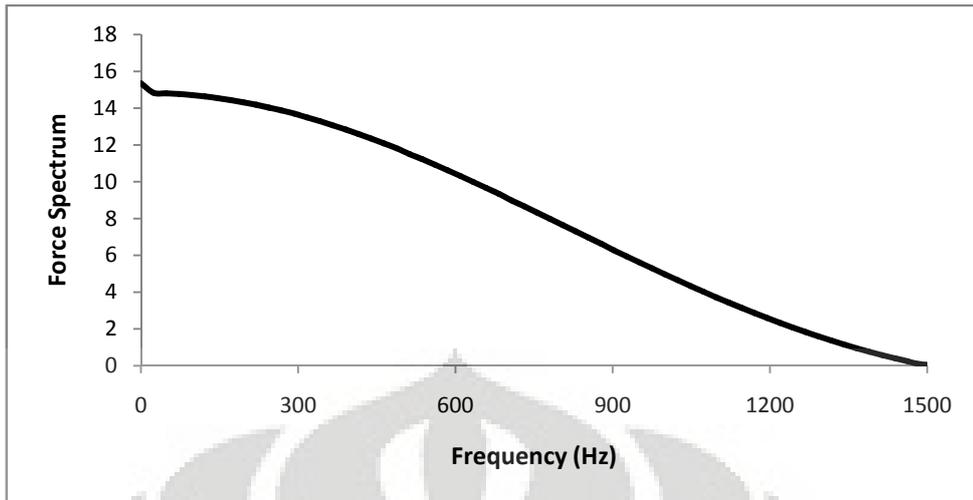
#### 5.1.4 Model 4

Pada pemodelan ini tiang memiliki panjang ( $l$ ) 10 m, diameter ( $d$ ) 0,5 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 41 ms.

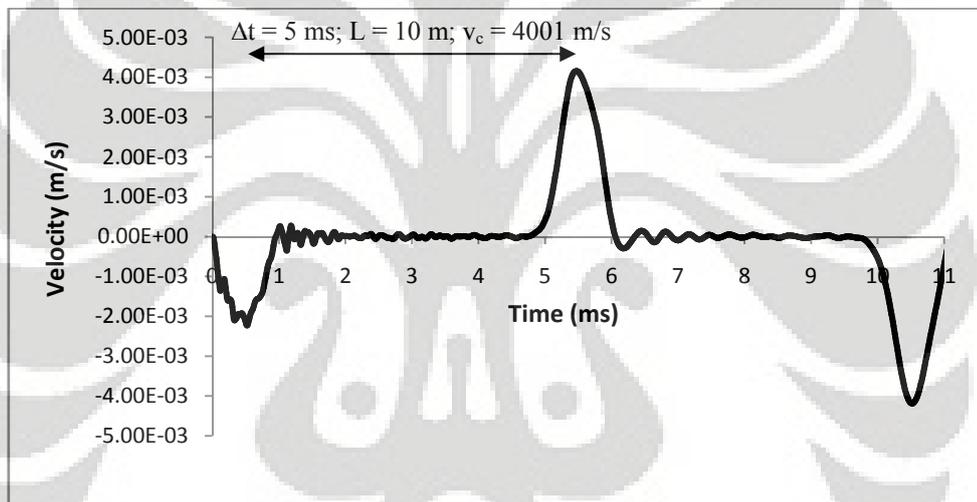
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada model 4 yaitu sebagai berikut:



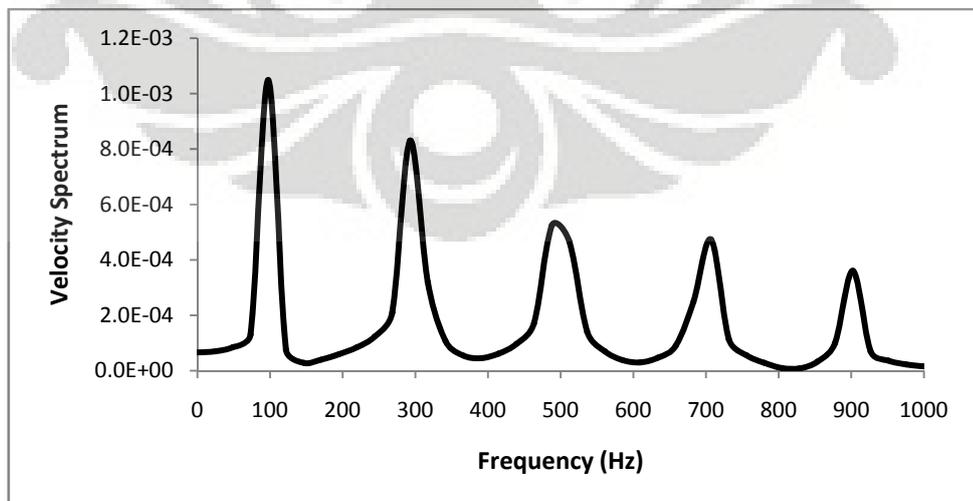
Gambar 5.17 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Model 4 (Pemodelan Rod)



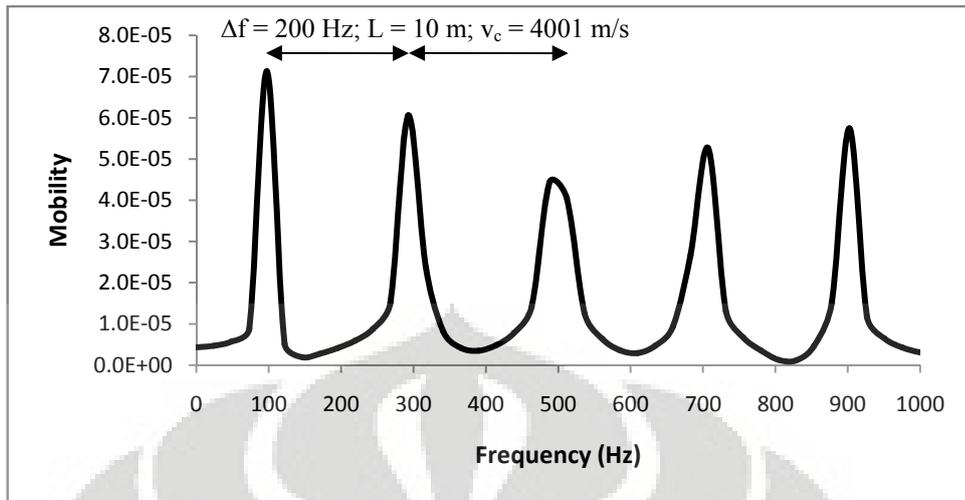
Gambar 5.18 Grafik Spektrum Beban untuk Model 4 (Pemodelan Rod)



Gambar 5.19 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Model 4 (Pemodelan Rod)



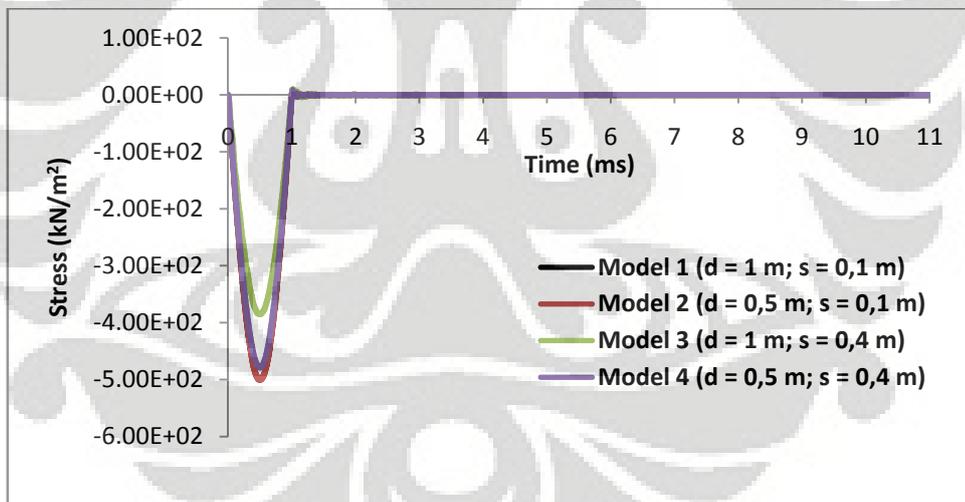
Gambar 5.20 Grafik Spektrum Kecepatan untuk Model 4 (Pemodelan Rod)



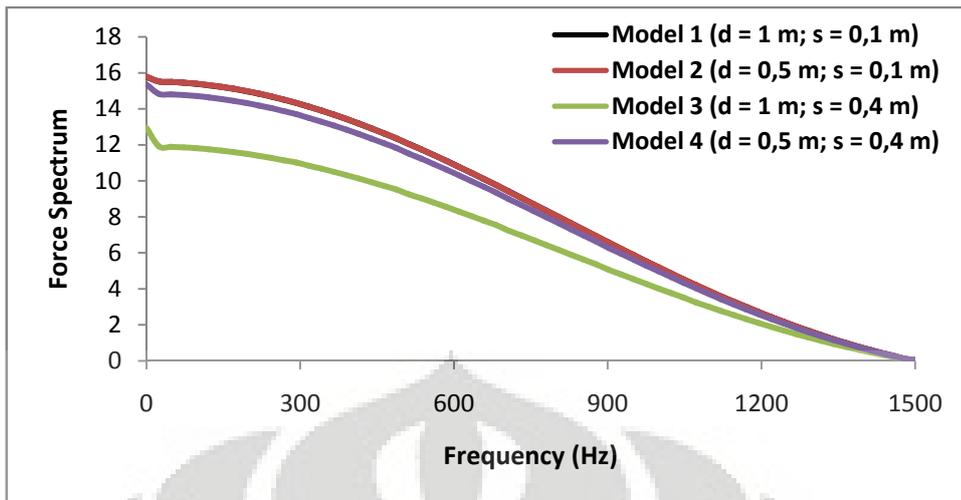
Gambar 5.21 Grafik Mobilitas untuk Model 4 (Pemodelan Rod)

### 5.1.5 Gabungan Model 1 – 4

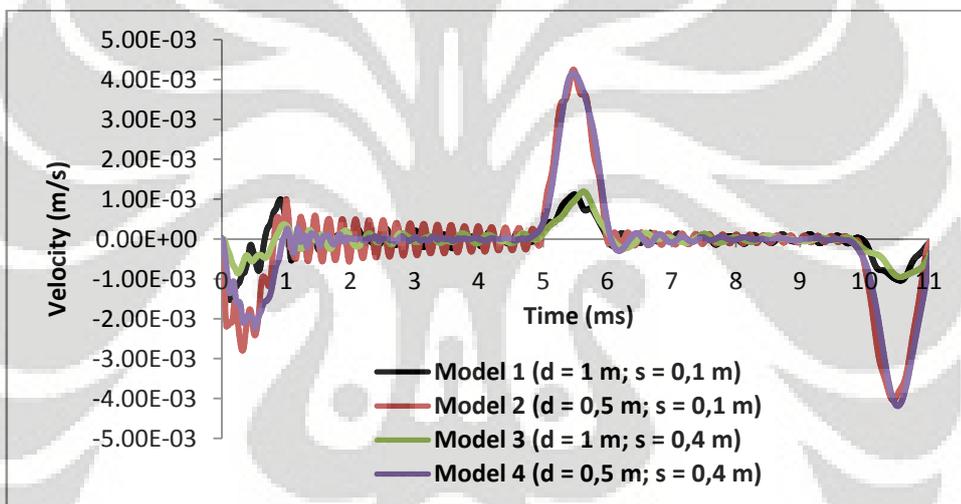
Berikut grafik-grafik gabungan dari model 1 hingga model 4 dari pemodelan rod yaitu sebagai berikut:



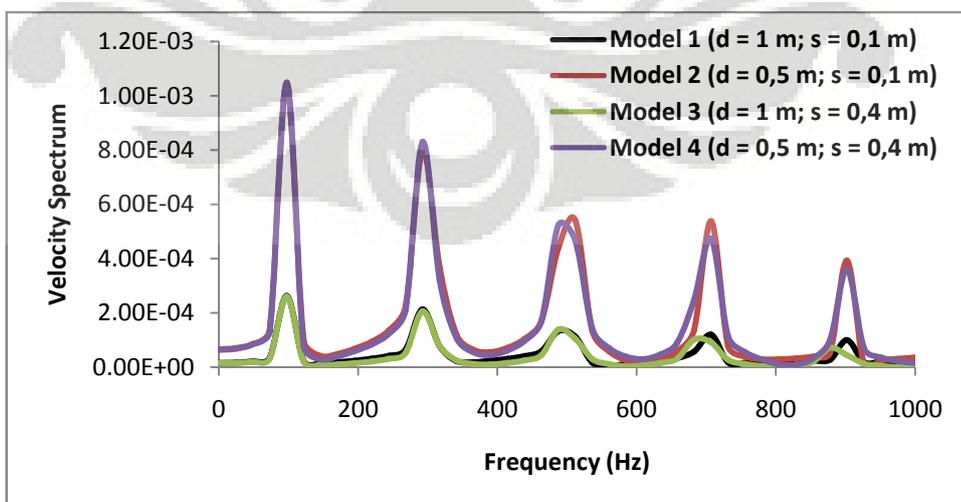
Gambar 5.22 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Rod



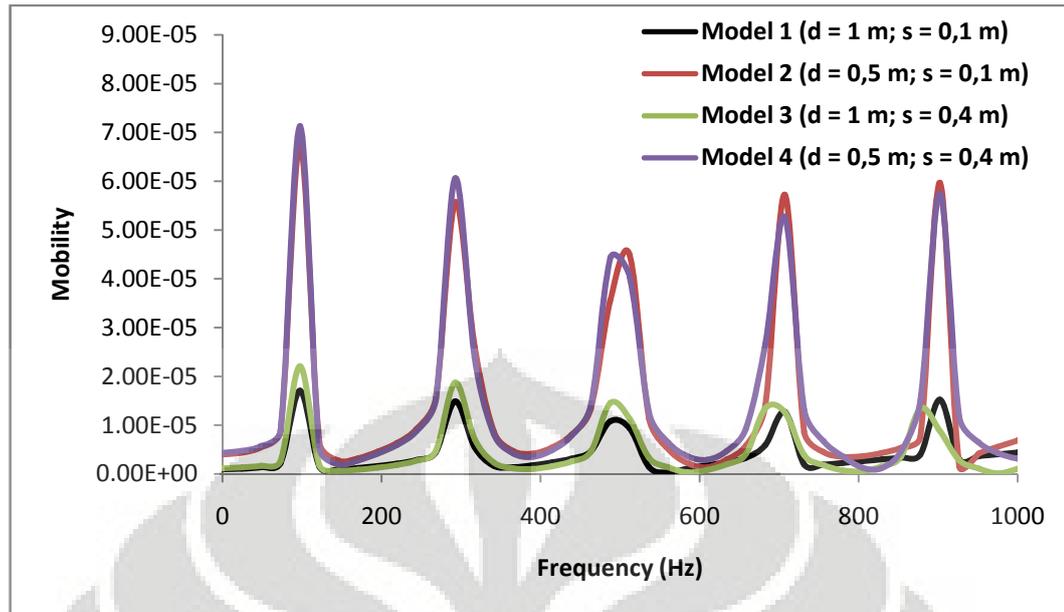
Gambar 5.23 Grafik Spektrum Beban untuk Pemodelan Rod



Gambar 5.24 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Rod



Gambar 5.25 Grafik Spektrum Beban untuk Pemodelan Rod



Gambar 5.26 Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Rod

### 5.1.6 Analisa Hasil Pemodelan Rod

Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* geoteknik yaitu PLAXIS Versi 8. Dalam melakukan perhitungan pada *calculation* PLAXIS v8, hendaknya dilakukan dalam total waktu yang panjang. Hal ini akan menghasilkan interval frekuensi yang kecil sehingga grafik *frequency domain* yang dihasilkan akan memiliki nilai yang lebih baik. Pada simulasi ini, penulis memberikan interval waktu hingga 41 ms. Dengan menggunakan *sampling rate* 100000 *sample/s*, maka *total steps* yang dibutuhkan pada simulasi ini yaitu 4100 *steps*. Dikarenakan pada *calculation* PLAXIS v8 setiap tahapnya hanya bisa melakukan maksimum 1000 *steps*, maka dibagi menjadi 5 tahap yaitu sebagai berikut:

- Tahap 1 : Sebagai beban, 100 *steps* dan interval waktu 1 ms
- Tahap 2 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms
- Tahap 3 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms
- Tahap 4 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms
- Tahap 5 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms

Untuk mendapatkan waktu beban yang dibutuhkan untuk simulasi ini dapat dilakukan perhitungan di bawah ini yaitu sebagai berikut:

- $f = 500 \text{ Hz}$

- $t = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ s}$
- Karena beban terjadi hanya  $\frac{1}{2}$  gelombang maka waktu untuk bebannya menjadi 0,001 s atau 1 ms.

Dilihat dari hasil grafik waktu terhadap beban pada Gambar 5.2, 5.7, 5.12 dan 5.17, didapatkan waktu beban berkisar 1 ms, maka dapat dikatakan simulasi ini sesuai dengan teori yang ada,

*Fast Fourier Transform* (FFT) dari beban dapat dilihat pada gambar 5.3, 5.8, 5.13 dan 5.18. Spektrum beban menunjukkan bahwa tumbukan *hammer* menggunakan frekuensi kira-kira di bawah 1000 Hz. Oleh karena itu, analisa mobilitas akan dilakukan pada batas tersebut, karena nilai-nilai mobilitas yang keliru/*error* akan terbentuk apabila nilai beban yang salah digunakan untuk menghitung mobilitas.

Dari grafik waktu terhadap kecepatan pada Gambar 5.4, 5.9, 5.14 dan 5.19 dapat ditentukan panjang tiang serta kelainan-kelainan yang terjadi apabila terdapat cacat pada tiang. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang tiang pada grafik waktu terhadap kecepatan yaitu ditentukan dari waktu yang dibutuhkan gelombang untuk mengalami bolak-balik menuju kembali ke kepala tiang. Adapun perhitungan untuk mendapatkan waktu bolak-balik gelombang ( $\Delta t$ ) yaitu sebagai berikut:

- Panjang tiang ( $L$ ) = 10 m
- $\Delta t = \frac{2L}{v_c} = \frac{2 \times 10}{4000} = 0,005 \text{ s} = 5 \text{ ms}$

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dari grafik waktu terhadap kecepatan yang diperoleh dari PLAXIS v8 didapat perilaku gelombang dimana selisih waktu dari puncak beban dengan puncak berikutnya terjadi sekitar 5 ms, maka dapat dikatakan simulasi ini sesuai dengan teori yang ada,

Spektrum kecepatan dilihat dari Gambar 5.5, 5.10, 5.15 dan 5.20 menunjukkan tiga puncak resonan kira-kira di bawah 600 Hz. Tiga puncak awal merupakan resonansi dari pemantulan pada kaki tiang, dengan nilai berkisar 200 Hz dan menggunakan kecepatan rambat gelombang 4001 m/s. Untuk lebih jelasnya, dapat dianalisa dari grafik mobilitas.

Selain dilihat dari grafik waktu terhadap kecepatan, penentuan panjang tiang serta kelainan-kelainan yang terjadi pada tiang juga dapat dilihat dari grafik frekuensi terhadap mobilitas. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang tiang yaitu dengan menentukan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang sama pada gelombang-gelombang awal. Adapun perhitungannya yaitu sebagai berikut:

- Panjang tiang ( $L$ ) = 10 m
- $\Delta f = \frac{v_c}{2L} = \frac{4000}{2 \times 10} = 200 \text{ Hz}$

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, pada grafik mobilitas yang terlihat pada Gambar 5.6, 5.11, 5.16 dan 5.21 diperoleh beda frekuensi ( $\Delta f$ ) berkisar 200 Hz, maka dapat dikatakan simulasi ini sesuai dengan teori yang ada.

Dari perbandingan hasil grafik masing-masing model pada pemodelan rod dilihat dari Gambar 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 dan 5.26, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbedaan diameter tiang antara 1 m dan 0,5 m dengan material dan panjang tiang yang sama berpengaruh pada besarnya energi yang dihasilkan. Pada diameter 1 m tentunya akan menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan diameter 0,5 m. Hal ini disebabkan karena energi gelombang yang dihasilkan pada tiang dengan diameter 1 m lebih banyak terserap dibandingkan dengan tiang berdiameter 0,5 m.
2. Berdasarkan teori yang ada, ukuran elemen jaringan untuk pemodelan ini agar memperoleh hasil yang lebih baik seharusnya,

$$\text{Ukuran elemen hingga (s)} \leq \frac{t_c \times v_c}{25} = \frac{0,001 \times 4000}{25} = 0,16 \text{ m.}$$

Namun, disini penulis melakukan perbandingan ukuran elemen hingga antara 0,1 m dan 0,4 m. Terlihat pada Gambar 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 dan 5.26 bahwa perbedaan ukuran elemen hingga tersebut tidak memiliki perbedaan yang besar dilihat dari perilaku gelombangnya. Oleh karena itu, untuk pemodelan berikutnya, penulis menggunakan ukuran elemen 0,4 m, karena ukuran elemen 0,1 m terlalu halus sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan pemodelan menjadi lebih lama serta kapasitas *hard disk* komputer yang terpakai menjadi sangat besar.

## 5.2 HASIL PEMODELAN TIANG TUNGGAL TANPA PILE CAP

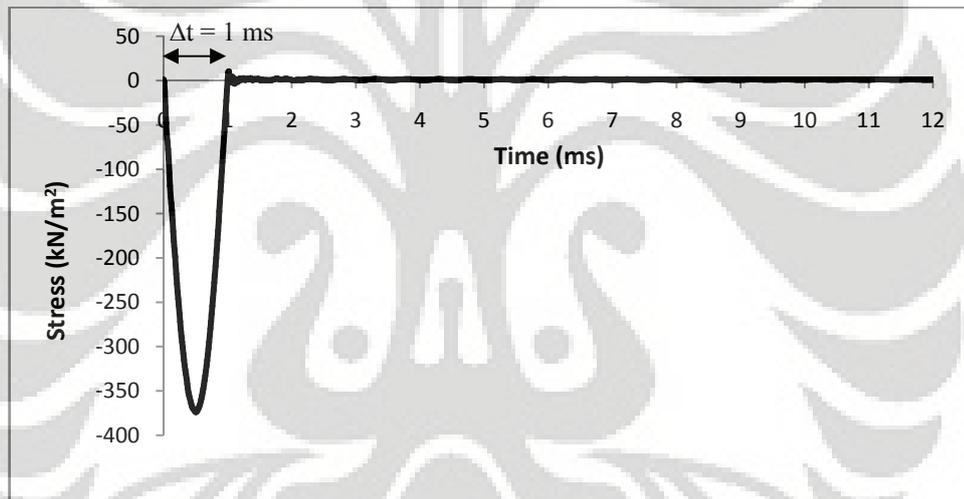
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* terbagi atas 3 (tiga) model. Masing-masing model dibedakan berdasarkan pemberian cacat atau tidak dan frekuensi yang berbeda.

Adapun hasil simulasi dengan menggunakan PLAXIS v8 beserta analisa dari model-model pada pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* yaitu sebagai berikut:

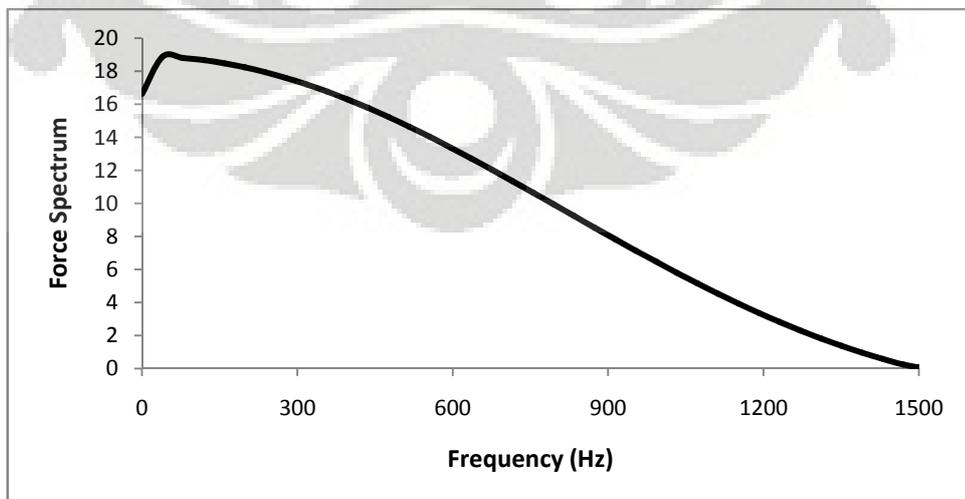
### 5.2.1 Model Tiang Tunggal tanpa Cacat

Pada pemodelan ini tiang memiliki panjang ( $L$ ) 20 m, diameter ( $d$ ) 0,8 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 25 ms.

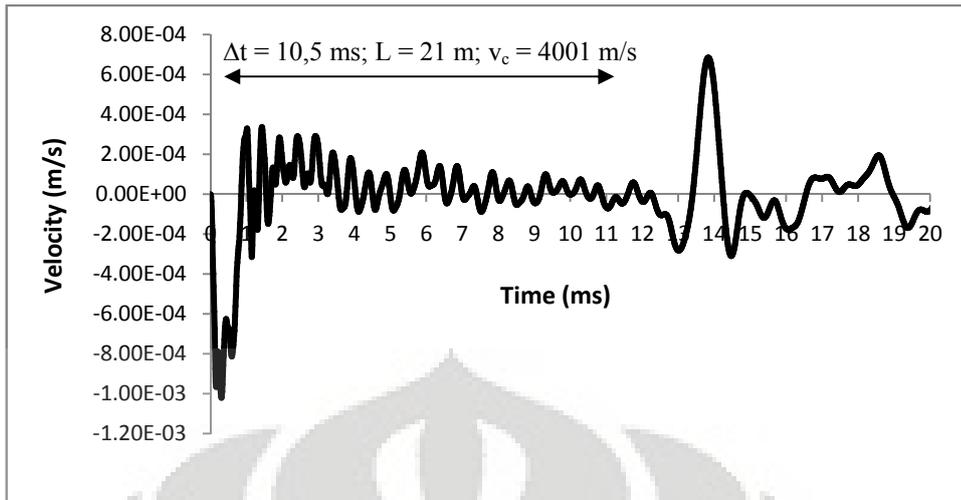
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada pemodelan tiang tunggal tanpa pile cap yaitu sebagai berikut:



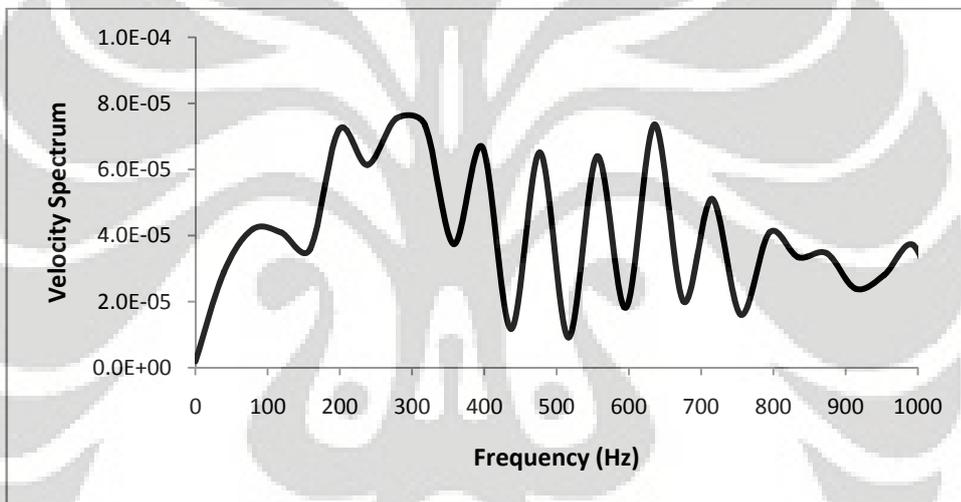
Gambar 5.27 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat



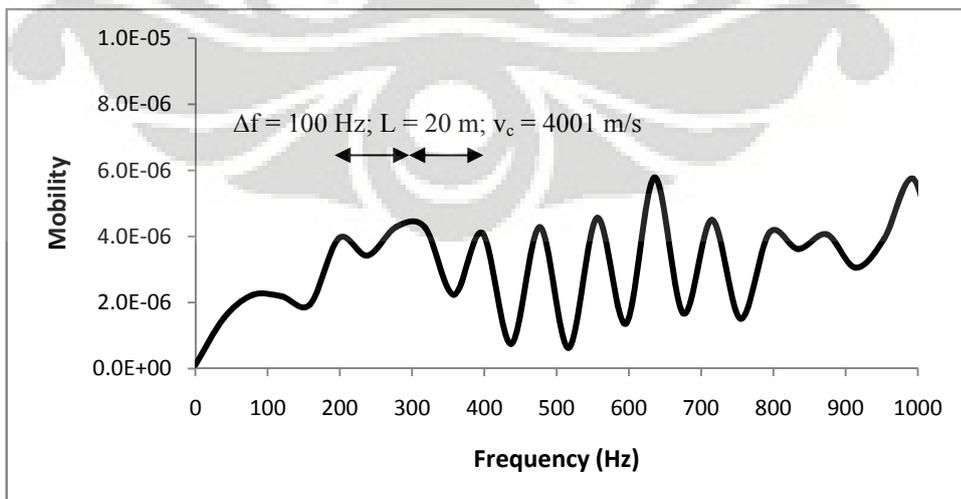
Gambar 5.28 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat



Gambar 5.29 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat



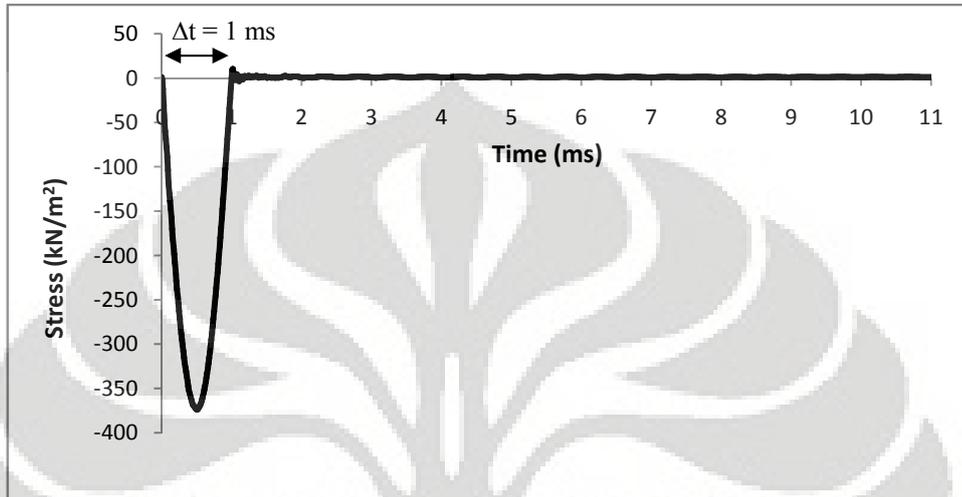
Gambar 5.30 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat



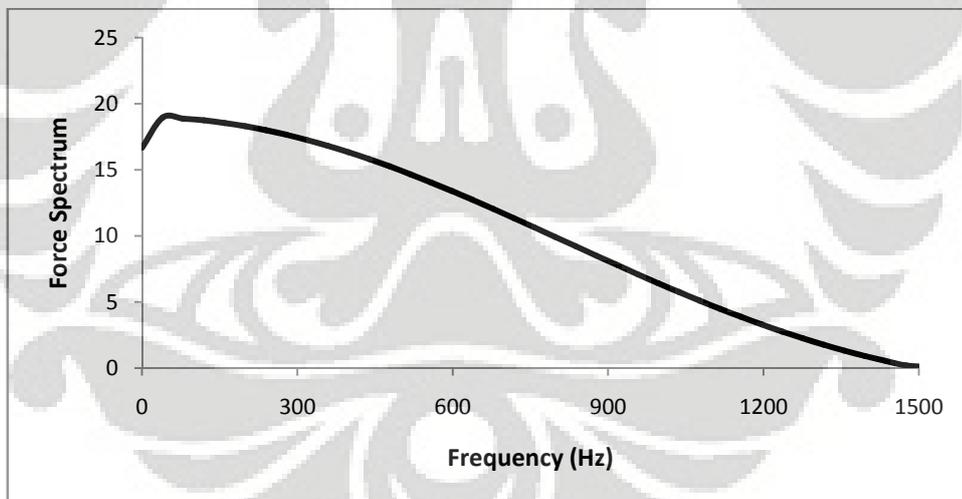
Gambar 5.31 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Cacat

### 5.2.2 Model Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$ Hz)

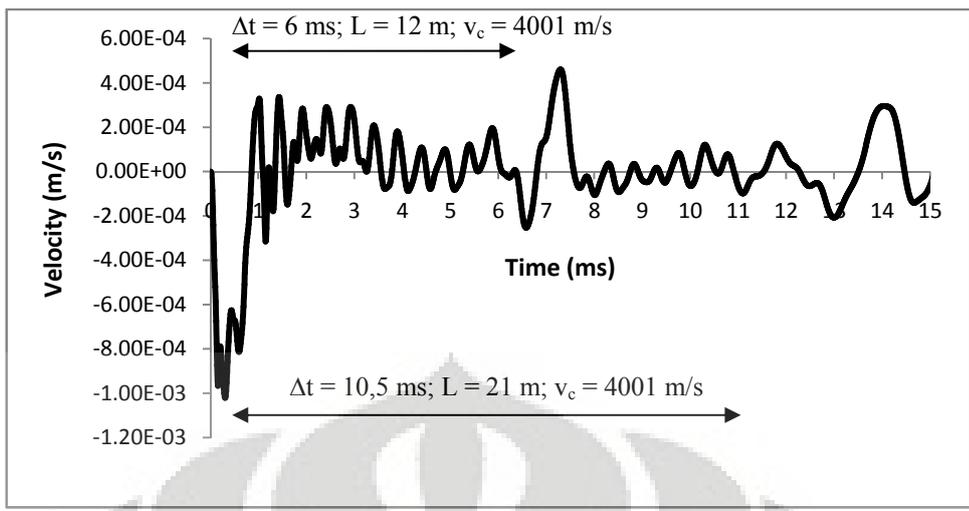
Tiang memiliki panjang ( $L$ ) 20 m, diameter ( $d$ ) 0,8 m, kedalaman lokasi cacat 10 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 25 ms.



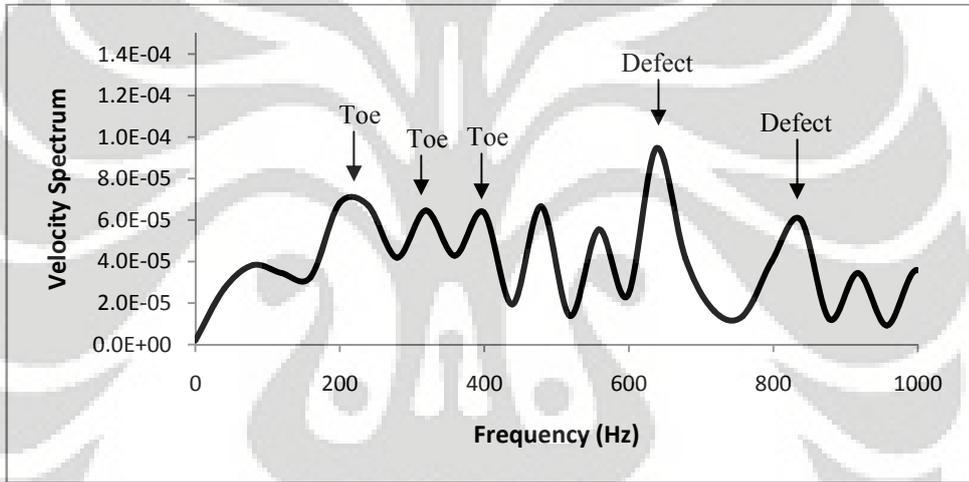
Gambar 5.32 Grafik Waktu - Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)



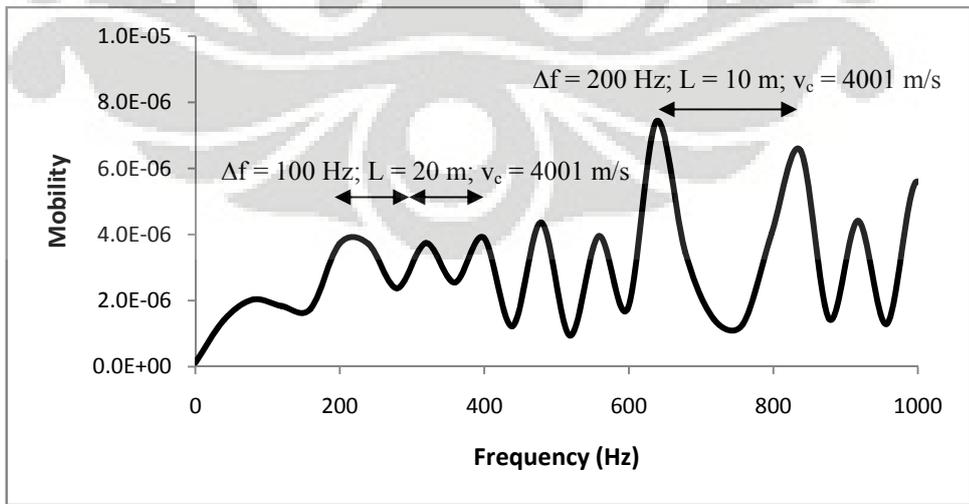
Gambar 5.33 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)



Gambar 5.34 Grafik Waktu - Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)



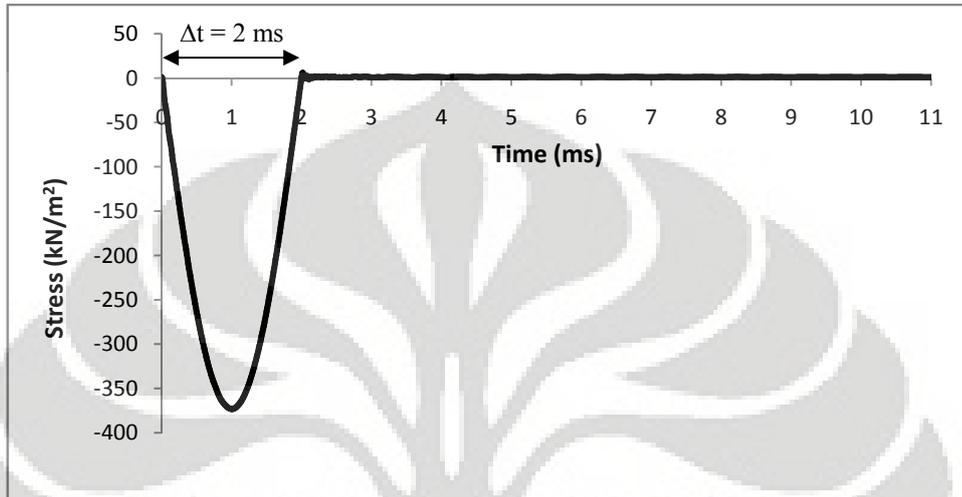
Gambar 5.35 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)



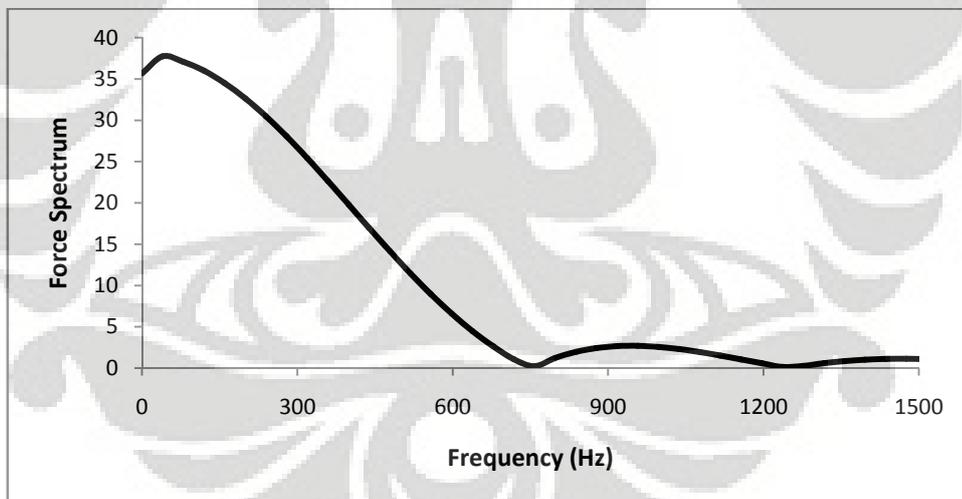
Gambar 5.36 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)

### 5.2.3 Model Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$ Hz)

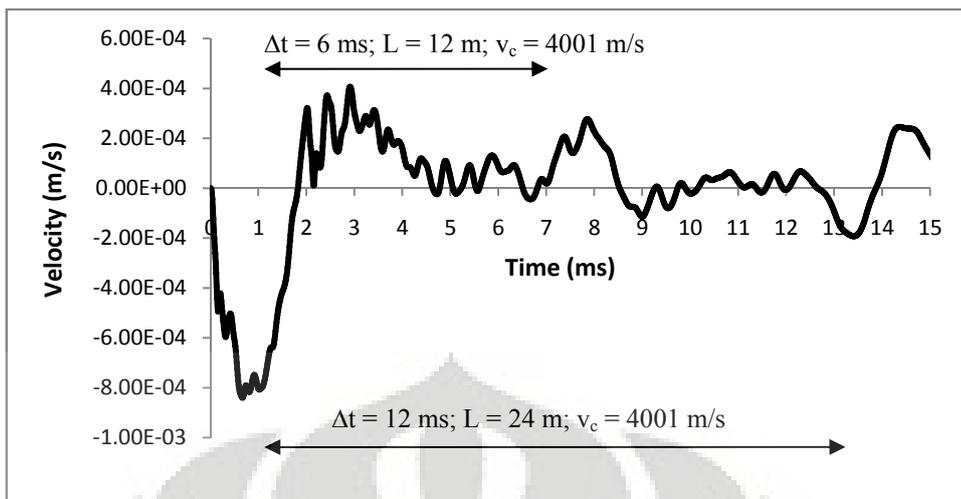
Tiang memiliki panjang ( $L$ ) 20 m, diameter ( $d$ ) 0,8 m, kedalaman lokasi cacat 10 m, ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 500, frekuensi ( $f$ ) 250 Hz dan total waktu simulasi 25 ms.



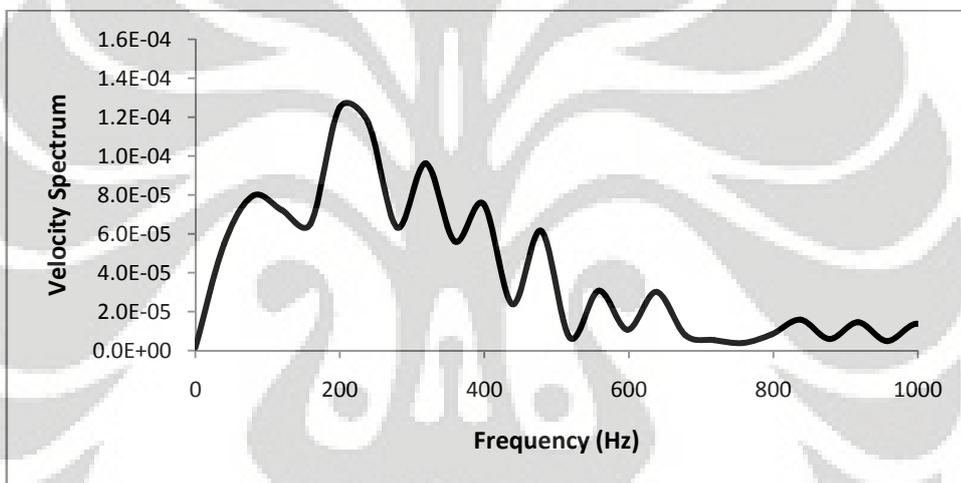
Gambar 5.37 Grafik Waktu - Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$  Hz)



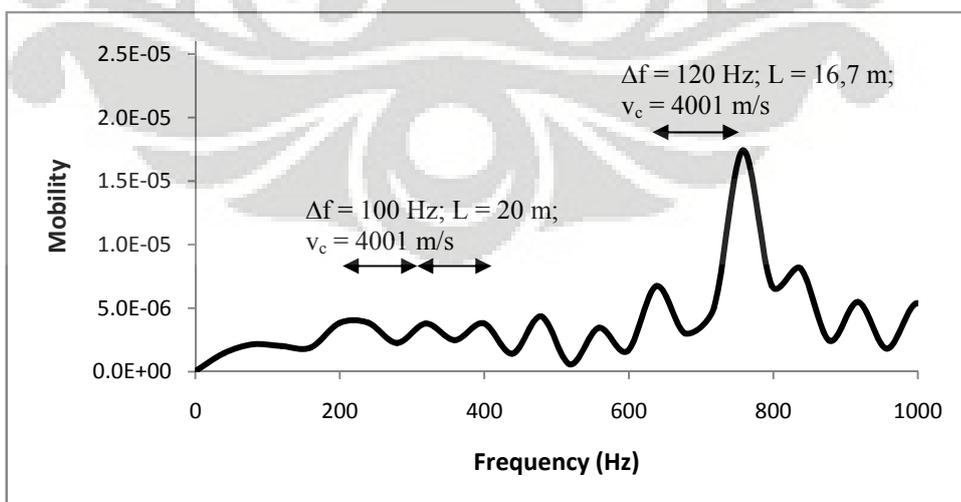
Gambar 5.38 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 500$  Hz)



Gambar 5.39 Grafik Waktu - Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$  Hz)



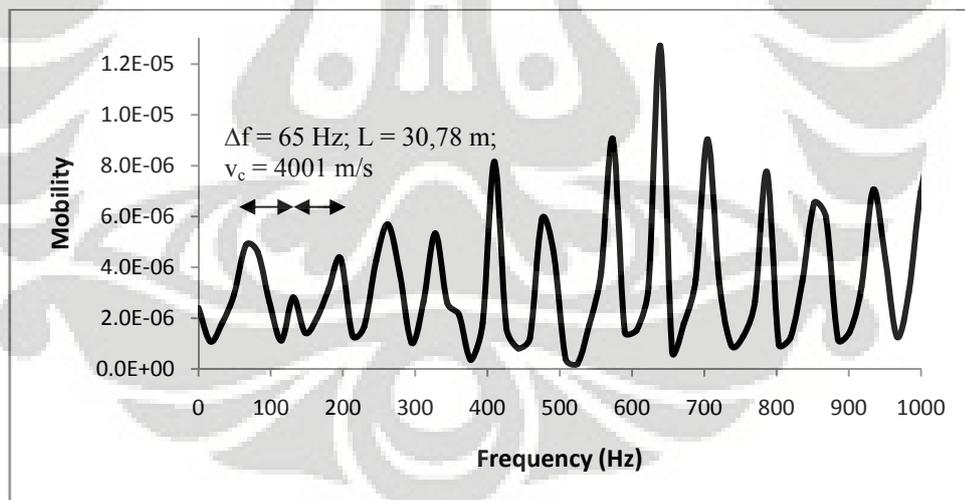
Gambar 5.40 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$  Hz)



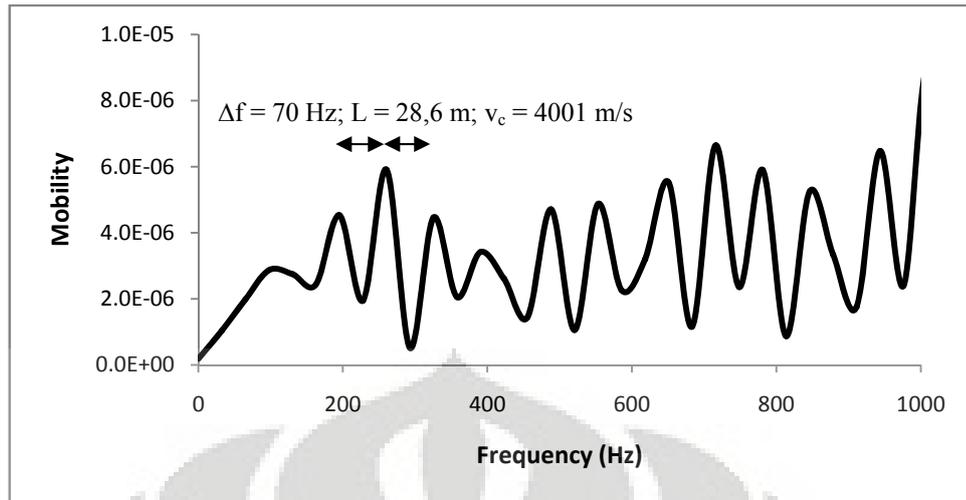
Gambar 5.41 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Cacat ( $f = 250$  Hz)

#### 5.2.4 Analisa Hasil Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap

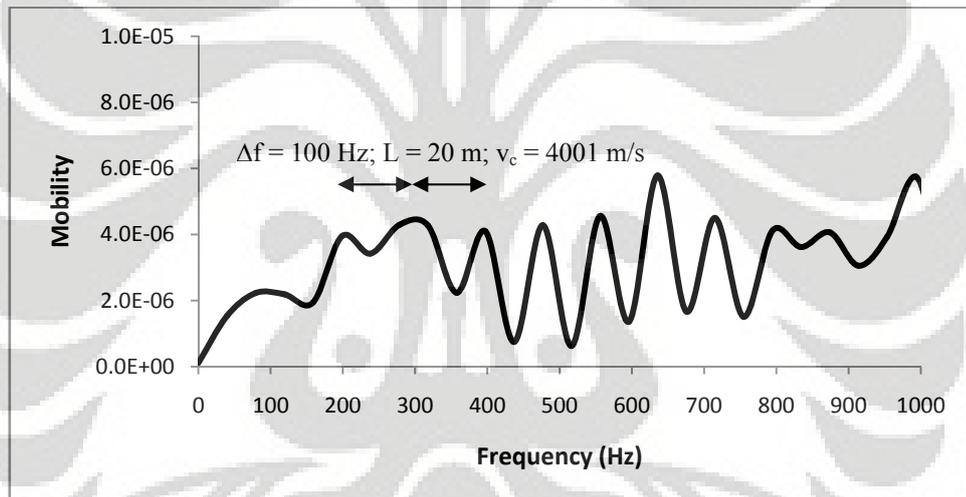
Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* geoteknik yaitu PLAXIS Versi 8. Dalam melakukan perhitungan pada *calculation* PLAXIS v8, hendaknya dilakukan dalam total waktu yang panjang. Pada pemodelan rod yang telah dijelaskan sebelumnya dimana total waktu simulasi yang digunakan yaitu 41 ms. Namun pada simulasi ini, penulis memberikan interval waktu hingga 25 ms dimana lebih kecil dibandingkan waktu total simulasi pada pemodelan rod. Hal ini dilakukan karena pada pemodelan rod, material tanah tidak digunakan sehingga sekeliling tiang tidak dipengaruhi oleh material tanah. Oleh karena itu, gelombang akan merambat dengan baik tanpa gangguan. Sedangkan pada pemodelan tiang tunggal tanpa pile cap ini menggunakan material tanah yang kemungkinan akan berpengaruh pada perambatan gelombangnya. Hasil yang kurang baik yang dihasilkan terlihat pada Grafik Mobilitas. Pada Gambar 5.42, 5.43 dan 5.44 berikut dibandingkan total waktu simulasi 61 ms (dicoba untuk nilai yang ekstrim), total waktu simulasi 31 ms dan total waktu simulasi 25 ms.



Gambar 5.42 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap dengan Total Waktu Simulasi 61 ms



Gambar 5.43 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap dengan Total Waktu Simulasi 31 ms



Gambar 5.44 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap dengan Total Waktu Simulasi 25 ms

Dari perbandingan diatas, disimpulkan bahwa apabila simulasi dilakukan lebih lama dari 25 ms, maka akan menghasilkan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) pada tiga puncak resonan awal pada grafik mobilitas yang tidak sama atau nilai  $\Delta f$  menjadi keliru/*error*.

Dengan menggunakan *sampling rate* 100000 *sample/s*, maka *total steps* yang dibutuhkan pada simulasi ini yaitu 2500 *steps*. Dikarenakan pada *calculation* PLAXIS v8 setiap tahapnya hanya bisa melakukan maksimum 1000 *steps*, maka dibagi menjadi 4 tahap yaitu sebagai berikut:

- Tahap 1 : Sebagai beban, 100 *steps* dan interval waktu 1 ms
- Tahap 2 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms
- Tahap 3 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms
- Tahap 4 : 400 *steps* dan interval waktu 4 ms

Untuk mendapatkan waktu beban yang dibutuhkan untuk simulasi ini dapat dilakukan perhitungan di bawah ini yaitu sebagai berikut:

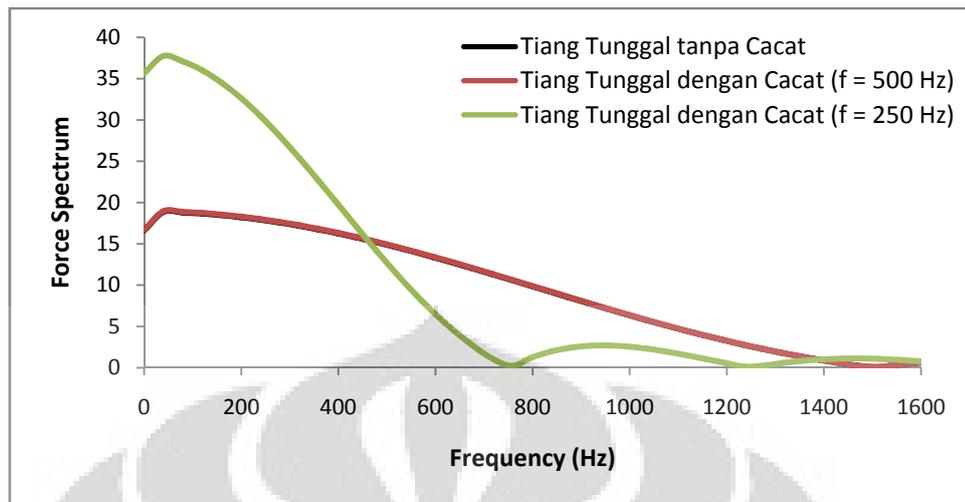
- $f = 500 \text{ Hz}$
- $t = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ s}$
- Karena beban terjadi hanya  $\frac{1}{2}$  gelombang maka waktu untuk bebannya menjadi 0,001 s atau 1 ms.

Dilihat dari hasil grafik waktu terhadap beban untuk pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* pada Gambar 5.27 dan 5.32, maka dapat dikatakan simulasi ini sesuai dengan hasil perhitungan teori diatas, karena waktu beban yang didapat berkisar 1 ms. Sedangkan untuk :

- $f = 250 \text{ Hz}$
- $t = \frac{1}{f} = \frac{1}{250} = 0,004 \text{ s}$
- Karena beban terjadi hanya  $\frac{1}{2}$  gelombang maka waktu untuk bebannya menjadi 0,002 s atau 2 ms.

Dilihat dari hasil grafik waktu terhadap beban untuk pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* pada Gambar 5.37, maka dapat dikatakan simulasi ini sesuai dengan hasil perhitungan teori diatas, karena waktu beban yang didapat berkisar 2 ms.

*Fast Fourier Transform* (FFT) dari beban dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan 5.33. Spektrum beban menunjukkan bahwa tumbukan *hammer* menggunakan frekuensi kira-kira di bawah 1000 Hz. Namun dilihat dari Gambar 5.38, menunjukkan bahwa tumbukan *hammer* menggunakan frekuensi kira-kira dibawah 500 Hz. Oleh karena itu, analisa mobilitas akan dilakukan pada batas-batas tersebut, karena nilai-nilai mobilitas yang keliru/*error* akan terbentuk apabila nilai beban yang salah digunakan untuk menghitung mobilitas. Berikut perbandingan spektrum beban antara tiang tunggal tanpa cacat dengan tiang tunggal yang memiliki cacat dilihat dari Gambar 5.45.



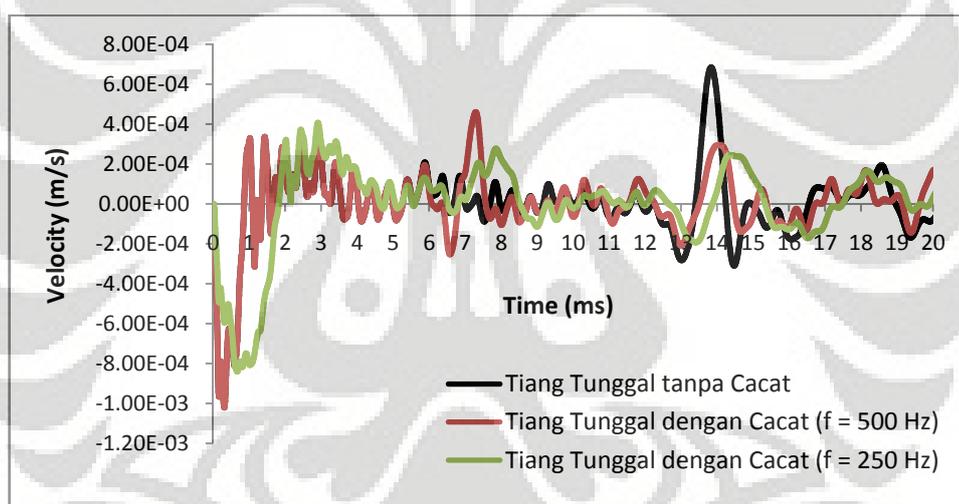
Gambar 5.45 Perbandingan Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap

Dari grafik waktu terhadap kecepatan pada Gambar 5.29, 5.34 dan 5.39 dapat ditentukan panjang tiang serta cacat yang terjadi pada tiang. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang tiang dan cacat pada tiang pada grafik waktu terhadap kecepatan yaitu ditentukan dari waktu yang dibutuhkan gelombang untuk mengalami bolak-balik menuju kembali ke kepala tiang. Adapun perhitungan untuk mendapatkan waktu bolak-balik gelombang ( $\Delta t$ ) yaitu sebagai berikut:

- Kedalaman lokasi tiang = 10 m
- Panjang tiang ( $L$ ) = 20 m
- $\Delta t = \frac{2L}{v_c} = \frac{2 \times 10}{4001} = 0,005 \text{ s} = 5 \text{ ms}$
- $\Delta t = \frac{2L}{v_c} = \frac{2 \times 20}{4001} = 0,0101 \text{ s} = 10,1 \text{ ms}$

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dari grafik waktu terhadap kecepatan yang diperoleh dari PLAXIS v8 yang terlihat pada Gambar 5.29, didapatkan beda waktu ( $\Delta t$ ) berkisar 10,5 ms dan apabila dihitung dengan cara perhitungan diatas, maka didapatkan panjang tiang ( $L$ ) 21 m. Hasil ini berbeda dengan yang didapat dari hasil perhitungan teoritis. Sedangkan pada Gambar 5.34, dapat diketahui kedalaman lokasi cacat dimana beda waktu ( $\Delta t$ ) yang terjadi berkisar 6 ms dengan kedalaman lokasi cacat pada tiang sekitar 12 m. Hasil ini berbeda dengan yang didapat dari hasil perhitungan teoritis. Begitu

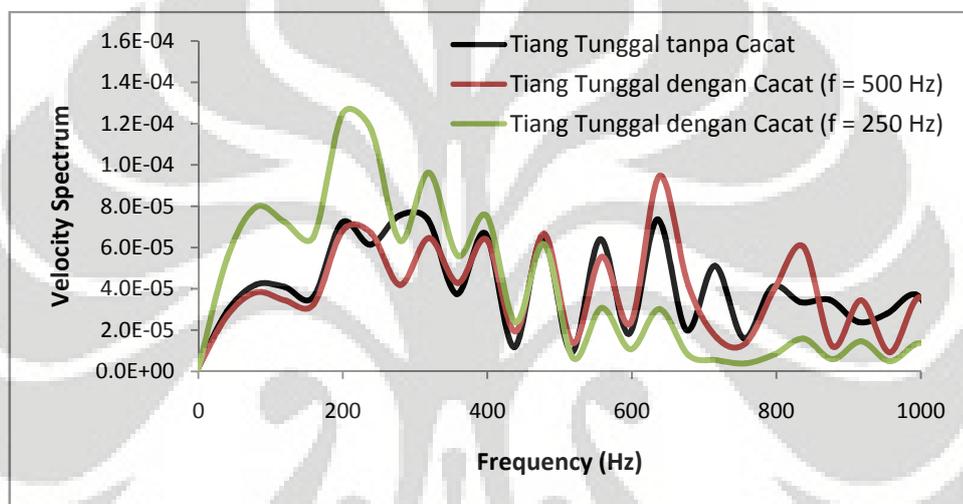
juga dilihat dari Gambar 5.39, bahwa interpretasi dari grafik waktu terhadap kecepatan dengan frekuensi yang lebih rendah memperlihatkan hasil yang berbeda dengan hasil perhitungan teori dimana panjang tiang yang diperoleh sekitar 24 m dengan beda waktu ( $\Delta t$ ) berkisar 12 ms. Sedangkan untuk kedalaman cacat tiang diperoleh sekitar 12 m dengan beda waktu ( $\Delta t$ ) berkisar 6 ms. Hasil-hasil ini diakibatkan karena adanya perbedaan pemberian frekuensi untuk beban sehingga perilaku respon yang terlihat pada grafik menjadi sangat signifikan sehingga nantinya akan turut mempengaruhi interpretasi hasil dari grafik *time domain* yang terbentuk. Berikut perbandingan grafik kecepatan terhadap waktu antara pemodelan tiang tunggal tanpa cacat dengan pemodelan tiang tunggal dengan cacat menggunakan  $f = 500$  Hz dan  $f = 250$  Hz yang ditampilkan pada Gambar 5.46.



Gambar 5.46 Perbandingan Grafik Kecepatan terhadap Waktu pada Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap

Spektrum kecepatan dilihat dari Gambar 5.30 dan 5.35 menunjukkan puncak-puncak resonansi awal kira-kira di bawah 450 Hz. Puncak-puncak awal tersebut merupakan resonansi dari pemantulan dari kaki tiang, dengan nilai berkisar 100 Hz dan menggunakan kecepatan rambat gelombang 4001 m/s. Selain itu, juga terdapat dua puncak yang mengalami perkuatan frekuensi setelah 600 Hz. Hal ini merupakan resonansi akibat pemantulan dari cacat yang terjadi pada tiang. Namun, dilihat dari Gambar 5.40, ternyata tidak bisa

diinterpretasikan kedalaman cacat tiang karena frekuensi setelah 600 Hz, tidak terbentuk perkuatan frekuensi yang menunjukkan kedalaman cacat tiang. Hal ini juga diakibatkan karena adanya perbedaan pemberian frekuensi untuk beban sehingga perilaku respon yang terlihat pada grafik menjadi sangat signifikan sehingga nantinya akan turut mempengaruhi interpretasi hasil dari grafik *frequency domain* yang terbentuk. Berikut perbandingan spektrum kecepatan antara tiang tunggal tanpa cacat dengan tiang tunggal yang memiliki cacat dilihat dari Gambar 5.47.



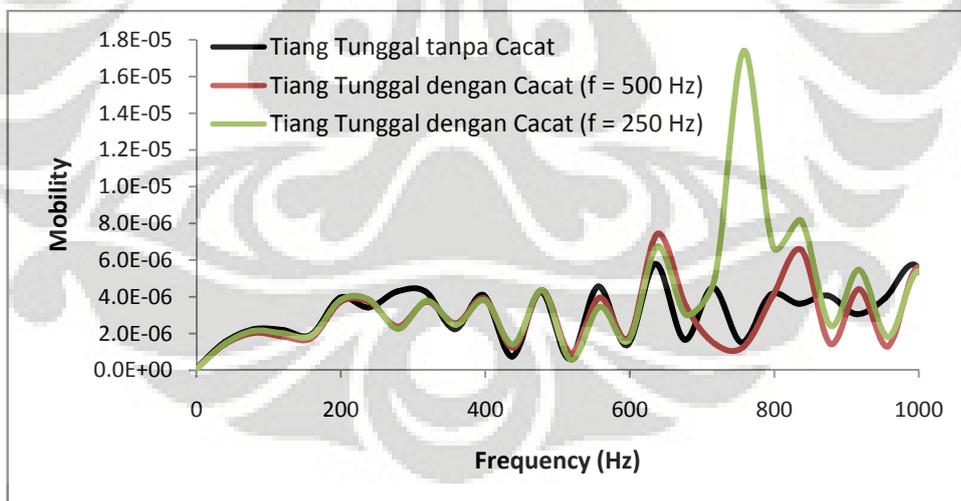
Gambar 5.47 Perbandingan Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap

Selain dilihat dari grafik waktu terhadap kecepatan, penentuan panjang tiang serta cacat yang terjadi pada tiang juga dapat dilihat dari grafik frekuensi terhadap mobilitas. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang tiang yaitu dengan menentukan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang sama pada puncak-puncak resonan awal karena merupakan resonansi dari pemantulan kaki tiang. Selain itu, untuk mendapatkan kedalaman lokasi cacat pada tiang dilihat dari beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang dihasilkan dari puncak-puncak resonan yang mengalami perkuatan frekuensi setelah beberapa puncak resonan awal. Adapun perhitungannya yaitu sebagai berikut:

- Kedalaman cacat tiang = 10 m
- Panjang tiang ( $L$ ) = 20 m

- $\Delta f = \frac{v_c}{2L} = \frac{4001}{2 \times 10} = 200 \text{ Hz}$
- $\Delta f = \frac{v_c}{2L} = \frac{4001}{2 \times 20} = 100 \text{ Hz}$

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, berbeda dengan hasil yang didapatkan dari grafik waktu terhadap kecepatan, pada grafik mobilitas yang terlihat pada gambar 5.31 dan 5.36 diperoleh hasil yang lebih akurat yaitu beda frekuensi ( $\Delta f$ ) berkisar 100 Hz pada puncak-puncak resonan awal untuk menentukan panjang tiang dan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) berkisar 200 Hz pada puncak-puncak resonan yang mengalami perkuatan frekuensi untuk menentukan kedalaman cacat pada tiang, maka dapat dikatakan simulasi ini sesuai dengan hasil perhitungan teori. Namun dilihat dari Gambar 5.41, dengan menggunakan frekuensi beban yang lebih kecil (250 Hz), untuk kedalaman cacat tiang yang diinterpretasikan tidak akurat karena diperoleh beda frekuensi ( $\Delta f$ ) 120 Hz dengan kedalaman cacat tiang berkisar 16,7 m sehingga hasil ini berbeda dengan hasil perhitungan teori yang ada. Berikut perbandingan grafik mobilitas pada pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* yang dilihat pada Gambar 5.48.



Gambar 5.48 Perbandingan Grafik Mobilitas pada Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap

### 5.3 HASIL PEMODELAN TIANG TUNGGAL DENGAN PILE CAP

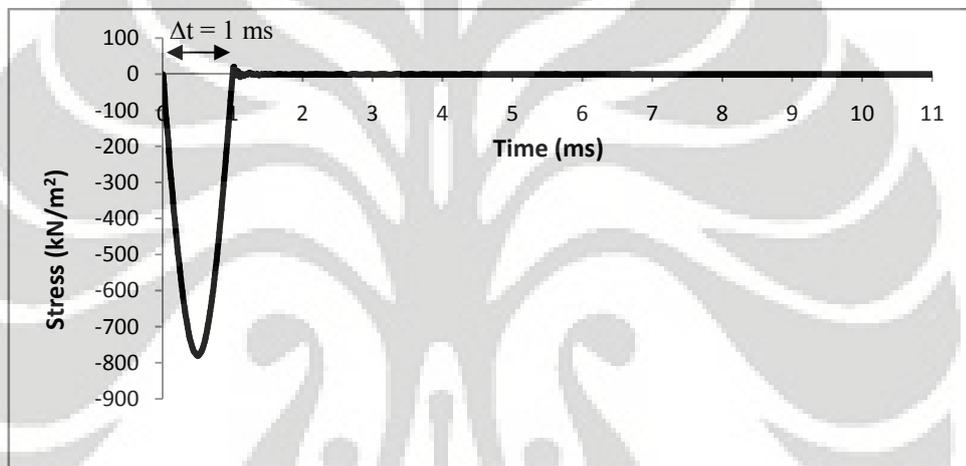
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* terbagi atas 5 model. Masing-masing model divariasikan berdasarkan posisi *pile cap* terhadap tanah.

Pada pemodelan ini, tiang memiliki panjang ( $L$ ) 20 m dan diameter ( $d$ ) 0,8 m. Sedangkan *pile cap* memiliki tinggi ( $t$ ) 1,6 m dan diameter ( $d$ ) 1,6 m. Panjang keseluruhan 21,6 m. Ukuran elemen ( $s$ ) 0,4 m, lebar beban 0,05 m, *amplitude multiplier* 1000, frekuensi ( $f$ ) 500 Hz dan total waktu simulasi 21 ms.

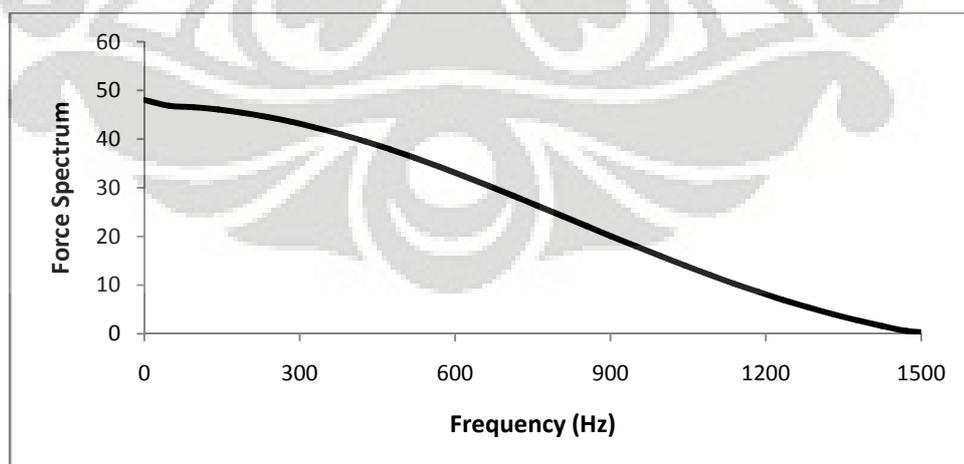
Adapun hasil simulasi dengan menggunakan PLAXIS v8 beserta analisa dari model-model pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* yaitu sebagai berikut:

### 5.3.2 Pile Cap Terbenam di Dalam Tanah

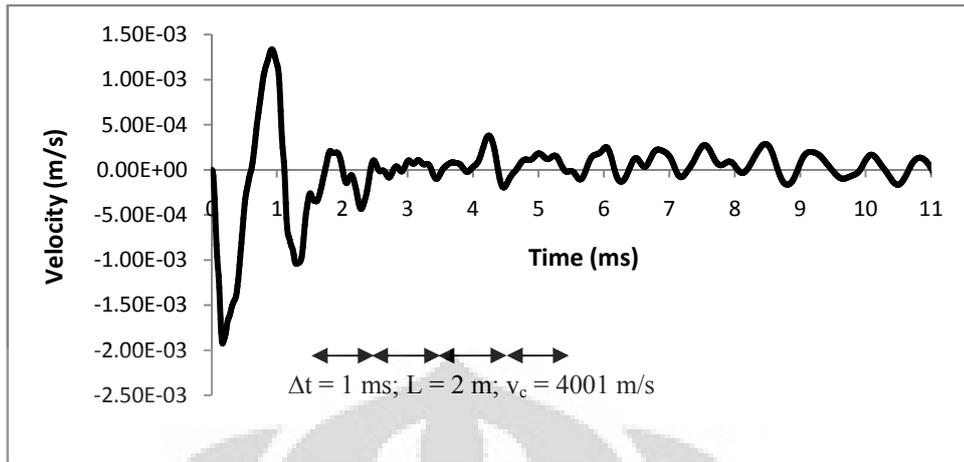
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* pada pemodelan tiang tunggal dengan pile cap yang terbenam di dalam tanah.



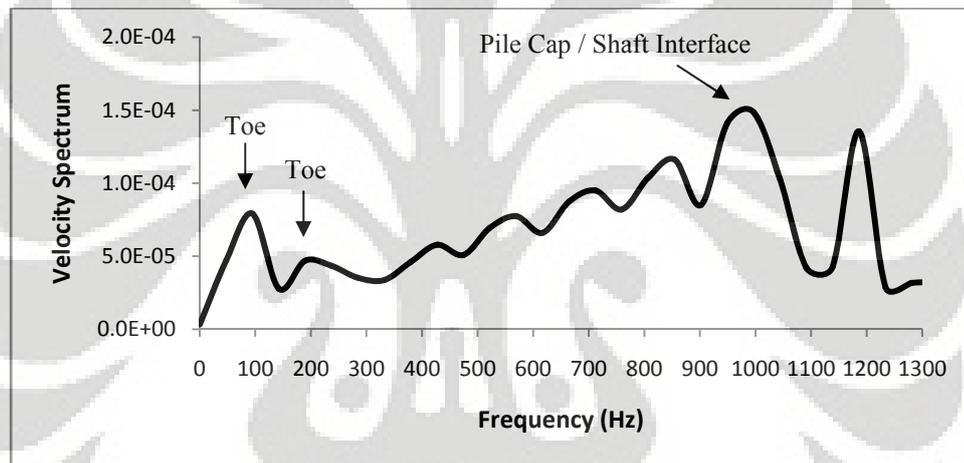
Gambar 5.49 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah



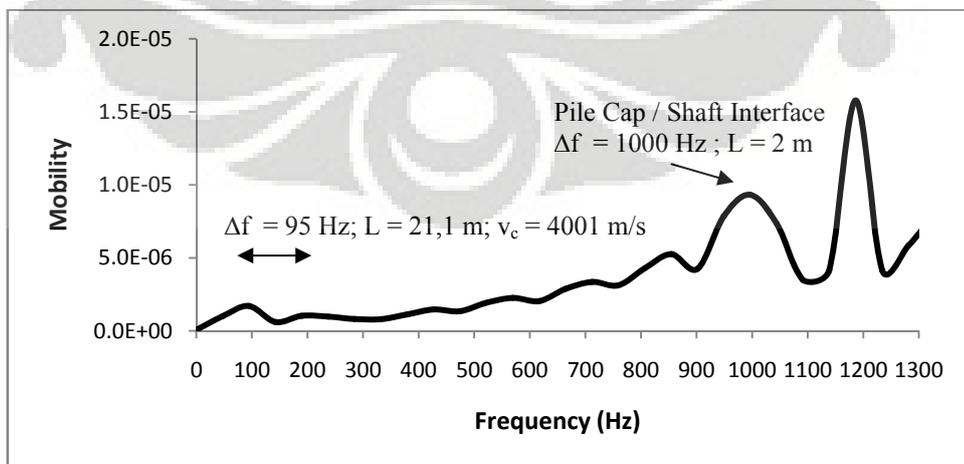
Gambar 5.50 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 5.51 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah



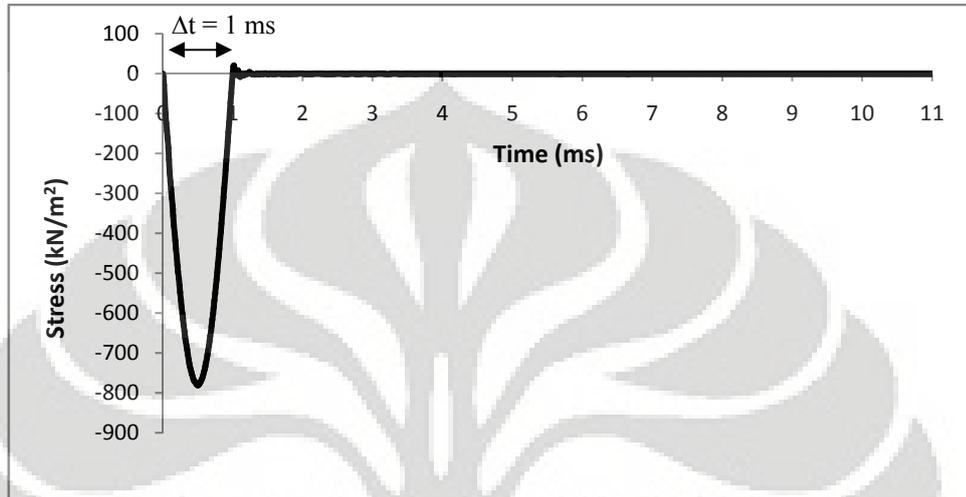
Gambar 5.52 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah



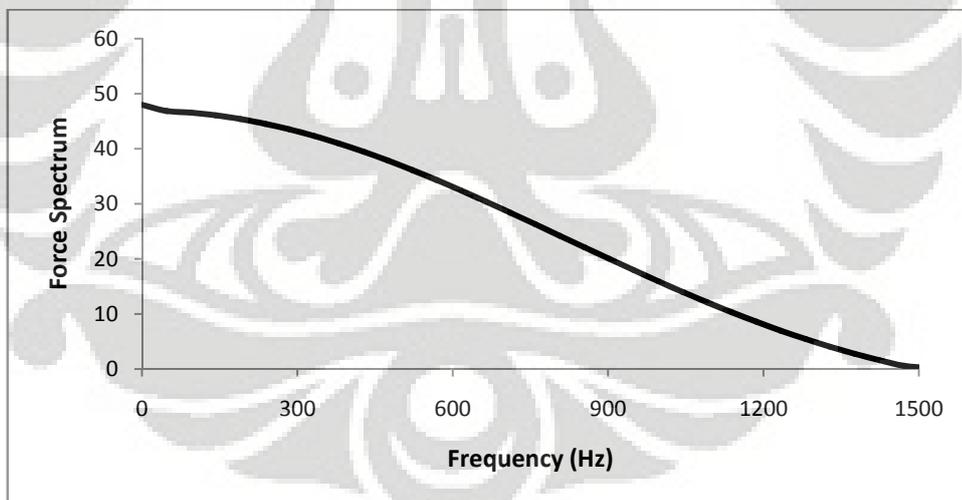
Gambar 5.53 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah

### 5.3.3 Pile Cap Setengah Terbenam di Dalam Tanah

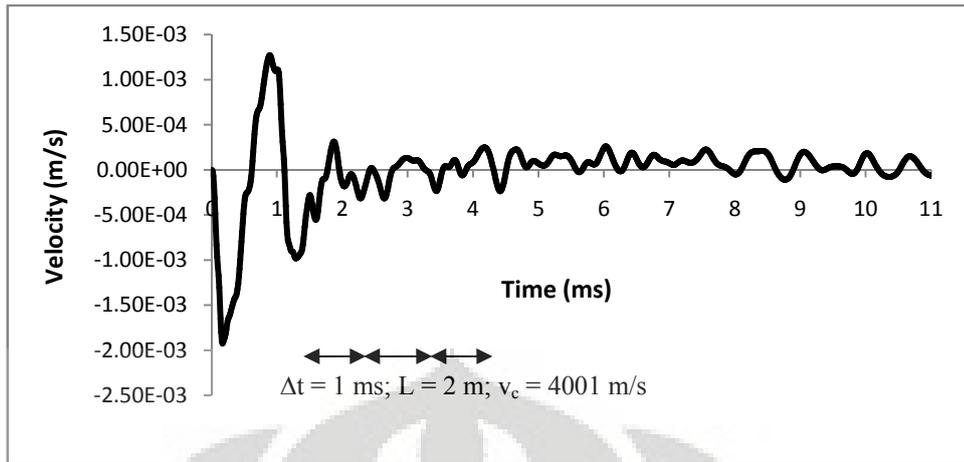
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada pemodelan tiang tunggal dengan pile cap yang setengah terbenam di dalam tanah yaitu sebagai berikut:



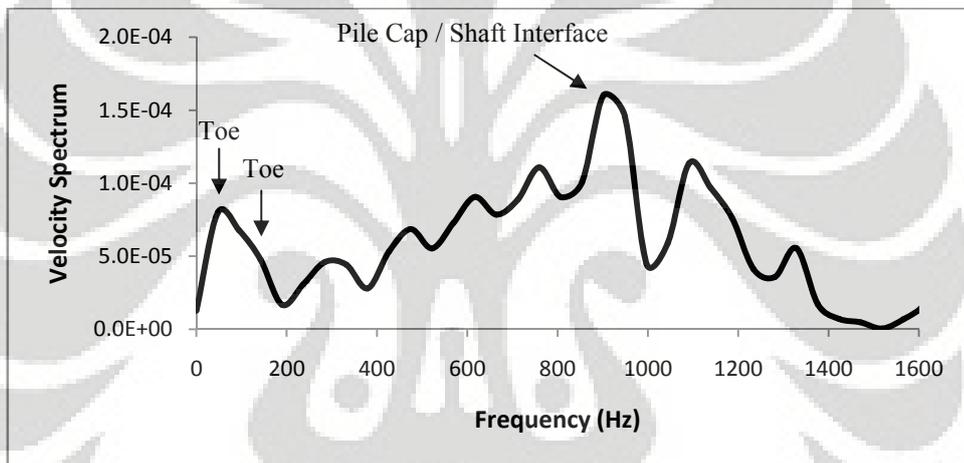
Gambar 5.54 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah



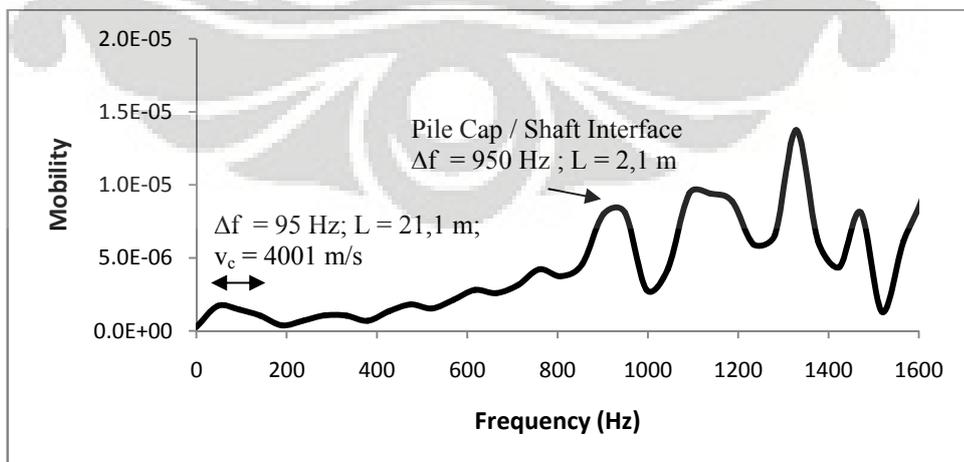
Gambar 5.55 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 5.56 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah



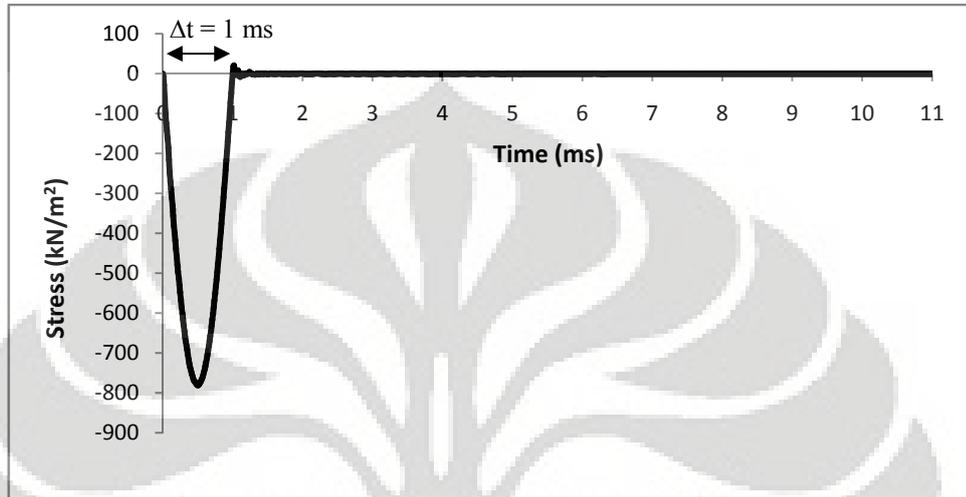
Gambar 5.57 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah



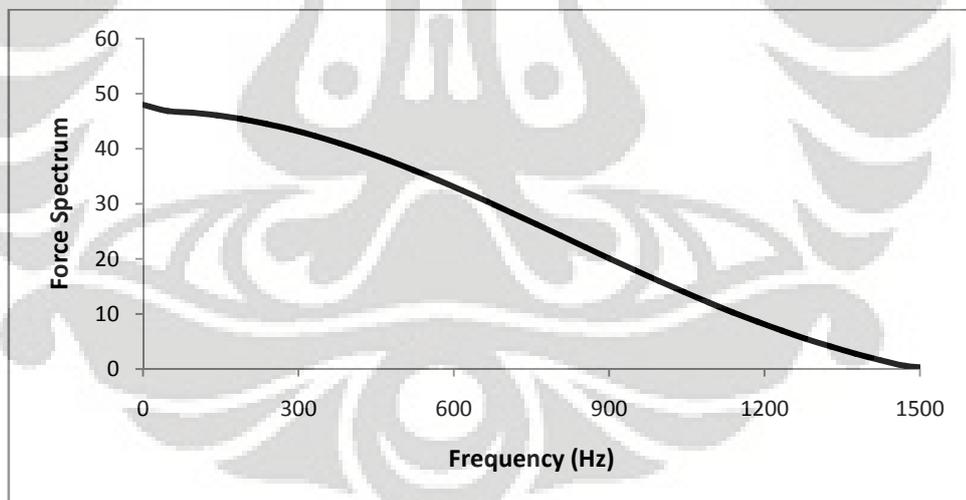
Gambar 5.58 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah

### 5.3.4 Pile Cap Tidak Terbenam di Dalam Tanah

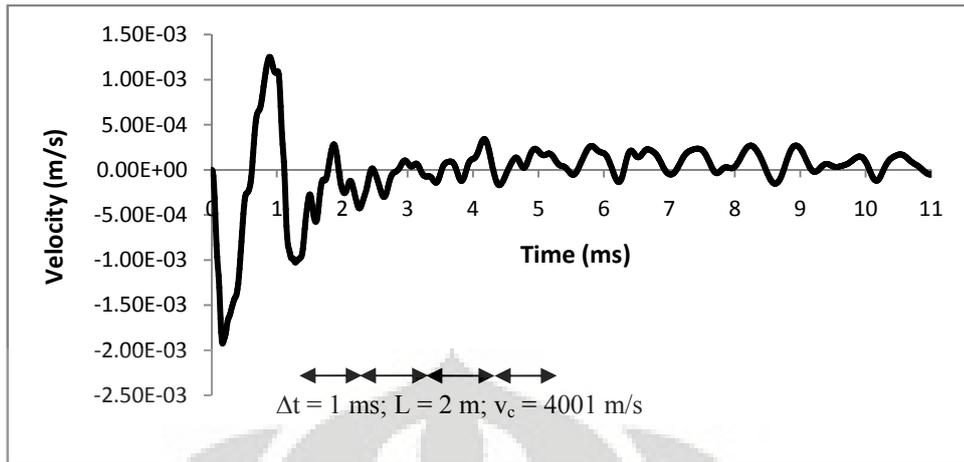
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada pemodelan tiang tunggal dengan pile cap yang tidak terbenam di dalam tanah yaitu sebagai berikut:



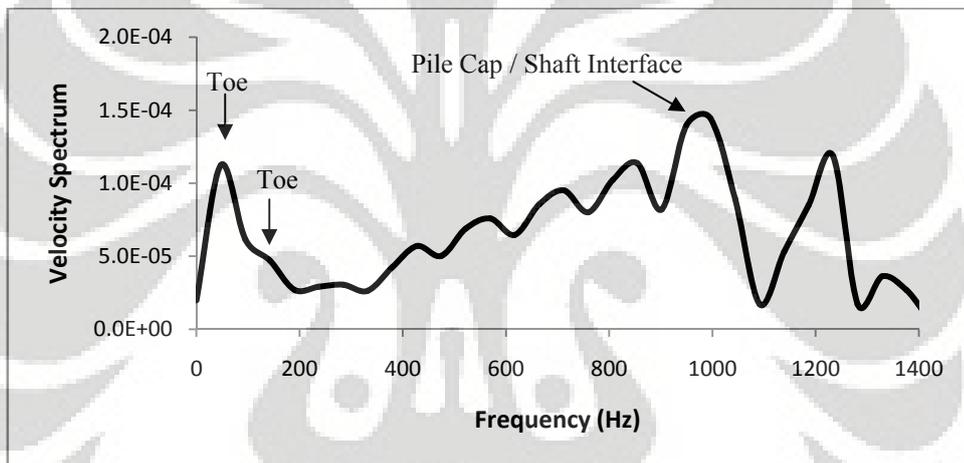
Gambar 5.59 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



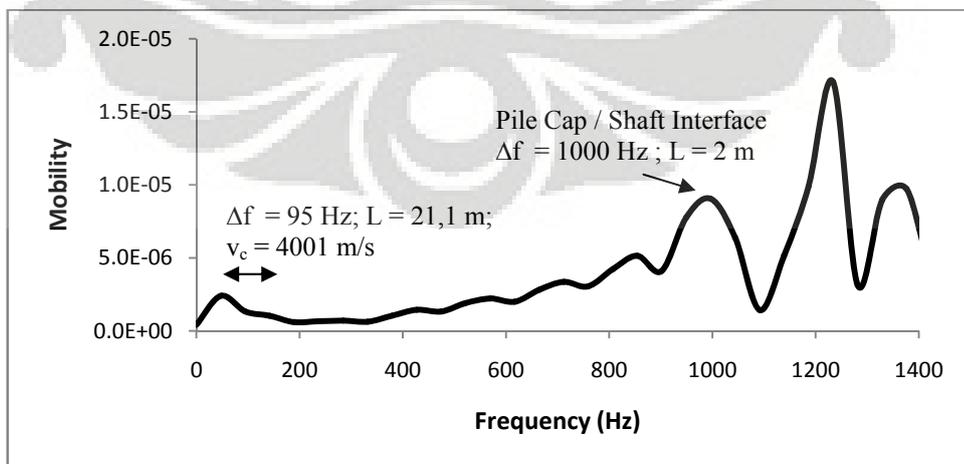
Gambar 5.60 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 5.61 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



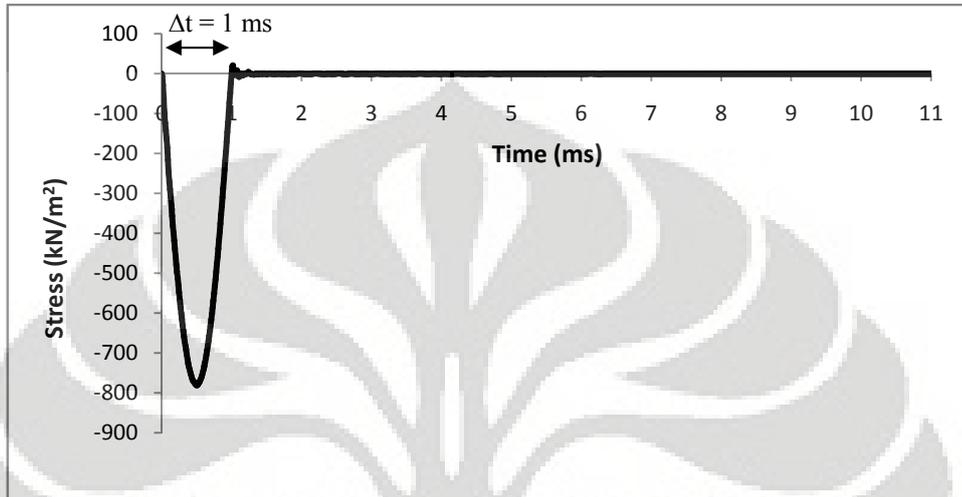
Gambar 5.62 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



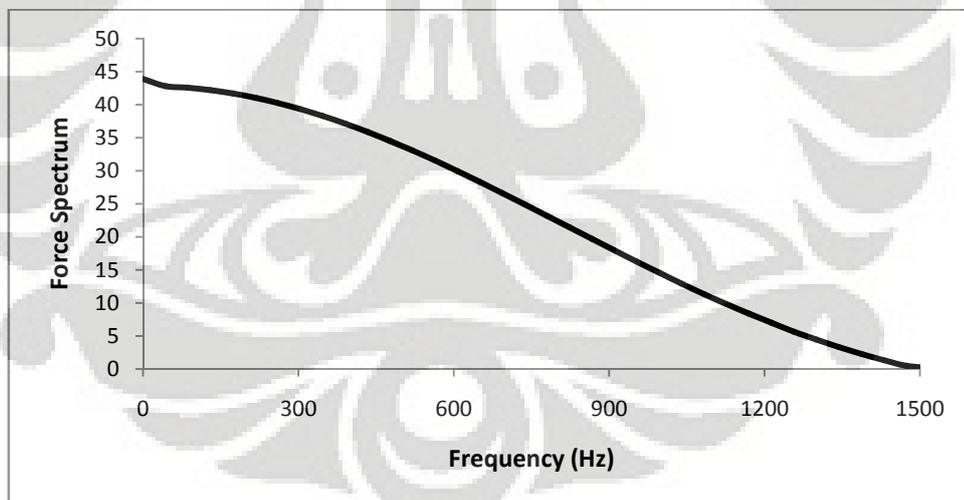
Gambar 5.63 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah

### 5.3.5 Pile Cap Sedikit Tergantung di Atas Tanah

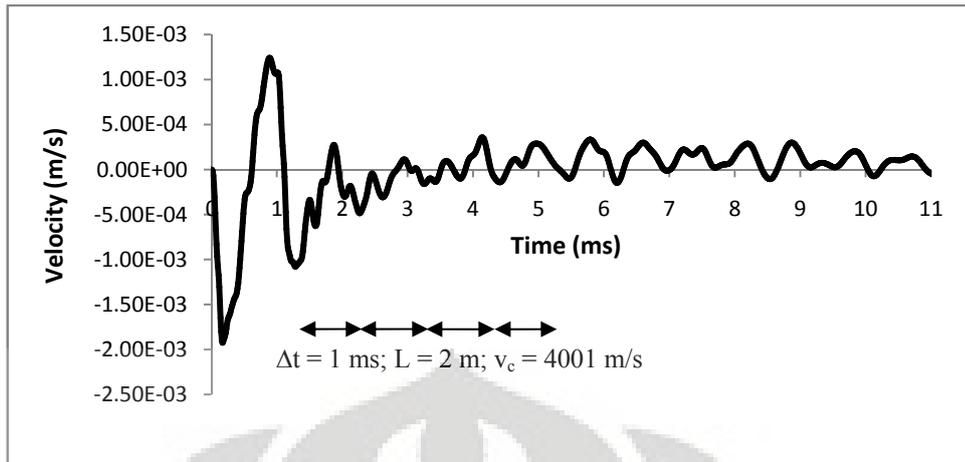
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada pemodelan tiang tunggal dengan pile cap yang sedikit tergantung di atas tanah yaitu sebagai berikut:



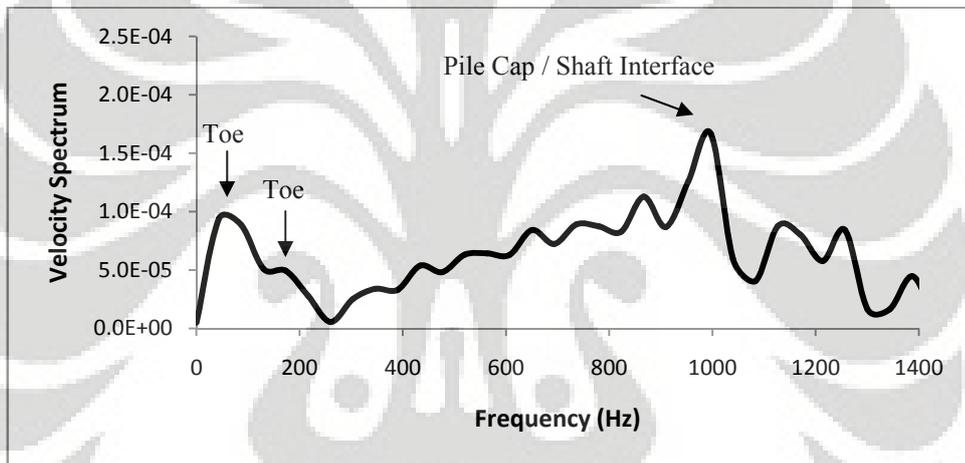
Gambar 5.64 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah



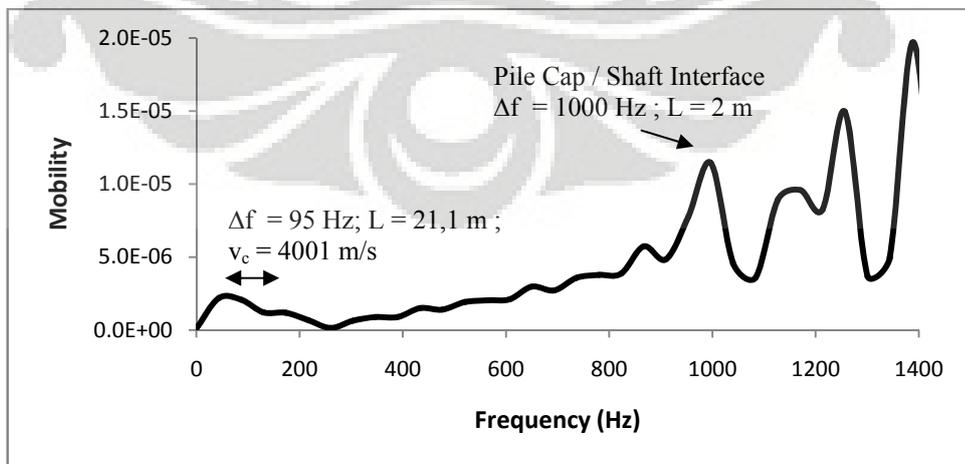
Gambar 5.65 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah



Gambar 5.66 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah



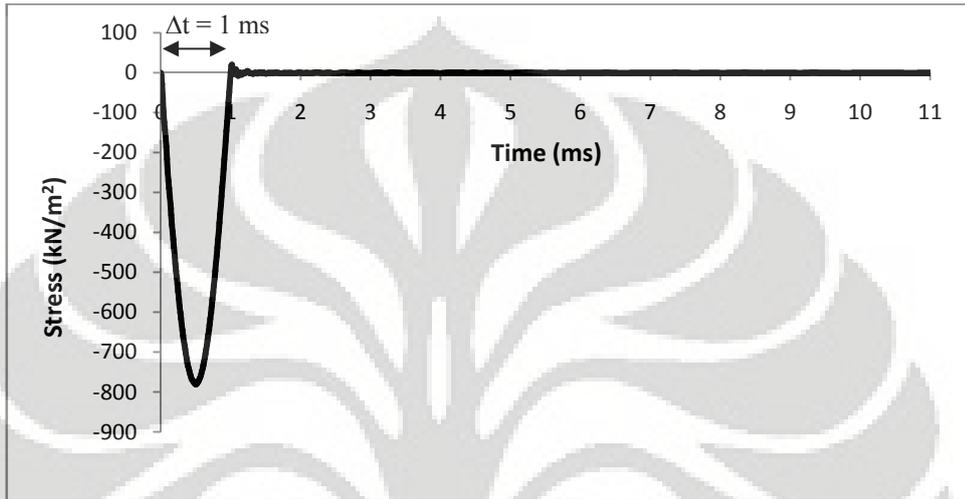
Gambar 5.67 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah



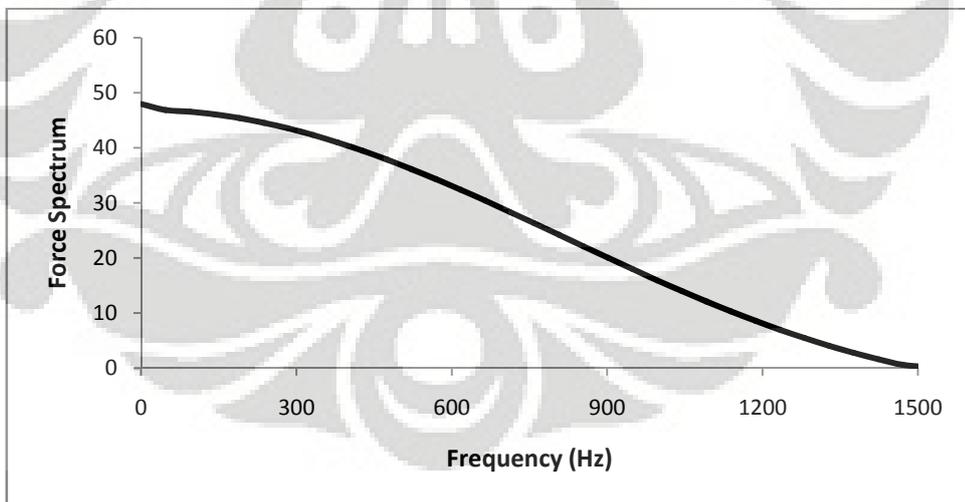
Gambar 5.68 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah

### 5.3.6 Pile Cap Tanpa Tiang Tunggal (Footing) yang Tidak Terbenam di Tanah

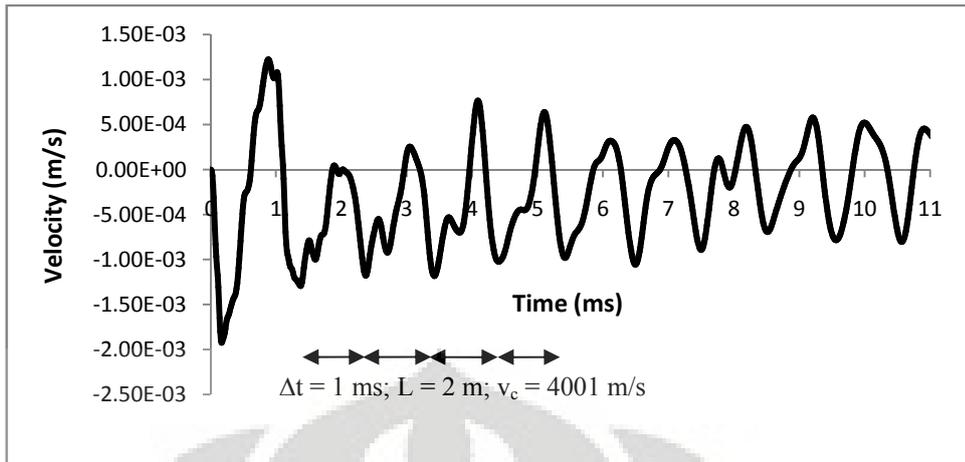
Berikut hasil-hasil grafik *time domain* dan *frequency domain* yang terjadi pada pemodelan *footing* yang tidak terbenam di dalam tanah yaitu sebagai berikut:



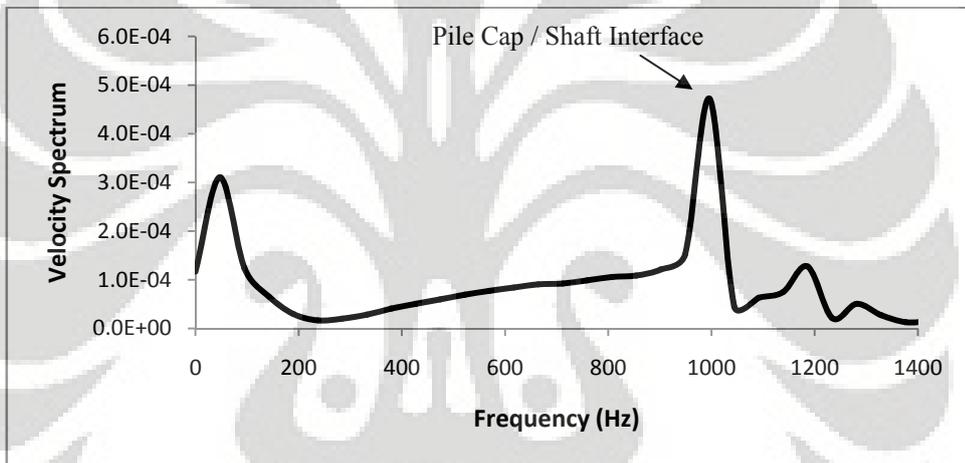
Gambar 5.69 Grafik Waktu terhadap Beban untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



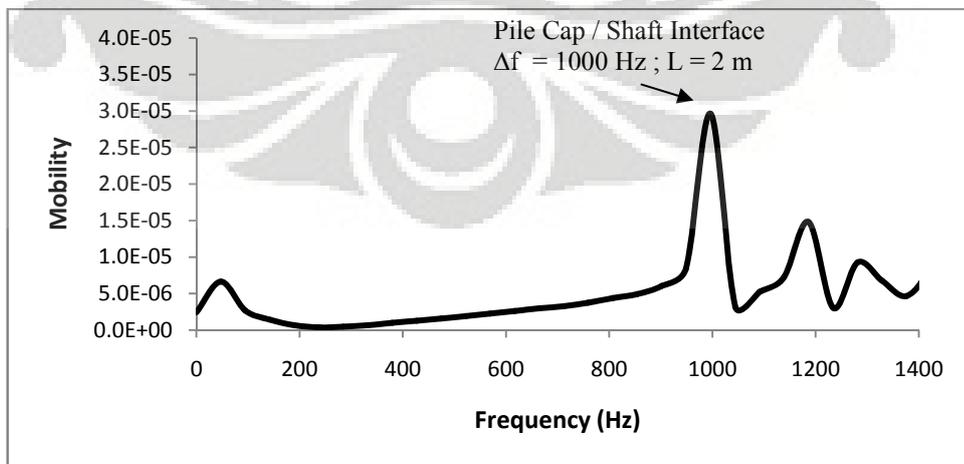
Gambar 5.70 Grafik Frekuensi - Spektrum Beban untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 5.71 Grafik Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



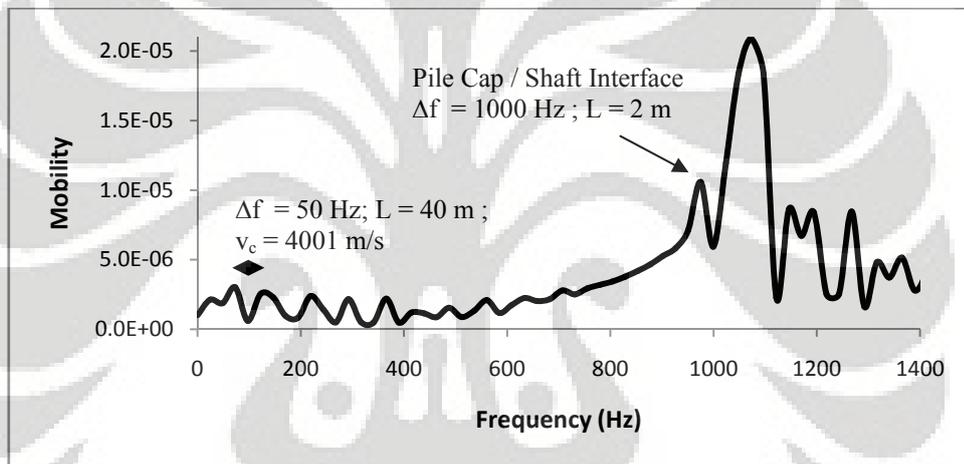
Gambar 5.72 Grafik Frekuensi - Spektrum Kecepatan Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



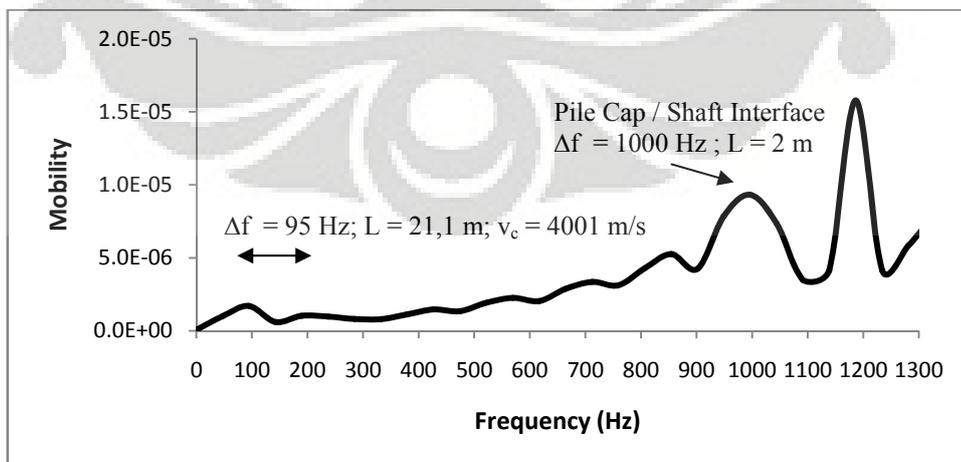
Gambar 5.73 Grafik Frekuensi – Mobilitas untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah

### 5.3.7 Analisa Hasil Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap

Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* geoteknik yaitu PLAXIS Versi 8. Dalam melakukan perhitungan pada *calculation* PLAXIS v8, hendaknya dilakukan dalam total waktu yang panjang. Pada pemodelan tiang tunggal dengan pile cap menggunakan total waktu simulasi 21 ms. Total waktu ini lebih kecil dibandingkan pada pemodelan tiang tunggal tanpa pile cap. Penggunaan total waktu yang lebih kecil karena pada pemodelan ini menambahkan struktur pada kepala tiang yaitu *pile cap* dimana apabila waktu total simulasi tetap besar maka akan semakin banyak pula gangguan terhadap perambatan gelombang di dalam tiang maupun *pile cap*. Penjelasan ini dapat dilihat dari Gambar 5.74 dan 5.75 di bawah ini, yaitu sebagai berikut:



Gambar 5.74 Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah Menggunakan Total Waktu Simulasi 41 ms



Gambar 5.75 Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah Menggunakan Total Waktu Simulasi 21 ms

Dari perbandingan diatas, disimpulkan bahwa apabila simulasi dilakukan lebih lama dari 21 ms, maka akan menghasilkan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) pada puncak resonan awal pada grafik mobilitas yang tidak sama atau nilai  $\Delta f$  menjadi keliru/error.

Dengan menggunakan *sampling rate* 100000 *sample/s*, maka *total steps* yang dibutuhkan pada simulasi ini yaitu 2100 *steps*. Dikarenakan pada *calculation* PLAXIS v8 setiap tahapnya hanya bisa melakukan maksimum 1000 *steps*, maka dibagi menjadi 3 tahap yaitu sebagai berikut:

- Tahap 1 : Sebagai beban, 100 *steps* dan interval waktu 1 ms
- Tahap 2 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms
- Tahap 3 : 1000 *steps* dan interval waktu 10 ms

Selain waktu total simulasi, perbedaan pemodelan tiang tunggal dengan pile cap dibandingkan dengan pemodelan-pemodelan sebelumnya juga terdapat pada penggunaan *amplitude multiplier*. Pada pemodelan sebelumnya menggunakan *amplitude multiplier* sebesar 500, sedangkan pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* menggunakan *amplitude multiplier* sebesar 1000. Hal ini dilakukan karena pada pemodelan ini ditambahkan *pile cap* pada kepala tiang, sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk gelombang melakukan penetrasi melalui *pile cap*, mencapai kaki tiang dan memantulkan kembali gelombang menuju ke permukaan *pile cap*.

Untuk mendapatkan waktu beban yang dibutuhkan untuk simulasi ini dapat dilakukan perhitungan di bawah ini yaitu sebagai berikut:

- $f = 500 \text{ Hz}$
- $t = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ s}$
- Karena beban terjadi hanya  $\frac{1}{2}$  gelombang maka waktu untuk bebannya menjadi 0,001 s atau 1 ms.

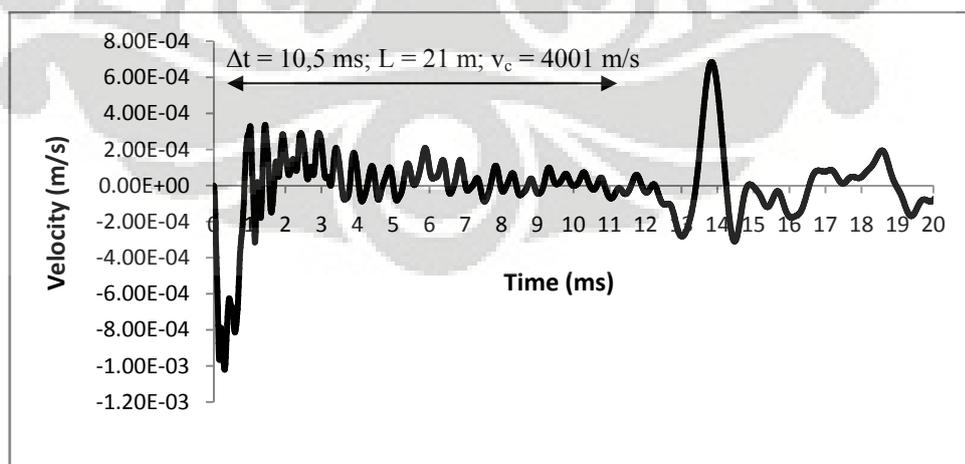
Dilihat dari hasil grafik waktu terhadap beban untuk pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* pada Gambar 5.49, 5.54, 5.59, 5.64 dan 5.69, maka dapat dikatakan sesuai dengan teori yang ada, karena waktu beban yang didapat berkisar 1 ms.

*Fast Fourier Transform* (FFT) dari beban dapat dilihat pada gambar 5.50, 5.55, 5.60, 5.65 dan 5.70. Spektrum beban menunjukkan bahwa tumbukan *hammer* menggunakan frekuensi kira-kira di bawah 1000 Hz. Oleh karena itu, analisa mobilitas akan dilakukan pada batas tersebut, karena nilai-nilai mobilitas yang keliru/*error* akan terbentuk apabila nilai beban yang salah digunakan untuk menghitung mobilitas.

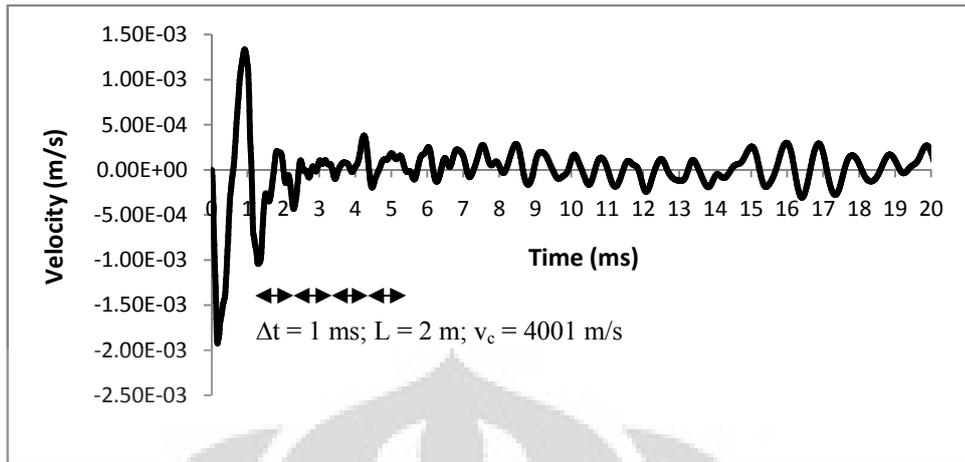
Dari grafik waktu terhadap kecepatan dapat ditentukan panjang struktur. Namun, pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap*, sesuai dengan simulasi yang dilakukan (Gambar 5.51, 5.56, 5.61, 5.66 dan 5.71), panjang keseluruhannya tidak dapat ditentukan karena dilihat dari perilaku gelombangnya tidak terdapat perubahan karena gelombang akibat beban telah terpantulkan sebelum waktunya selesai karena tinggi *pile cap* yang tergolong rendah. Berikut perhitungannya.

- Tinggi *pile cap* = 1,6 m
- $\Delta t = \frac{2L}{v_c} = \frac{2 \times 1,6}{4001} = 0,8 \text{ ms}$

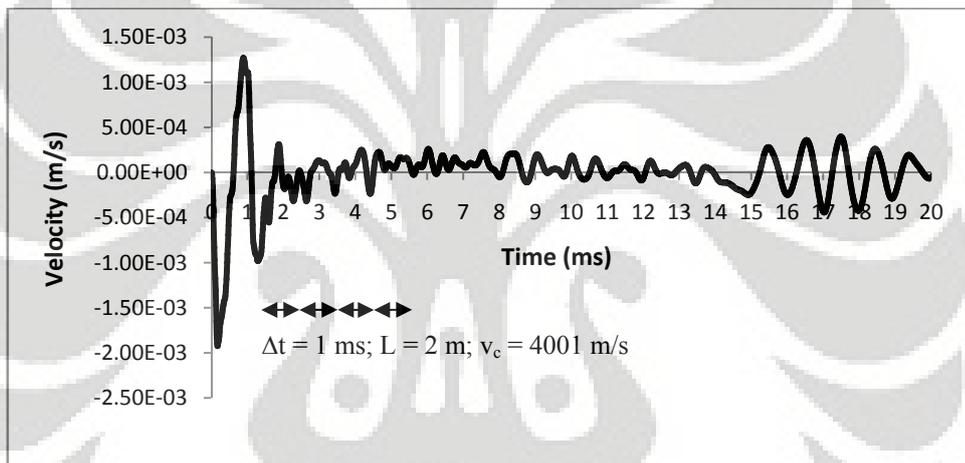
Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa waktu beban 1 ms sedangkan waktu bolak-balik yang terjadi 0,8 ms, maka disimpulkan bahwa gelombang telah terpantulkan sebelum beban selesai sehingga perubahan gelombang akibat pemantulan pada kaki tiang kemungkinan akan sulit dilihat dari grafik waktu terhadap kecepatan. Penjelasan tersebut dapat dilihat dari Gambar 5.76, 5.77, 5.78, 5.79 dan 5.80 berikut.



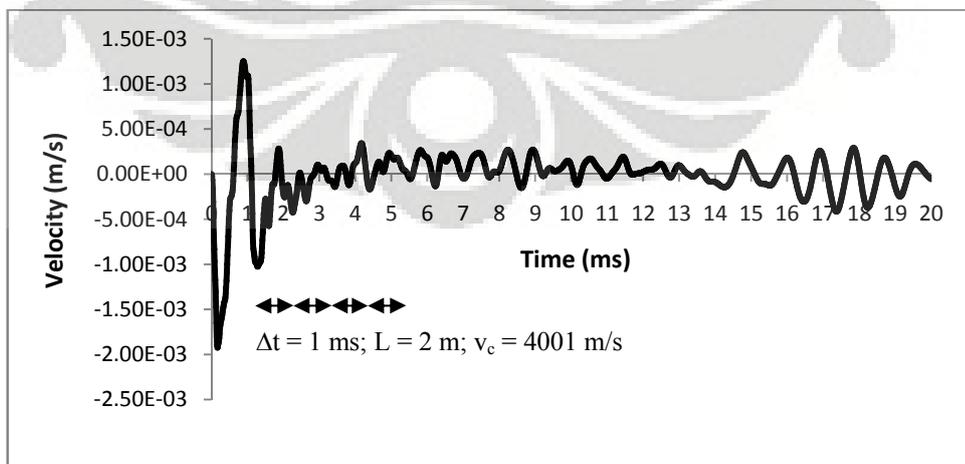
Gambar 5.76 Grafik Pembanding Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal tanpa Pile Cap



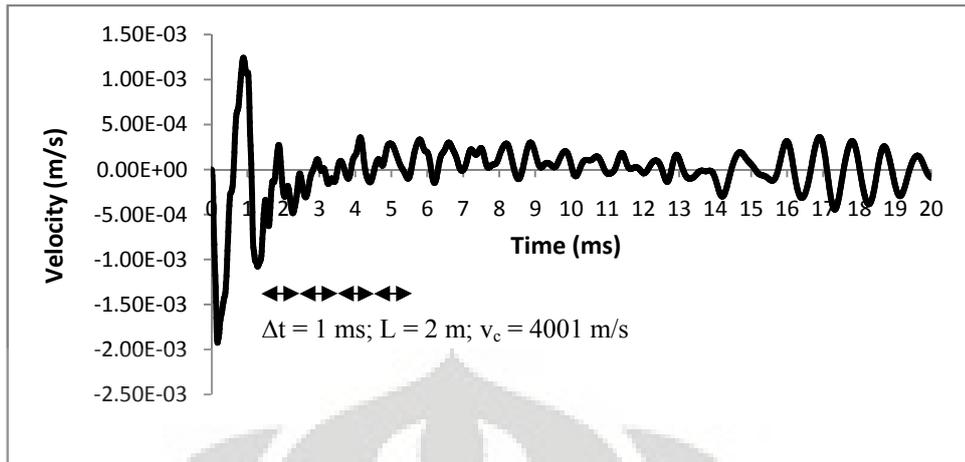
Gambar 5.77 Grafik Pembanding Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Terbenam di Dalam Tanah



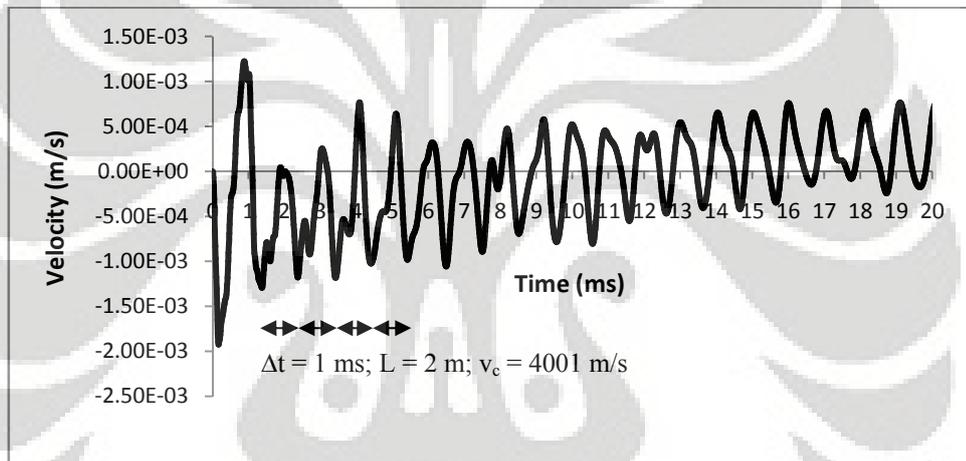
Gambar 5.78 Grafik Pembanding Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Setengah Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 5.79 Grafik Pembanding Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah



Gambar 5.80 Grafik Pembanding Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap yang Sedikit Tergantung di Atas Tanah



Gambar 5.81 Grafik Pembanding Waktu terhadap Kecepatan untuk Pemodelan Pile Cap tanpa Tiang (Footing) yang Tidak Terbenam di Dalam Tanah

Dapat dilihat dari pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap*, pada interval waktu berkisar 10,5 ms, terjadi perubahan bentuk perilaku gelombang yang merupakan hasil pemantulan dari kaki tiang. Namun, dilihat dari seluruh pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap*, tidak terdapat perubahan perilaku gelombang hingga mencapai 20 ms sehingga sulit untuk menentukan panjang keseluruhan tiang dan *pile cap*. Oleh karena itu, panjang keseluruhan tiang dan *pile cap* sebaiknya ditentukan dari spektrum kecepatan ataupun grafik mobilitas.

Dilihat dari Gambar 5.51, 5.56, 5.61, 5.66 dan 5.71, beda waktu ( $\Delta t$ ) bolak-balik yang terjadi sekitar 1 ms dengan panjang ( $L$ ) 2 m. Hasil ini berbeda

dengan hasil yang didapat pada perhitungan teoritis yaitu 0,8 ms dengan panjang ( $L$ ) 1,6 m. Namun, perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar. Perbedaan ini kemungkinan terjadi akibat kurang halus nya ukuran elemen yang digunakan pada penyusunan jaringan elemen dan juga mendapat pengaruh dari material tanah.

Spektrum kecepatan dilihat dari Gambar 5.52, 5.57, 5.62 dan 5.67 dapat menunjukkan 2 (dua) puncak resonan (kecuali Gambar 5.72 yang pemodelannya tidak menggunakan tiang) kira-kira di bawah 300 Hz,. Dua puncak awal merupakan resonansi dari pemantulan dari kaki tiang, dengan nilai berkisar 95 Hz dan menggunakan kecepatan rambat gelombang 4001 m/s. Selain itu, dapat juga dilihat bahwa terjadi perkuatan frekuensi pada 1000 Hz, dimana ini merupakan resonansi dari pemantulan yang terjadi pada *interface* antara dasar *pile cap* dan kepala tiang. Untuk lebih jelasnya, dapat dianalisa dari grafik mobilitas.

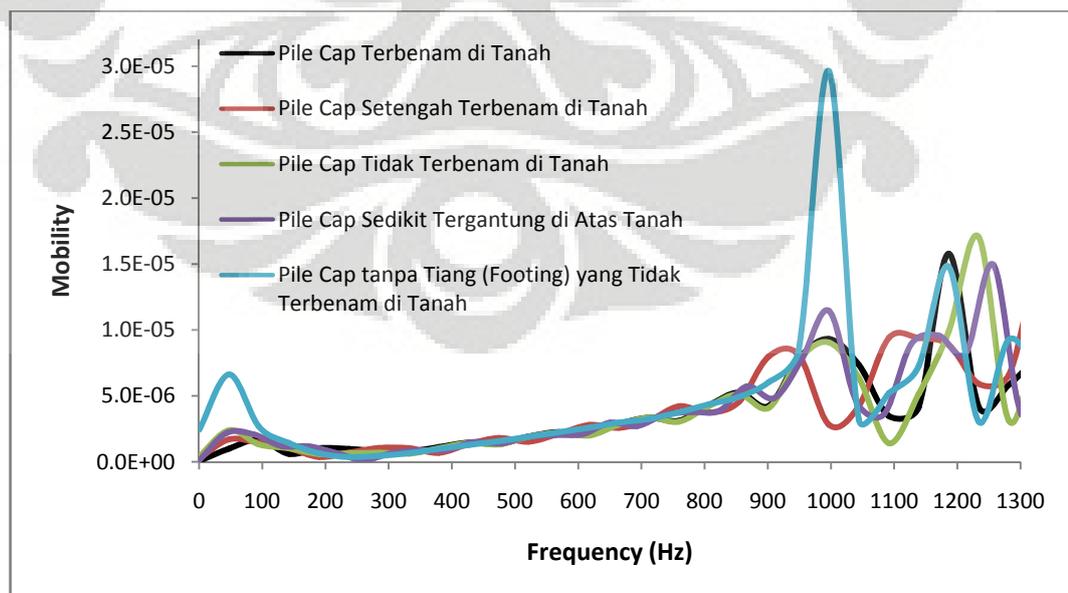
Pada grafik mobilitas, dapat ditentukan panjang total tiang dan *pile cap* serta tinggi *pile cap* itu sendiri. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang total tiang dan *pile cap* yaitu dengan menentukan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang sama pada puncak-puncak resonan awal karena merupakan resonansi dari pemantulan pada kaki tiang, sedangkan tinggi *pile cap* dapat ditentukan dari puncak resonan yang mengalami perkuatan frekuensi dimana merupakan resonansi pada *interface* antara dasar *pile cap* dan kepala tiang. Adapun perhitungannya yaitu sebagai berikut:

- Panjang total tiang dan *pile cap* = 21.6 m
- Tinggi *pile cap* = 1,6 m
- $\Delta f_{\text{tiang dan pile cap}} = \frac{v_c}{2L} = \frac{4001}{2 \times 21,6} = 92,6 \text{ Hz}$
- $\Delta f_{\text{pile cap}} = \frac{v_c}{2L} = \frac{4001}{2 \times 1,6} = 1250,3 \text{ Hz}$

Dilihat dari Gambar 5.53, 5.58, 5.63, 5.68 dan 5.73 hasil yang didapat berbeda dengan perhitungan teoritis. Pada Gambar 5.53, 5.58, 5.63 dan 5.68, didapatkan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) pada puncak-puncak resonan awal sekitar 95 Hz dimana apabila dilakukan perhitungan diatas didapatkan panjang total tiang dan *pile cap* sekitar 21,1 m. Sedangkan tinggi *pile cap* yang didapat berbeda

berdasarkan posisi *pile cap* pada tanah. *Pile cap* yang berada pada posisi terbenam dan tidak terbenam di dalam tanah (Gambar 5.53 dan 5.63) memiliki frekuensi yang mengalami perkuatan yang sama yaitu sekitar 1000 Hz dengan tinggi *pile cap* 2 m, sedangkan *pile cap* yang berposisi setengah terbenam di dalam tanah (Gambar 5.58) memiliki frekuensi yang mengalami perkuatan yaitu 950 Hz dengan tinggi *pile cap* 2,1 m. Untuk pemodelan yang sedikit tergantung di atas tanah (Gambar 5.68), terlihat bahwa frekuensi yang mengalami perkuatan yaitu pada 1000 Hz, tetapi nilai mobilitasnya lebih besar dibandingkan dengan pemodelan yang lain. Hal ini mungkin dikarenakan gelombang yang merambat pada *pile cap* tidak mendapat pengaruh dari tanah. Dilihat dari Gambar 5.73 untuk pemodelan footing yang tidak terbenam di dalam tanah, disimpulkan bahwa frekuensi juga mengalami perkuatan pada frekuensi 1000 Hz, tetapi karena pemodelan ini tidak menggunakan tiang, maka perilaku gelombang pada grafik mobilitas, sebelum 1000 Hz, tidak mengalami perubahan atau terlihat *smooth*. Selain itu, karena mobilitas hanya terjadi pada *pile cap* sehingga area pemantulan menjadi kecil, maka nilai mobilitasnya besar dibandingkan pemodelan *pile cap* yang menggunakan tiang.

Berikut hasil gabungan grafik mobilitas pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* (Gambar 5.82) yang divariasikan berdasarkan posisi *pile cap* pada tanah, yaitu sebagai berikut:



Gambar 5.82 Gabungan Grafik Mobilitas untuk Pemodelan Tiang Tunggal dengan Pile Cap

## BAB VI

### KESIMPULAN

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa kesimpulan yang didapatkan selama proses simulasi ataupun penyusunan skripsi. Kesimpulan diperoleh baik dalam pembuatan model geometri maupun dari hasil grafik *time domain* dan *frequency domain*. Berikut kesimpulan-kesimpulannya yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi batas standar dibagi menjadi perletakan sendi ( $u_x = u_y = 0$ ) pada bagian bawah geometri dan perletakan rol ( $u_x = 0$ ) pada bagian kiri dan kanan geometri.
2. Karena beban berupa beban dinamis, maka perlu juga untuk ditambahkan batas penyerap standar pada bagian bawah dan kanan model geometri karena batas penyerap standar tersebut digunakan untuk menyerap peningkatan tegangan pada batas model yang disebabkan oleh beban dinamis, yang jika tidak diserap, maka akan dipantulkan ke massa tanah.
3. Batas model diambil cukup jauh karena untuk menghindari pengaruh dari kondisi batas model tersebut.
4. Terdapat beberapa nodal/titik yang ditambahkan pada sisi-sisi pondasi dalam. Ini bertujuan untuk memperhalus jaringan elemen yang terbentuk pada pondasi dalam sehingga hasil yang didapatkan akan menjadi lebih detail. Selain pada pondasi dalam, nodal-nodal juga ditambahkan pada garis yang dibentuk tidak jauh dari sisi bawah dan kanan pondasi dalam. Ini juga bertujuan untuk memperhalus jaringan elemen tanah di sekeliling pondasi dalam.
5. Terdapat perbedaan besar pada cepat rambat gelombang di antara lapisan lempung dan tiang beton akibat perbedaan kekakuan material yang besar sehingga dapat mengakibatkan peningkatan waktu yang kecil dalam prosedur peningkatan waktu secara otomatis dan juga akan menyebabkan

proses perhitungan yang sangat lama. Hal ini juga diakibatkan oleh ukuran elemen lokal yang terlalu kecil.

6. Jaring elemen disusun dengan tingkat kekasaran global diatur pada *coarse* (kasar). Namun, untuk tingkat kekasaran lokal khususnya pada tiang telah diperhalus dengan menambahkan nodal pada sisi-sisi pondasi dalam dan juga di dekat sekelilingnya.
7. Perbedaan *amplitude multiplier* hanya berpengaruh pada besarnya nilai beban dan kecepatan. Semakin besar *amplitude multiplier* maka semakin besar pula nilai beban dan kecepatannya.
8. Hendaknya dilakukan dalam total waktu yang panjang. Hal ini akan menghasilkan interval frekuensi yang kecil sehingga grafik *frequency domain* yang dihasilkan akan memiliki nilai yang lebih baik.
9. Pada simulasi yang menggunakan material tanah, kemungkinan akan berpengaruh pada perambatan gelombangnya sehingga dibutuhkan total waktu yang lebih kecil dibandingkan pemodelan yang tidak menggunakan material tanah. Begitu juga untuk pemodelan tiang tunggal yang ditambahkan *pile cap*, akan membutuhkan total waktu simulasi yang lebih kecil dibandingkan pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* karena semakin lama maka akan mendapat lebih banyak pengaruh ataupun gangguan sehingga akan menghasilkan nilai dari grafik *frequency domain* yang tidak baik atau *error*.
10. Spektrum beban menunjukkan bahwa tumbukan *hammer* menggunakan frekuensi kira-kira di bawah 1000 Hz. Oleh karena itu, analisa mobilitas akan dilakukan pada batas tersebut, karena nilai-nilai mobilitas yang keliru/*error* akan terbentuk apabila nilai beban yang salah digunakan untuk menghitung mobilitas.
11. Untuk mendapatkan panjang tiang dan cacat pada tiang pada grafik waktu terhadap kecepatan yaitu ditentukan dari waktu yang dibutuhkan gelombang untuk mengalami bolak-balik menuju kembali ke kepala tiang.
12. Untuk mendapatkan panjang tiang dari grafik mobilitas yaitu dengan menentukan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang sama pada puncak-puncak resonan awal karena merupakan resonansi dari pemantulan kaki tiang. Selain itu,

- untuk mendapatkan kedalaman lokasi cacat pada tiang dilihat dari beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang dihasilkan dari puncak-puncak resonan yang mengalami perkuatan frekuensi setelah beberapa puncak resonan awal.
13. Perbedaan pemberian frekuensi untuk beban akan mempengaruhi perilaku respon yang terlihat pada grafik dimana akan menjadi sangat signifikan sehingga nantinya akan turut mempengaruhi interpretasi hasil dari grafik *frequency domain* yang terbentuk.
  14. Pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap* menggunakan *amplitude multiplier* lebih besar daripada pemodelan tiang tunggal tanpa *pile cap* karena pada pemodelan ini ditambahkan *pile cap* pada kepala tiang, sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk gelombang melakukan penetrasi melalui *pile cap*, mencapai kaki tiang dan memantulkan kembali gelombang menuju ke permukaan *pile cap*.
  15. Pada pemodelan tiang tunggal dengan *pile cap*, panjang keseluruhannya tidak dapat ditentukan karena dilihat dari perilaku gelombangnya tidak terdapat perubahan karena gelombang akibat beban telah terpantulkan sebelum waktunya selesai karena tinggi *pile cap* yang tergolong rendah.
  16. Pada grafik mobilitas, dapat ditentukan panjang total tiang dan *pile cap* serta tinggi *pile cap* itu sendiri. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang total tiang dan *pile cap* yaitu dengan menentukan beda frekuensi ( $\Delta f$ ) yang sama pada puncak-puncak resonan awal karena merupakan resonansi dari pemantulan pada kaki tiang, sedangkan tinggi *pile cap* dapat ditentukan dari puncak resonan yang mengalami perkuatan frekuensi dimana merupakan resonansi pada *interface* antara dasar *pile cap* dan kepala tiang.
  17. Perbedaan diameter tiang antara 1 m dan 0,5 m dengan material dan panjang tiang yang sama berpengaruh pada besarnya energi yang dihasilkan. Pada diameter 1 m tentunya akan menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan diameter 0,5 m. Hal ini disebabkan karena energi gelombang yang dihasilkan pada tiang dengan diameter 1 m lebih banyak terserap dibandingkan dengan tiang berdiameter 0,5 m.
  18. Perbedaan ukuran elemen hingga antara 0,1 m dan 0,4 m tersebut tidak memiliki perbedaan yang besar dilihat dari perilaku gelombangnya. Oleh

karena itu, untuk pemodelan berikutnya, penulis menggunakan ukuran elemen 0,4 m, karena ukuran elemen 0,1 m terlalu halus sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan pemodelan menjadi lebih lama serta kapasitas *hard disk* komputer yang terpakai menjadi sangat besar.

19. Perbedaan posisi *pile cap* terhadap tanah terdapat pada hasil mobilitasnya. *Pile cap* yang berada pada posisi terbenam dan tidak terbenam di dalam tanah memiliki frekuensi yang mengalami perkuatan yang sama yaitu sekitar 1000 Hz dengan tinggi *pile cap* 2 m, sedangkan *pile cap* yang berposisi setengah terbenam di dalam tanah memiliki frekuensi yang mengalami perkuatan yaitu 950 Hz dengan tinggi *pile cap* 2,1 m. Untuk pemodelan yang sedikit tergantung di atas tanah, terlihat bahwa frekuensi yang mengalami perkuatan yaitu pada 1000 Hz, tetapi nilai mobilitasnya lebih besar dibandingkan dengan pemodelan yang lain. Hal ini mungkin dikarenakan gelombang yang merambat pada *pile cap* tidak mendapat pengaruh dari tanah. Untuk pemodelan footing yang tidak terbenam di dalam tanah, disimpulkan bahwa frekuensi juga mengalami perkuatan pada frekuensi 1000 Hz, tetapi karena pemodelan ini tidak menggunakan tiang, maka perilaku gelombang pada grafik mobilitas, sebelum 1000 Hz, tidak mengalami perubahan atau terlihat *smooth*. Selain itu, karena mobilitas hanya terjadi pada *pile cap* sehingga luasan area pemantulan menjadi kecil, maka nilai mobilitasnya lebih besar dibandingkan pemodelan *pile cap* yang menggunakan tiang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kramer, Steven L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. United States of America. Prentice Hall.
- Baxter, S C; Islam, M O; Gassman, S L. 2004. *Impulse response evaluation of drilled shafts with pile caps: modeling and experiment*. Canadian Journal of Civil Engineering.
- Olson, Larry D; Jalinoos Farrokh; Aouad, Marwan F. 1998. *Determination of Unknown Subsurface Bridge Foundation*. United States of America. Summary of the NCHRP 21-5 Interim Report.
- Brinkgreve, R B J. 2007. *PLAXIS v8 – 2D*. Belanda. PLAXIS b.v.
- Finno, R J; Gassman, S L. 1998. *Impulse response evaluation of drilled shaft*. Northwestern University. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Gassman, S L; Finno, R J. 2000. *Cutoff Frequencies for Impulse Response Tests of Existing Foundation*. Northwestern University. Journal of Performance of Constructed Facilities.
- PIT Collector. 2005. *PIT Collector : User's Manual*. United States of America. Pile Dynamics, Inc.
- Yoo, Y. March 2001. *Tutorial on Fourier Theory*.
- Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Indonesia. 2005. *Pelatihan Analisis Numerik untuk Geoteknik dengan Software PLAXIS*. Jakarta.
- Craig R F. *Mekanika Tanah*. Terj. Dr.Ir. Budi Susilo Soepandji (Jakarta: Erlangga, 1989).