



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGUJIAN INTEGRITAS TIANG TANPA *PILE CAP* DENGAN *LOW STRAIN METHOD*

SKRIPSI

REKHA KARTIKA

07 06 19 8234

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGUJIAN INTEGRITAS TIANG TANPA *PILE CAP* DENGAN *LOW STRAIN METHOD*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

REKHA KARTIKA

07 06 19 8234

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip dan dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rekha Kartika Tindaon

NPM : 0706198234

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Januari 2010

ORIGINALITY STATEMENT PAGE

**This my final assignment is my own creation,
and all sources either quoted or referred
have already stated correctly.**

Name : Rekha Kartika Tindaon

NPM : 0706198234

Signature : 

Date : 6 January 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rekha Kartika Tindaon
NPM : 07 06 19 8234
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengujian Integritas Tiang tanpa *Pile Cap* dengan *Low Strain Method*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph.D

()

Penguji 1 : Dr. -Ing. Ir. Henki Wibowo

()

Penguji 2 : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Januari 2010

SHEET OF APPROVAL

The final assignment submitted by :

Name : Rekha Kartika Tindaon
NPM : 07 06 19 8234
Study Program : Civil Engineering
Title : Integrity Test of Piles under Accessible-Head Conditions
with Low Strain Method

Has succeeded to be submitted in examiner board and accepted as partial fulfilment needed to obtain Bachelor Degree in Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

EXAMINER BOARD

Counsellor : Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph.D

()

Examiner 1 : Dr. -Ing. Ir. Henki Wibowo

()

Examiner 2 : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc

()

Decided in : Depok

Date : 13 January 2010

KATA PENGANTAR

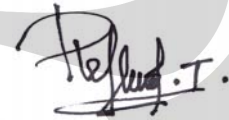
Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Sang pemberi ide, Sang pencipta pikiran, Sang penggerak tangan, dan terutama Sang penggendong jalan hidupku. Berkat perlindungan dan karunia-Nya, Penulis diberikan kekuatan, ketenangan hati, kemudahan serta kesehatan jasmani dan rohani kepada hamba-Nya dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk melengkapi studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung, Penulis tentu akan mendapatkan banyak kesulitan dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini. Untuk itu, ucapan terima kasih dengan tulus Penulis persembahkan kepada:

1. Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph.D selaku Dosen Pembimbing, yang dengan segala kesabarannya telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberikan bantuan kepada Penulis dalam penulisan dan penyusunan mulai dari titik awal hingga pada akhir penyelesaian skripsi ini
2. Dr. Ing. Ir. Henki W. Ashadi, selaku Dosen Penguji
3. Dr. Ir. Damrizal Damoerin, MSc, selaku Dosen Penguji
4. Seluruh Staf Pengajar dan Staf Administrasi Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia
5. Keluarga tercinta : Ayah dan Mamak, Kakak, Ucok. Terima kasih untuk doa yang tidak pernah putus, dorongan semangat, nasehat, bimbingan dan kasih sayang serta cintanya yang tulus
6. Para sahabat yang selalu menyediakan kata-kata semangat dan meluangkan waktu untuk mendengar keluh kesah. *Thanks for huge support*
7. Teman-teman Sipil Ekstensi Angkatan 2007, senasib dan seperjuangan. *Keep fighting*

Tidak ada suatu hal yang benar-benar sempurna. Oleh karena itu, Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini tidak luput dari segala kekurangan dan dengan segala kerendahan hati, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari seluruh pihak agar dapat berkarya lebih baik lagi di kemudian hari.

Terima kasih atas segala partisipasinya dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini membawa manfaat bagi yang membacanya.

Depok, Januari 2010



Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rekha Kartika Tindaon
NPM : 07 06 19 8234
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalti Free Right*) kepada Universitas Indonesia atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGUJIAN INTEGRITAS TIANG TANPA *PILE CAP* DENGAN *LOW STRAIN METHOD*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Januari 2010

Yang menyatakan



(Rekha Kartika Tindaon)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxv

1. PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Maksud dan Tujuan	2
1.3	Ruang Lingkup Pembahasan	3
1.4	Sistematika Penulisan	3

2. STUDI LITERATUR

2.1	Teori Dasar Rambat Gelombang Gelombang	4
2.2	Perambatan Gelombang pada Tiang	5
2.3	<i>Pile Integrity Test</i> (P.I.T)	
2.3.1	Perangkat Alat <i>Pile Integrity Test</i> (P.I.T)	9
2.3.1.1	Akselerometer	9
2.3.1.2	<i>Hammer</i>	9
2.3.1.3	P.I.T™ <i>Collector</i>	10
2.4	Metode Analisis <i>Pile Integrity Test</i> (P.I.T)	11
2.4.1	<i>Pulse Echo Method</i> (PEM)	11
2.4.2	<i>Transient Response Method</i> (TRM)	12
2.4.3	Kombinasi PEM & TRM	14

2.4.4	Analisis Profil	15
2.5	Pengenalan <i>Software</i> PIT - W	18
2.6	Studi Kasus Sebelumnya	20

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Pendahuluan	25
3.2	Prosedur Pengumpulan Data	25
3.2.1	Benda Uji	25
3.2.2	Alat dan Bahan	25
3.2.3	Persiapan Permukaan Atas Tiang	25
3.2.4	Langkah-Langkah Pengumpulan Data P.I.T	26
3.3	Proses Pengolahan Data	31

4. ANALISA HASIL

4.1	Kondisi Geometrik Tiang	37
4.1.1	Grup Tiang A5	38
4.1.2	Grup Tiang A4	39
4.2	Interpretasi Hasil Percobaan	40
4.2.1	Metode <i>Time Domain</i>	40
4.2.1.1	Grup Tiang A5	42
4.2.1.1.1	Tiang 1	42
4.2.1.1.2	Tiang 2	46
4.2.1.1.3	Tiang 3	50
4.2.1.1.4	Tiang 4	54
4.2.1.1.5	Tiang 5	58
4.2.1.1.6	Tiang 6	61
4.2.1.1.7	Tiang 7	66
4.2.1.1.8	Tiang 8	69
4.2.1.2	Grup Tiang A4	78
4.2.1.2.1	Tiang 1	78
4.2.1.2.2	Tiang 2	82
4.2.1.2.3	Tiang 3	86

4.2.1.2.4	Tiang 4	90
4.2.1.2.5	Tiang 5	94
4.2.1.2.6	Tiang 6	98
4.2.1.2.7	Tiang 7	102
4.2.1.2.8	Tiang 8	106
4.2.1.2.3	Tiang 9	110
4.2.1.2.10	Tiang 10	114
4.2.2	Metode <i>Frequency Domian</i>	121
4.2.2.1	Grup Tiang A5	122
4.2.2.1.1	Tiang 1	122
4.2.2.1.2	Tiang 2	124
4.2.2.1.3	Tiang 3	126
4.2.2.1.4	Tiang 4	128
4.2.2.1.5	Tiang 5	130
4.2.2.1.6	Tiang 6	132
4.2.2.1.7	Tiang 7	134
4.2.2.1.8	Tiang 8	136
4.2.2.2	Grup Tiang A4	139
4.2.2.2.1	Tiang 1	139
4.2.2.2.2	Tiang 2	141
4.2.2.2.3	Tiang 3	143
4.2.2.2.4	Tiang 4	145
4.2.2.2.5	Tiang 5	147
4.2.2.2.6	Tiang 6	149
4.2.2.2.7	Tiang 7	151
4.2.2.2.8	Tiang 8	153
4.2.2.2.9	Tiang 9	155
4.2.2.2.10	Tiang 10	157
4.3	Kondisi pada Saat Pengujian	163

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	165
-----	------------------	-----

5.2 Saran 167

DAFTAR REFERENSI 168

LAMPIRAN 170



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Dampak Tegangan dan Pemantulan Gelombang Akibat dari : (A) Reduksi Penampang Tiang, CR , (B) Tahanan Tanah Pasif, R dan (C) Ujung Bawah Tiang	5
Gambar 2.2 Kurva <i>Mobility</i> yang Ideal Berdasarkan Teori Gelombang 1 Dimensi	8
Gambar 2.3 Spektrum Frekuensi vs Amplitudo yang di Plot dalam Bentuk Grafik	14
Gambar 2.4 Ilustrasi Skema dari Efek Tahanan Tanah terhadap Kecepatan – Tiang <i>Uniform</i> tanpa Variasi Impedansi	18
Gambar 2.5 Ilustrasi Skema dari Efek Tahanan Tanah terhadap Kecepatan – Tiang <i>Non-Uniform</i> dengan Variasi Impedansi	19
Gambar 2.6 Gambaran hasil analisa dengan <i>software</i> PIT-W	20
Gambar 2.7 Skema Susunan Peralatan dan Konfigurasi Pengujian ” <i>Impulse Response</i> ”	21
Gambar 2.8 Potongan Melintang dari Tiang Bor pada Pengujian NGES	22
Gambar 2.9 Respon Beban dan Kecepatan untuk Tiang 3 dengan <i>Pile Cap</i> : (a) Kurva Waktu vs. Beban; (b) Kurva Waktu vs. Kecepatan; (c) Spektrum Beban; (d) Spektrum Kecepatan	23
Gambar 2.10 Kurva <i>Mobility</i> pada Tiang 3 dengan <i>Pile Cap</i> : (a) Menggunakan <i>Range</i> Frekuensi sampai 2000 Hz untuk Tiang <i>Accessible</i> dan <i>Inaccessible-head</i> ; (b) Menggunakan <i>Range</i> Frekuensi 1000 Hz untuk Tiang <i>Inaccessible-head</i>	23

Gambar 3.1	Diagram Alir dari MM ke Layar Pengumpul Data dan Layar Analisa Data	32
Gambar 3.2	Diagram Alir dari / ke MM dari Kolom Input Tanggal/Waktu, Nama Proyek dan <i>Mode</i>	33
Gambar 3.3	Diagram Alir dari / ke Layar <i>Pile Information Entry</i>	34
Gambar 3.4	Diagram Alir dari / ke Layar Parameter Menu	35
Gambar 3.5	Diagram Alir dari / ke Layar Pemilihan Proyek / Tiang	36
Gambar 4.1	Sambungan pada Tiang	37
Gambar 4.2	Potongan Melintang Tiang pada Grup Tiang A5	38
Gambar 4.3	Grup Tiang A5	39
Gambar 4.4	Potongan Melintang Tiang pada Grup Tiang A4	39
Gambar 4.5	Grup Tiang A4	40
Gambar 4.6	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 1 (Grup A5)	42
Gambar 4.7	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 2 (Grup A5)	43
Gambar 4.8	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 3 (Grup A5)	43
Gambar 4.9	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 4 (Grup A5)	44
Gambar 4.10	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 5 (Grup A5)	44
Gambar 4.11	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 6 (Grup A5)	45
Gambar 4.12	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 1 (Grup A5)	46

Gambar 4.13	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 2 (Grup A5)	47
Gambar 4.14	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 3 (Grup A5)	47
Gambar 4.15	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 4 (Grup A5)	48
Gambar 4.16	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 5 (Grup A5)	48
Gambar 4.17	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 6 (Grup A5)	49
Gambar 4.18	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 1 (Grup A5)	50
Gambar 4.19	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 2 (Grup A5)	51
Gambar 4.20	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 3 (Grup A5)	51
Gambar 4.21	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 4 (Grup A5)	52
Gambar 4.22	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 5 (Grup A5)	52
Gambar 4.23	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 6 (Grup A5)	53
Gambar 4.24	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 1 (Grup A5)	54
Gambar 4.25	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 2 (Grup A5)	54
Gambar 4.26	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 3 (Grup A5)	55
Gambar 4.27	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 4 (Grup A5)	55
Gambar 4.28	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 5 (Grup A5)	56

Gambar 4.29	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 6 (Grup A5)	56
Gambar 4.30	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 1 (Grup A5)	58
Gambar 4.31	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 2 (Grup A5)	58
Gambar 4.32	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 3 (Grup A5)	59
Gambar 4.33	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 4 (Grup A5)	59
Gambar 4.34	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 5 (Grup A5)	60
Gambar 4.35	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 6 (Grup A5)	60
Gambar 4.36	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 1 (Grup A5)	62
Gambar 4.37	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 2 (Grup A5)	62
Gambar 4.38	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 3 (Grup A5)	63
Gambar 4.39	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 4 (Grup A5)	63
Gambar 4.40	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 5 (Grup A5)	64
Gambar 4.41	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 6 (Grup A5)	64
Gambar 4.42	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 1 (Grup A5)	66
Gambar 4.43	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 2 (Grup A5)	66
Gambar 4.44	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 3 (Grup A5)	67

Gambar 4.45	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 4 (Grup A5)	67
Gambar 4.46	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 5 (Grup A5)	68
Gambar 4.47	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 6 (Grup A5)	68
Gambar 4.48	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 50K) Pukulan 1 (Grup A5)	71
Gambar 4.49	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 50K) Pukulan 2 (Grup A5)	71
Gambar 4.50	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 50K) Pukulan 3 (Grup A5)	72
Gambar 4.51	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 50K) Pukulan 4 (Grup A5)	72
Gambar 4.52	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 50K) Pukulan 5 (Grup A5)	73
Gambar 4.53	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 50K) Pukulan 6 (Grup A5)	73
Gambar 4.54	Grafik Kecepatan terhadap Waktu epatan untuk Tiang 8 (SPS 100K) Pukulan 1 (Grup A5)	74
Gambar 4.55	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 100K) Pukulan 2 (Grup A5)	74
Gambar 4.56	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 100K) Pukulan 3 (Grup A5)	75
Gambar 4.57	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 100K) Pukulan 4 (Grup A5)	75
Gambar 4.58	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 100K) Pukulan 5 (Grup A5)	76
Gambar 4.59	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 (SPS 100K) Pukulan 6 (Grup A5)	76
Gambar 4.60	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 1 (Grup A4)	78

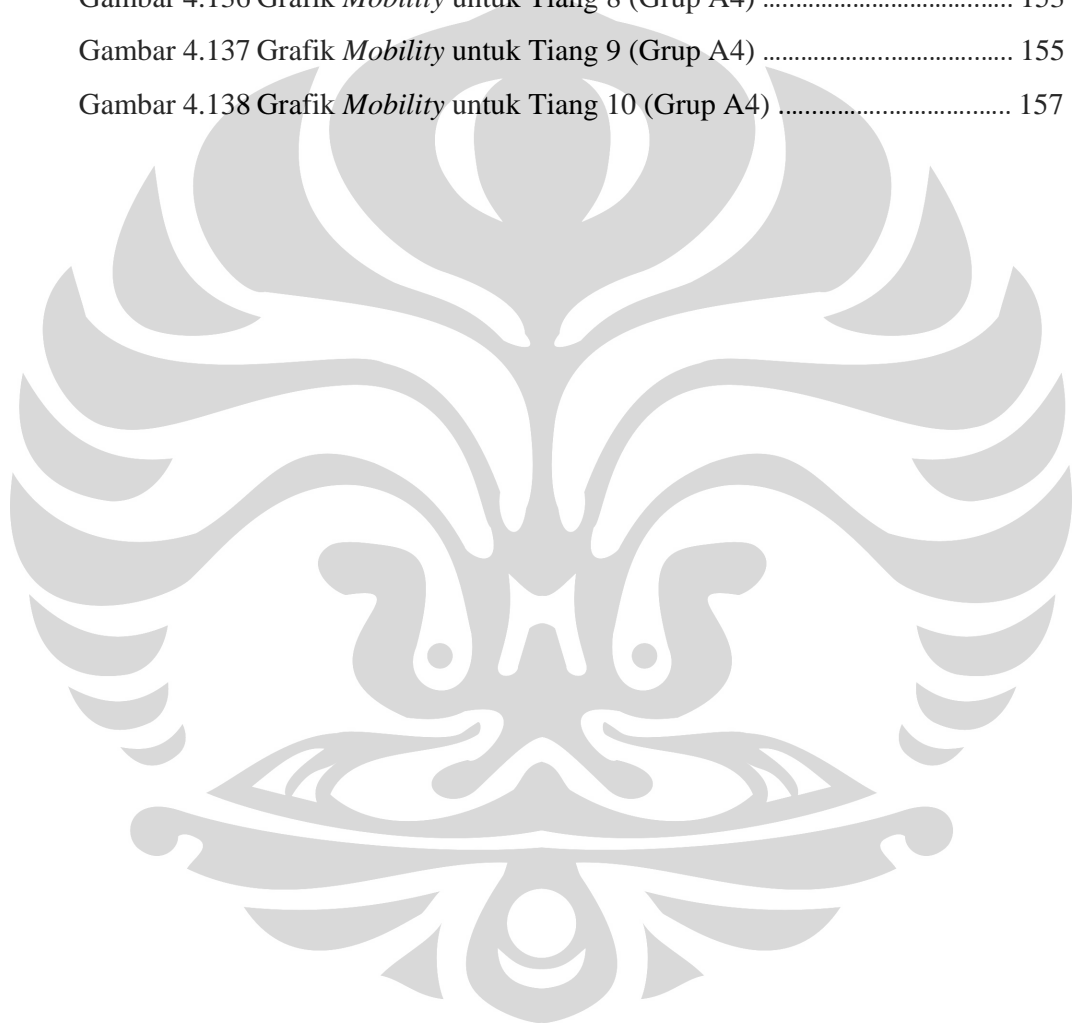
Gambar 4.61	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 2 (Grup A4)	79
Gambar 4.62	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 3 (Grup A4)	79
Gambar 4.63	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 4 (Grup A4)	80
Gambar 4.64	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 5 (Grup A4)	80
Gambar 4.65	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 6 (Grup A4)	81
Gambar 4.66	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 1 (Grup A4)	82
Gambar 4.67	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 2 (Grup A4)	83
Gambar 4.68	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 3 (Grup A4)	83
Gambar 4.69	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 4 (Grup A4)	84
Gambar 4.70	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 5 (Grup A4)	84
Gambar 4.71	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 6 (Grup A4)	85
Gambar 4.72	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 1 (Grup A4)	86
Gambar 4.73	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 2 (Grup A4)	87
Gambar 4.74	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 3 (Grup A4)	87
Gambar 4.75	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 4 (Grup A4)	88
Gambar 4.76	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 5 (Grup A4)	88

Gambar 4.77	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 6 (Grup A4)	89
Gambar 4.78	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 1 (Grup A4)	90
Gambar 4.79	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 2 (Grup A4)	91
Gambar 4.80	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 3 (Grup A4)	91
Gambar 4.81	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 4 (Grup A4)	92
Gambar 4.82	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 5 (Grup A4)	92
Gambar 4.83	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 6 (Grup A4)	93
Gambar 4.84	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 1 (Grup A4)	94
Gambar 4.85	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 2 (Grup A4)	95
Gambar 4.86	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 3 (Grup A4)	95
Gambar 4.87	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 4 (Grup A4)	96
Gambar 4.88	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 5 (Grup A4)	96
Gambar 4.89	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 6 (Grup A4)	97
Gambar 4.90	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 1 (Grup A4)	98
Gambar 4.91	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 2 (Grup A4)	99
Gambar 4.92	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 3 (Grup A4)	99

Gambar 4.93	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 4 (Grup A4)	100
Gambar 4.94	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 5 (Grup A4)	100
Gambar 4.95	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 6 (Grup A4)	101
Gambar 4.96	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 1 (Grup A4)	102
Gambar 4.97	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 2 (Grup A4)	103
Gambar 4.98	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 3 (Grup A4)	103
Gambar 4.99	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 4 (Grup A4)	104
Gambar 4.100	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 5 (Grup A4)	104
Gambar 4.101	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 6 (Grup A4)	105
Gambar 4.102	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 1 (Grup A4)	106
Gambar 4.103	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 2 (Grup A4)	107
Gambar 4.104	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 3 (Grup A4)	107
Gambar 4.105	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 4 (Grup A4)	108
Gambar 4.106	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 5 (Grup A4)	108
Gambar 4.107	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 6 (Grup A4)	109
Gambar 4.108	Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 1 (Grup A4)	110

Gambar 4.109 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 2 (Grup A4)	111
Gambar 4.110 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 3 (Grup A4)	111
Gambar 4.111 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 4 (Grup A4)	112
Gambar 4.112 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 5 (Grup A4)	112
Gambar 4.113 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 6 (Grup A4)	113
Gambar 4.114 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 1 (Grup A4)	114
Gambar 4.115 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 2 (Grup A4)	115
Gambar 4.116 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 3 (Grup A4)	115
Gambar 4.117 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 4 (Grup A4)	116
Gambar 4.118 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 5 (Grup A4)	116
Gambar 4.119 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 6 (Grup A4)	117
Gambar 4.120 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 1 (Grup A5)	122
Gambar 4.121 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 2 (Grup A5)	124
Gambar 4.122 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 3 (Grup A5)	126
Gambar 4.123 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 4 (Grup A5)	128
Gambar 4.124 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 5 (Grup A5)	130
Gambar 4.125 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 6 (Grup A5)	132
Gambar 4.126 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 7 (Grup A5)	134
Gambar 4.127 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 8 (SPS 50K) (Grup A5)	136
Gambar 4.128 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 8 (SPS 100K) (Grup A5)	137
Gambar 4.129 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 1 (Grup A4)	139

Gambar 4.130 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 2 (Grup A4)	141
Gambar 4.131 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 3 (Grup A4)	143
Gambar 4.132 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 4 (Grup A4)	145
Gambar 4.133 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 5 (Grup A4)	147
Gambar 4.134 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 6 (Grup A4)	149
Gambar 4.135 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 7 (Grup A4)	151
Gambar 4.136 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 8 (Grup A4)	153
Gambar 4.137 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 9 (Grup A4)	155
Gambar 4.138 Grafik <i>Mobility</i> untuk Tiang 10 (Grup A4)	157



DAFTAR TABEL

	Halaman
Gambar 4.1 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A5 berdasarkan Grafik Kecepatan terhadap Waktu	119
Gambar 4.2 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A4 berdasarkan Grafik Kecepatan terhadap Waktu	120
Gambar 4.3 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A5 berdasarkan Grafik Frekuensi terhadap <i>Mobility</i>	159
Gambar 4.4 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A4 berdasarkan Grafik Frekuensi terhadap <i>Mobility</i>	160
Gambar 4.5 Perbandingan Hasil Analisa Time Domain (Grafik Kecepatan vs Waktu) dan Frekuensi Domain (Grafik Frekuensi vs <i>Mobility</i>) pada Grup Tiang A5	161
Gambar 4.6 Perbandingan Hasil Analisa Time Domain (Grafik Kecepatan vs Waktu) dan Frekuensi Domain (Grafik Frekuensi vs <i>Mobility</i>) pada Grup Tiang A4	162

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pondasi merupakan unsur yang sangat penting dalam suatu bangunan, apakah itu gedung tinggi, jembatan maupun bangunan industri. Meskipun bangunan atas telah direncanakan dengan baik dan dapat dilakukan pengawasan serta pelaksanaan yang baik pula, tetapi akan mengalami kegagalan bila sistem pondasinya jelek. Dari sekian banyak gedung yang telah dibangun, sebagian besar diperkirakan tidak mempunyai dokumen yang jelas mengenai jenis, kedalaman, geometri atau jenis material yang digunakan pada pondasi. Hal ini disebabkan karena sebagian besar bangunan-bangunan tersebut telah berdiri sejak lama sehingga dokumen-dokumen tentang kondisi eksisting bangunan tidak dapat ditemukan atau mungkin telah hilang.

Informasi tentang kondisi eksisting pondasi seperti jenis, kedalaman, geometri atau jenis material sangat diperlukan untuk mengevaluasi kembali bangunan-bangunan yang telah ada. Masalah ini menjadi rumit apabila informasi-informasi tersebut tidak terdata dan terpaksa dilakukan penggalian pondasi secara konvensional, karena keberadaan tiang dalam tanah yang tidak dapat dilihat dengan mata. Selain itu, cara penggalian konvensional atau metode pengeboran yang biasa dilakukan untuk menentukan kondisi eksisting pondasi yang tidak diketahui, membutuhkan biaya yang besar dan tidak efisien. Cara terbaik yang saat ini dapat dipakai untuk melakukan penyelidikan tersebut adalah dengan menggunakan alat *Pile Integrity Test* (ASTM D5882-96), karena *Pile Integrity Test* (P.I.T.) dapat dijadikan sebagai salah satu acuan untuk menentukan tingkat integritas tiang secara akurat. Selain itu, metode ini juga lebih efisien dari segi waktu dan biaya. Namun pemakaian *Pile Integrity Test* (P.I.T.) itu sendiri secara praktis masih sangat rendah. Oleh karena itu, pengujian integritas tiang dengan P.I.T. perlu ditingkatkan untuk mencegah terjadinya kegagalan pondasi.

Pada umumnya ada dua tipe kasus untuk pondasi yang tidak diketahui kondisi eksistingnya, yaitu :

1. Jenis dan kedalaman pondasi yang tidak diketahui
2. Jenis pondasinya diketahui, tetapi kedalamannya tidak diketahui.

Pada penyusunan skripsi ini, penulis akan menganalisa kasus pondasi, dimana jenis pondasinya diketahui, yaitu tiang tunggal, tetapi kedalamannya atau panjang tiang tidak diketahui. Dalam proses analisa ini, dibutuhkan data-data mentah yang diperoleh dari pengujian pondasi dilapangan dengan bantuan alat P.I.T. yaitu *accelerometer* dan *hammer* yang menghasilkan suatu tegangan rendah (*Low Strain Dynamic Testing*). Proses analisa itu sendiri dilakukan dengan bantuan *software* PIT-W.

Dalam penelitian ini, Penulis mencoba untuk mengetahui panjang atau kedalaman dari pondasi tiang tunggal yang telah tertanam didalam tanah dengan bantuan alat *Pile Integrity Test* (P.I.T.) tersebut.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan skripsi ini ialah untuk menganalisa karakteristik dan perilaku gelombang yang dihasilkan dari alat *Pile Integrity Test* (P.I.T.) sehingga dapat diketahui kedalaman atau panjang tiang.

Sedangkan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui tentang rambatan dan pantulan gelombang pada tiang tunggal.
2. Untuk mengetahui proses pengujian integritas tiang dengan menggunakan alat *Pile Integrity Test* (P.I.T.).
3. Agar dapat menganalisa kondisi eksisting pondasi tiang tunggal (kedalaman atau panjangnya) berdasarkan karakteristik dan perilaku rambatan gelombang yang dihasilkan melalui alat P.I.T.
4. Menganalisa rambatan gelombang yang dihasilkan dengan menggunakan *software* PIT-W.
5. Menganalisa grafik atau kurva berdasarkan *time domain* dan *frequency domain*.

1.3 Ruang Lingkup Pembahasan

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis memfokuskan pada analisa kondisi eksisting pondasi tiang tunggal, yaitu kedalaman atau panjang tiang dengan

bantuan alat *Pile Integrity Test* (P.I.T.) dan *software* PIT-W. Dalam hal ini yang akan dianalisa yaitu karakteristik dan perilaku rambatan gelombang yang akan direkam oleh *accelerometer* pada saat dilakukan pengujian integritas tiang (*Pile Integrity Test*). Rambatan gelombang yang direkam oleh alat P.I.T. ini dapat secara langsung disajikan dalam bentuk *time domain* dan *frequency domain* dengan bantuan *software* PIT-W.

1.4 Sistematika Penulisan

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

- BAB 1 : Berisikan pendahuluan yang memuat latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, ruang lingkup penulisan dan sistematika penulisan.
- BAB 2 : Menjelaskan tentang teori dasar rambatan gelombang, pengenalan alat *Pile Integrity Test* (P.I.T), metode analisis P.I.T, dan pengenalan *software* PIT-W.
- BAB 3 : Menjelaskan tentang metode pelaksanaan pengujian integritas tiang (*Pile Integrity Test*) dan detail-detail dari proses penggunaan *Pile Integrity Test* tersebut.
- BAB 4 : Berisikan analisa hasil pengujian yang meliputi analisa terhadap rambatan gelombang yang direkam oleh alat P.I.T.
- BAB 5 : Berisikan kesimpulan dari keseluruhan pengujian yang telah dilakukan.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Teori Dasar Rambat Gelombang

Gelombang dapat didefinisikan sebagai gangguan sifat fisis suatu medium yang merambat melalui medium tersebut menurut waktu dan tempat, tetapi mediumnya sendiri tidak ikut bergerak bersama gelombang. Jika ditinjau dari arah rambat gelombang dan arah getar partikel-partikel medium, maka gelombang dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Gelombang transversal, jika arah rambat gelombang tegak lurus arah getar partikel-partikel medium. Gelombang transversal hanya dapat terjadi dalam zat padat.
2. Gelombang longitudinal, jika arah rambat gelombang sejajar arah getar partikel-partikel medium. Gelombang ini dapat merambat dalam semua wujud zat (padat, gas dan cair).
3. Gelombang torsional, jika medium (medannya) berputar.

Gelombang dapat merambat dalam medium zat padat, cair dan gas maupun vakum. Ditinjau dari mekanisme dan cepat rambatnya, gelombang dapat dibedakan menjadi :

1. Gelombang mekanis, yaitu gelombang yang membutuhkan medium.
2. Gelombang elastis, yaitu gelombang-gelombang yang mempunyai cepat rambat bergantung pada besaran-besaran elastisitas.
3. Gelombang permukaan, yaitu gelombang yang mempunyai cepat rambat bergantung pada besaran-besaran permukaan cairan.
4. Gelombang elektromagnetik, yaitu gelombang-gelombang yang mempunyai cepat rambat bergantung pada besaran-besaran listrik dan magnet.

Jika suatu batang atau tiang diberi gangguan di salah satu ujungnya, misalnya dipukul dengan palu, maka gangguan tersebut akan merambat sepanjang batang atau tiang dan dapat dirasakan pada ujung lainnya. Dapat dikatakan bahwa suatu gelombang longitudinal elastis merambat sepanjang batang atau tiang tersebut. Oleh karena itu, gelombang yang disebabkan oleh tumbukan (*impact*)

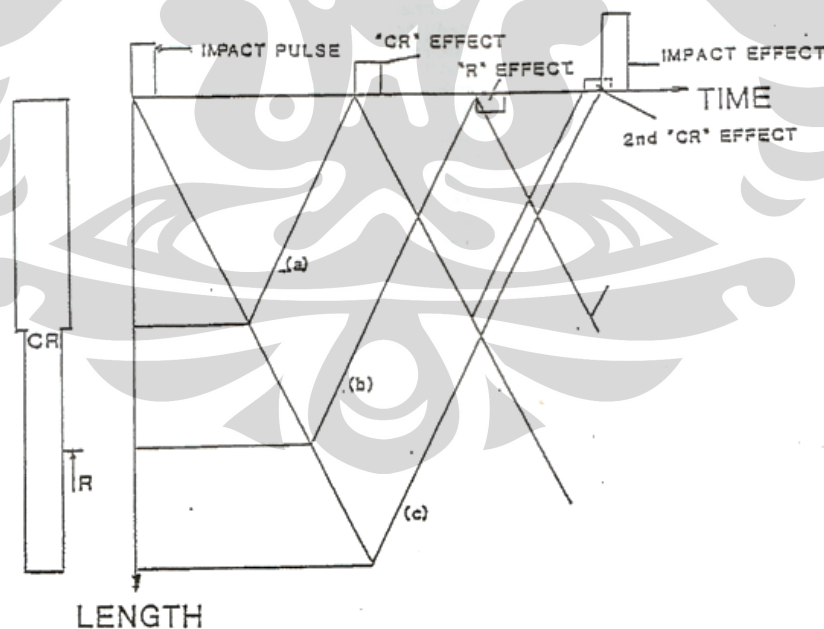
yang dipukulkan secara vertical pada permukaan pondasi merupakan gelombang longitudinal elastis. Gelombang ini disebut juga *P-wave* atau *Primary Wave*.

2.2 Perambatan Gelombang pada Tiang

Suatu tumbukan (*impact*) yang terjadi pada permukaan atas tiang akan menghasilkan tekanan atau tegangan sesaat dan mengakibatkan terjadinya gerakan partikel pada permukaan tiang tersebut. Tekanan tersebut diakibatkan oleh gaya F (*Force*); dan gerakan yang terjadi pada permukaan atas tiang menyebabkan terjadinya kecepatan v_c pada partikel tersebut. Pada beton atau kayu, gelombang tegangan (*stress wave*) akan merambat disepanjang tiang dengan kecepatan rambat gelombang v_c berkisar antara 3000 sampai 4500 m/s atau 10000 sampai 15000 ft/s. Kecepatan rambat gelombang ini dipengaruhi oleh properti material tiang.

$$v_c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.2.1)$$

dimana E adalah modulus elastisitas tiang dan ρ adalah kerapatan massa (*mass density*).



Gambar 2.1 Dampak Tegangan dan Pemantulan Gelombang Akibat dari : (A) Reduksi Penampang Tiang, CR , (B) Tahanan Tanah Pasif, R dan (C) Ujung Bawah Tiang

Gelombang tegangan (*stress wave*) tersebut akan merambat disepanjang tiang dengan kecepatan tetap menuju bagian bawah tiang yang kemudian dipantulkan kembali keatas. Ketika pemantulan gelombang tegangan (*stress wave*) kembali ke bagian atas tiang, terjadi suatu pengukuran terhadap gerakan diatas tiang tersebut. Hasil dari tiap pengukuran tersebut berupa suatu kurva kecepatan atau percepatan yang diinterpretasikan sebagai suatu fungsi waktu. Kurva ini dianalisa untuk setiap pemantulan gelombang yang menandai terjadinya suatu perubahan pada bagian tiang atau reduksi penampang tiang dan untuk mengetahui kondisi eksisting dari tiang tersebut. Selain itu, pemantulan gelombang tersebut juga dapat disebabkan oleh efek dari tahanan tanah atau karena sifat tanah yang berubah. Efek dari tahanan tanah ini akan memberikan pengaruh yang berlawanan terhadap efek reduksi penampang tiang.

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 :

1. Kondisi dimana pada ujung pondasi dalam keadaan bebas atau dalam keadaan void
2. Kondisi dimana pada ujung pondasi dalam keadaan terjepit atau terdapat tanah keras.

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 wave* dan *reflected wave*, yaitu sebesar 180° . 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. 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, memiliki jumlah tak terhingga pada grafik sinus dan kosinus tersebut.

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 Δf pada puncaknya, panjang dari *transducer* ke sumber pemantulan L dapat ditentukan dengan rumus :

$$L = \frac{v_c}{2\Delta f} \quad (2.2.2)$$

dimana v_c merupakan kecepatan rambat gelombang pada beton. Pergerakan (*mobility*) rata-rata N_c dapat dihitung dengan menentukan rata-rata geometris dari puncak-puncak resonansi pada kurva *mobility* dimana respon tiang berada dalam resonansi tersebut, dan dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

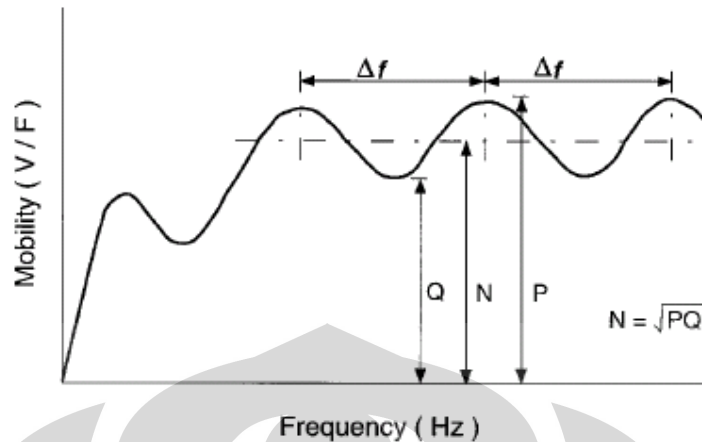
$$N_c = \sqrt{PQ} \quad (2.2.3)$$

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

$$N_T = \frac{1}{\rho_c v_c A} \quad (2.2.4)$$

dimana ρ_c merupakan kepadatan beton dan A merupakan luas bidang permukaan tiang. Jika N_c lebih besar dari N_T maka kemungkinan terjadi perubahan bentuk pada tiang yang dikarenakan terjadinya pengecilan pada tiang (*necking*) atau terjadi penurunan kualitas beton (ρ_c atau v_c rendah).

Resolusi respon sinyal impuls dapat didefinisikan berdasarkan perbandingan antara P dan Q . Resolusi sinyal yang tinggi (>1) membuat puncak-puncak resonansi lebih mudah untuk dianalisa dan memudahkan untuk menginterpretasikan panjang tiang dan kelainan atau kecacatan yang terjadi pada tiang. Ketika rasio P/Q mendekati 1, maka tidak ada frekuensi resonansi yang dapat diidentifikasi.



Gambar 2.2 Kurva *Mobility* yang Ideal Berdasarkan Teori Gelombang 1 Dimensi

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.

2.3 *Pile Integrity Test (P.I.T)*

Pile Integrity Test (P.I.T) adalah suatu metode *Non-Destructive* atau NDE (*Non-Destructive Evaluation*) untuk menguji kualitas atau integritas dari pondasi tiang dalam keadaan sudah terpancang di dalam tanah. P.I.T juga dapat disebut “*Low Strain Method of Dynamic Pile Testing*” karena dalam pelaksanaan pengujiannya hanya menggunakan *hammer* atau palu tangan yang kecil untuk menghasilkan suatu gelombang pendek dari percepatan dengan tingkat tegangan yang rendah. Regangan yang terjadi pada tiang akibat tumbukan palu tersebut sangat kecil sehingga tidak cukup untuk memobilisasi kekuatan lapisan tanah. *Pile Integrity Testing* ini merupakan suatu metode yang sederhana, cepat dan murah. Dengan metode “*Low Strain*” sejumlah besar atau seluruh tiang dapat diuji langsung di lapangan/lokasi konstruksi dan permasalahan pada tiang dapat diidentifikasi secara akurat.

2.3.1 Perangkat Alat *Pile Integrity Test* (P.I.T)

Pile Integrity Test (P.I.T) terdiri atas beberapa perangkat alat, yaitu akselerometer, P.I.Ttm *Collector* dan *hammer*.

2.3.1.1 Akselerometer

Akselerometer adalah suatu alat transducer untuk mengukur percepatan gaya. Percepatan gaya ini bisa statis, seperti gaya konstan dari gravitasi, atau bisa juga dinamis yaitu yang disebabkan oleh gerakan atau getaran dari akselerometer tersebut. Fungsi dari akselerometer ini adalah untuk menganalisis gerakan atau gaya eksternal pada suatu struktur. Gaya ini biasanya dikaitkan dengan percepatan atau akselerasi dari struktur yang diuji. Akselerometer biasanya terbuat dari bahan *piezoelectric* atau *piezoresistive*. Gaya yang disebabkan oleh getaran atau perubahan gerakan (akselerasi) menyebabkan massa menekan material *piezoelectric* (berisi struktur kristal mikroskopik) tersebut, yang menghasilkan muatan listrik yang proporsional dengan gaya yang dikenakan. Oleh karena muatan yang dihasilkan proporsional terhadap gaya, dan massa adalah konstan, maka muatan tersebut juga proporsional terhadap akselerasi.

Ada dua tipe *piezoelectric accelerometer*, yaitu *high impedance output accelerometer* dan *low impedance output accelerometer*. Pada tipe *high impedance output accelerometer*, kristal *piezoelectric* menghasilkan muatan listrik yang dihubungkan langsung dengan instrumen pengukur. Output dari tipe *high impedance output accelerometer* ini, memerlukan akomodasi khusus dan instrumen yang banyak. Sedangkan tipe *low impedance output accelerometer*, memiliki muatan akselerometer sama seperti tipe *high impedance output accelerometer* tetapi terpasang micro-circuit tipis dan transistor FET yang mengkonversi muatan tersebut menjadi *low impedance voltage*, yang mana dapat dengan mudah dihubungkan dengan instrumen standar.

2.3.1.2 *Hammer*

Hammer yang dimaksud adalah palu tangan kecil yang digunakan untuk memberikan *impact* pada permukaan atas tiang sehingga menghasilkan suatu gelombang pendek dengan tingkat tegangan yang rendah. *Hammer* ini ada dua

tipe, yaitu *non-instrumented hammer* yang digunakan dalam metode *Pulse Echo Method* (PEM) dimana *hammer* tidak dihubungkan ke *processing unit*. Dan *instrumented hammer* yang digunakan dalam metode *Transient Response Method* (TRM) dimana *hammer* dihubungkan ke *processing unit* dengan dilengkapi kabel untuk membaca data impuls gaya (F/Z). *Instrumented hammer* ini disebut juga *acceleration hammer*, karena berfungsi sama seperti *accelerometer* untuk merekam data-data akselerasi. Selama terjadi tumbukan atau *impact*, *hammer* dan tiang akan saling berhubungan, dan gaya yang ditimbulkan oleh *impact* tersebut akan berbanding lurus atau proporsional dengan percepatan. Konstanta proporsionalitas ini disebut impedansi (Z) pada permukaan atas tiang. Untuk mempermudah, maka F/Z dapat disebut gaya (*force*) saja. Gaya (F/Z) dan kecepatan (V) tersebut diharapkan kurang lebih sama selama *impact* terjadi pada tiang. Namun, data-data gaya (F/Z) tersebut tidak lagi memberikan pengaruh setelah *hammer* tidak bersentuhan pada permukaan atas tiang.

2.3.1.3 P.I.TTM Collector

P.I.TTM Collector adalah suatu alat dan system analisa yang digunakan dalam pengujian integritas tiang dengan menggunakan metode tegangan rendah pada permukaan tiang (*low-strain surface-impact method*). Alat ini mudah dioperasikan dan dibawa oleh satu orang untuk menguji sejumlah tiang dengan efisien. P.I.TTM Collector ini telah dikembangkan selama kurang lebih satu dekade oleh *Pile Dynamics, Inc.* Alat ini merekam dan memproses sinyal gelombang yang masuk baik dari akselerometer maupun dari *instrumented hammer*. Prosesnya adalah tumbukan/gaya yang kecil (*impact*) diberikan pada permukaan atas tiang, biasanya digunakan palu tangan (*hand-held hammer*) yang khusus, lalu terbentuk gelombang akibat *impact* tersebut yang menyebar ke bawah disepanjang tiang. Refleksi atau pantulan gelombang yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kualitas material yang digunakan, dimana hal ini diamati berdasarkan saat gelombang tersebut telah kembali ke permukaan. Getaran pada permukaan tiang akibat *impact* atau tumbukan *hammer* akan terekam P.I.TTM Collector, hingga semua refleksi atau pantulan gelombang dapat kembali ke permukaan tiang. Hasil

rekaman oleh P.I.TTM *Collector* tersebut akan tersimpan dalam PCMCIA *flash card* dan dapat langsung dilihat pada layar.

2.4 Metode Analisis *Pile Integrity Test* (P.I.T)

Data-data yang dihasilkan oleh P.I.T dapat diinterpretasikan berdasarkan beberapa metode analisis, yaitu :

1. *Pulse Echo / Sonic Echo Method* (PEM) adalah metode yang paling sederhana, dimana data-data kecepatan pada kepala tiang diinterpretasikan sebagai suatu fungsi waktu atau *time domain*.
2. *Transient Response Method* (TRM) menghasilkan *mobility*, yaitu kecepatan dibagi gaya, sebagai suatu fungsi frekuensi atau *frequency domain*.
3. *Kombinasi* antara PEM dan TRM menghasilkan kecepatan dalam fungsi waktu dan frekuensi (*time domain and frequency domain*).
4. Analisis Profil menghasilkan grafik impedansi tiang vs kedalaman tiang.

2.4.1 *Pulse Echo Method* (PEM)

Metode ini adalah metode pengujian yang paling sederhana sejauh menyangkut instrument dan pengujian terkait. Metode ini menginterpretasikan percepatan gelombang yang mana terintegrasi secara numerik untuk menghasilkan kurva kecepatan dalam fungsi waktu (*time domain*).

Ketika permukaan kepala tiang diberi sebuah tumbukan atau *impact* dari palu, maka akan timbul tegangan berupa gelombang (*stress wave*) yang merambat disepanjang tiang sebesar p , dengan kecepatan tertentu. Kecepatan rambat gelombang tersebut dapat bervariasi berdasarkan perubahan yang terjadi pada bentuk tiang, kualitas beton yang berbeda-beda atau perubahan pada tahanan tanah (*soil resistance*).

Kecepatan rambat gelombang pada tiang yang bervariasi juga dapat disebabkan oleh perubahan pada impedansi tiang. Impedansi tiang adalah perbandingan antara gaya (*Force*) dengan kecepatan (*velocity*) atau tegangan gelombang p dibagi kecepatan gelombang v dan luas penampang A .

$$Z = \frac{p}{v.A} = \frac{F}{v} \quad (2.1)$$

dimana :

Z = impedansi tiang (kg/s)

p = tegangan gelombang (N/m² atau Pa)

v = kecepatan gelombang (m/s)

A = luas penampang tiang (m²)

Karakteristik impedansi Z_o dari media perantara seperti udara, air, tanah, beton, baja dan lain sebagainya, merupakan sifat dari material yang didefinisikan sebagai berikut :

$$Z_o = \rho.c \quad (2.2)$$

dimana :

Z_o = karakteristik impedansi (N.s/m³ atau Pa.s/m)

ρ = kepadatan (*density*) material

Hubungan antara impedansi dengan karakteristik impedansi, yaitu :

$$Z_o = \frac{Z}{A} \quad (2.3)$$

Sehingga persamaan (2.1) menjadi :

$$Z = \rho.c.A \quad (2.4)$$

Dari persamaan (2.4) dapat disimpulkan bahwa impedansi tiang dipengaruhi oleh luas penampang tiang dan kualitas material tiang tersebut.

2.4.2 *Transient Response Method* (TRM)

Metode ini biasanya digunakan pada spesifikasi yang membutuhkan *transient response* dengan menginterpretasikan frekuensi. Untuk mendapatkan hasil interpretasi yang akurat, gaya dan kecepatan harus diukur. Oleh karena itu, TRM menggunakan dua buah *input channel*, yaitu akselerometer yang dipasang pada permukaan atas tiang untuk mengukur percepatan atau akselerasi gerakan pada permukaan atas tiang dan *instrumented hammer* (palu yang dipasangi *transducer*) untuk mengukur gaya (*Force*). TRM menghasilkan suatu analisis frekuensi berdasarkan spectrum rasio gaya dan kecepatan. Perbandingan / rasio kecepatan tiang $v(\omega)$ terhadap suatu gaya tertentu $F(\omega)$ disebut *mobility*. *Mobility* adalah kebalikan dari impedansi dan merupakan suatu indikasi dari respon kecepatan tiang terhadap suatu gaya tertentu.

$$M(\omega) = \frac{v(\omega)}{F(\omega)} \quad (2.5)$$

dimana :

M = *Mobility*

$v(\omega)$ = respon percepatan tiang

$F(\omega)$ = gaya eksitasi (*Force*)

Puncak *mobility* terjadi pada suatu frekuensi yang menandakan atau mengindikasikan waktu ketika terjadi perubahan kecepatan yang disebabkan oleh pemantulan dari ujung bawah tiang atau reduksi impedansi. Puncak *mobility* berlangsung selama interval reguler yang menandakan suatu frekuensi maksimum Δf . Jarak dari bagian atas tiang sampai dimana terjadi perubahan impedansi, dapat dihitung dari :

$$L = \frac{v_c}{2\Delta f} \quad (2.6)$$

dimana :

v_c = cepat rambat gelombang (m/s)

Δf = jarak/interval antara dua *mobility peak* atau selisih frekuensi

Perbandingan antara *velocity* dan frekuensi menghasilkan *displacement*.

Sedangkan perbandingan antara gaya (*force*) dan *displacement* pada frekuensi tertentu disebut kekakuan dinamis (*dynamic stiffness*), yang dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$E_d = \frac{\omega F(\omega)}{v(\omega)} = \frac{2\pi f}{M(\omega)} \quad (2.7)$$

dimana :

E_d = kekakuan dinamis tiang (*dynamic stiffness*)

ω = frekuensi dalam radians per second

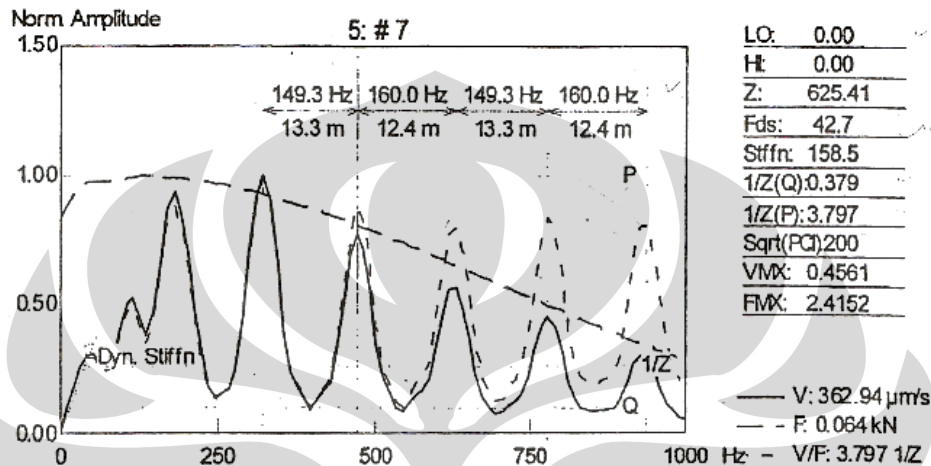
f = frekuensi dalam Hz

F = gaya (*force*)

v = percepatan tiang (*velocity*)

Dalam prakteknya, frekuensi rendah dibagi dengan *mobility* menghasilkan E_d . Nilai E_d ini akan bertambah seiring dengan semakin menurunnya respon pada ujung bawah tiang. Respon ujung bawah tiang yang rendah akan menghasilkan

ketahanan tanah (*soil resistance*) yang tinggi. Ketahanan tanah (*soil resistance*) yang tinggi ini, juga dapat disebabkan oleh variabel properti tiang yang tinggi atau *damping* internal tiang. Perhitungan nilai E_d memberikan suatu hasil kuantitatif untuk kualitas tiang.



Gambar 2.3 Spektrum Frekuensi vs Amplitudo yang di Plot dalam Bentuk Grafik

2.4.3 P.I.T FV

Metode P.I.T FV merupakan kombinasi dari *Pulse Echo Method* (PEM) dan *Transient Response Method* (TRM). Peralatan pengujian yang diperlukan sama seperti yang digunakan pada TRM. Rekaman data gaya (*force*) dan kecepatan (*velocity*) ditunjukkan sebagai suatu fungsi waktu. Selain kecepatan rata-rata dan kecepatan maksimum, perbedaan antara kecepatan rata-rata dan gaya rata-rata (dibagi dengan impedansi) juga dihitung dan diperbesar secara eksponen. Ujung bawah tiang dan luas bidang tiang yang mengalami reduksi juga dapat terdeteksi dalam rekaman ini. Pada kurva, setiap cacat disekitar bagian atas tiang lebih mudah terdeteksi. Sedangkan pada PEM, cacat pada bagian atas tiang tersebut kemungkinan tersembunyi didalam dampak (*impact*) tegangan.

Selain menampilkan kecepatan rata-rata, perbedaan gaya dan kecepatan maksimum, mobilitas juga diperhitungkan dalam metode ini, yang mana cara perhitungannya sama dengan TRM. Tetapi, spektrum *mobility* ini tidak dapat dihitung untuk kurva kecepatan yang diperbesar. Secara nyata, bentuk dari fungsi pembesaran mempengaruhi spektrum dan dapat memberikan kesimpulan yang

salah. Oleh karena itu, respon ujung/kaki tiang yang lemah akan mengakibatkan spektrum *mobility* hanya memberikan informasi yang terbatas tentang frekuensi dasar tiang.

P.I.T FV mempersiapkan engineer dengan tambahan spektra gaya dan kecepatan. Suatu contoh dari spektrum gaya ditunjukkan pada gambar 2.5. Karena *mobility* adalah kecepatan dibagi dengan gaya, maka spektrum kecepatan pada hakekatnya berbeda dari spektrum *mobility* hanya pada frekuensi yang lebih tinggi dimana spektrum gaya menjadi lebih kecil. Pada frekuensi yang lebih rendah, spektra *mobility* dan kecepatan hampir identik/sama karena kerataan dari spektrum gaya.

2.4.4 Analisis Profil

Analisis ini merupakan suatu perluasan metode dasar *Sonic Pulse Echo* (SPE) yang selanjutnya dikenal sebagai program **PROFILE**. Analisis profil menghasilkan grafik impedansi tiang vs kedalaman tiang. Ada beberapa batasan pada metode ini yang menekankan bahwa metode ini hanya menggambarkan analisa engineer berdasarkan interpretasi data yang nyata atau akurat. Dasar dari analisa profil adalah perubahan impedansi tiang dan tahanan tanah yang menimbulkan dampak cepat rambat gelombang pada bagian atas tiang. Kecepatan rambat gelombang ini bervariasi berdasarkan variasi impedansi tiang dan tahanan tanah tersebut. Untuk menentukan impedansi disepanjang kedalaman tiang, efek tahanan tanah terhadap kecepatan rambat gelombang harus ditiadakan. Ada dua cara untuk menghilangkan efek tahanan tanah, yaitu :

- 1) *High pass filter record*, yaitu menghilangkan rekaman data frekuensi rendah yang dipengaruhi oleh tahanan tanah, atau
- 2) Menentukan efek tahanan tanah terhadap kecepatan rambat gelombang dengan menetapkan garis referensi (*reference line*).

Dalam banyak kasus, sulit untuk menghilangkan semua efek tahanan tanah dengan menggunakan *high pass filter* saja. Oleh karena itu, hasil analisis profil suatu tiang yang akurat bergantung pada seberapa baik *engineer* melakukan penyesuaian garis referensi (*reference line*). Profil tiang dianalisa dengan mengintegrasikan perbedaan antara kecepatan yang diukur dan garis referensi

(*reference line*), dan menormalisasikan hasil plot yang berhubungan dengan bagian atas tiang. Volume tiang dapat diketahui apabila profil tiang telah dihitung. Penentuan garis referensi (*reference line*) sangat penting untuk memastikan hasil analisa **PROFILE** yang akurat dan dapat dipercaya. Garis referensi (*reference line*) adalah bagian dari kecepatan rambat gelombang yang terekam pada bagian atas tiang vs waktu, yang disebabkan oleh pantulan dari tahanan tanah. Kecepatan rambat gelombang pada bagian atas tiang ini terbagi atas tiga bagian, yaitu :

$$V = V_p + V_s + V_i \quad (2.8)$$

dimana :

V = total data kecepatan yang terekam pada bagian atas tiang,

V_p = kecepatan yang dipantulkan dari variasi impedansi dan ujung bawah tiang,

V_s = kecepatan yang dipantulkan dari tahanan tanah,

V_i = kecepatan yang disebabkan oleh tumbukan/tekanan (*impact*), hanya pada *impact* yang pertama.

V , V_p , V_s dan V_i merupakan fungsi dari waktu.

Dari persamaan (2.8), dapat diperoleh :

$$V_p = V - V_s - V_i \quad (2.9)$$

$V_s + V_i$ merupakan garis referensi (*reference line*) pada kurva kecepatan vs waktu.

Profil dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Z_p = Z_o - K_p \int V_p dt \quad (2.10)$$

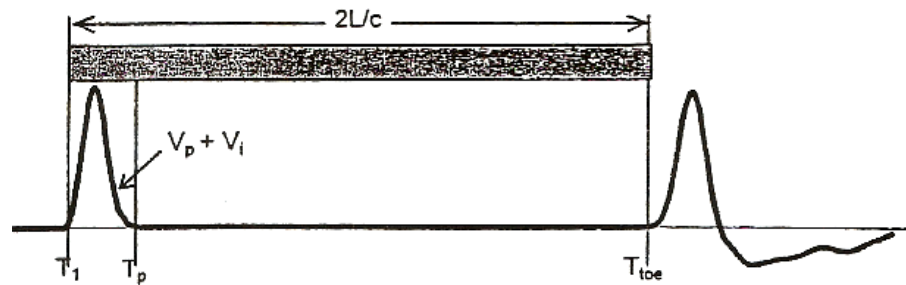
Pada persamaan (2.10), Z_o adalah impedansi pada bagian atas tiang dan factor skala K_p adalah :

$$K_p = \frac{Z_o}{\int V_p dt} \quad (2.11)$$

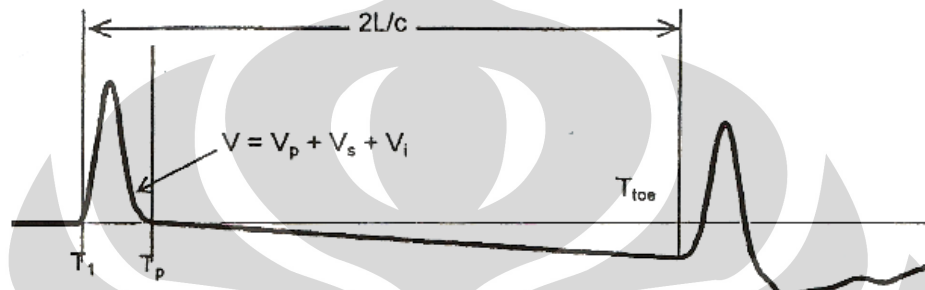
Untuk kemudahan, persamaan (2.10) biasanya di non-dimensionalkan dengan cara membagi persamaan tersebut dengan Z_o sehingga menghasilkan profil non-dimensional :

$$p_p = 1 - k_p \int V_p dt \quad (2.12)$$

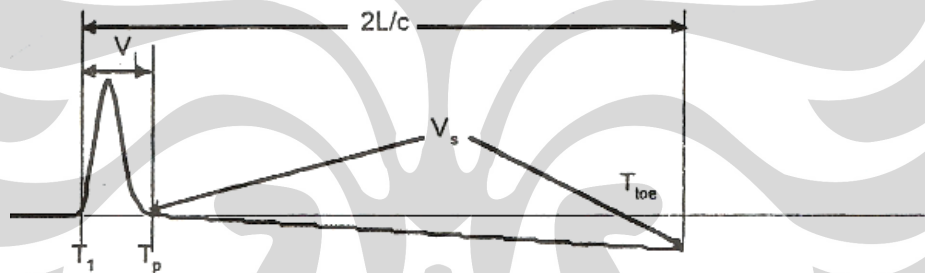
dimana K_p memiliki dimensi 1/panjang; p_p diplot vs kedalaman sebagai suatu kurva sederhana yang dimulai dengan nilai 1 dan mencapai nilai 0 pada ujung bawah tiang.



(A) Kecepatan vs Waktu untuk Tiang Uniform Tanpa Tahanan Tanah



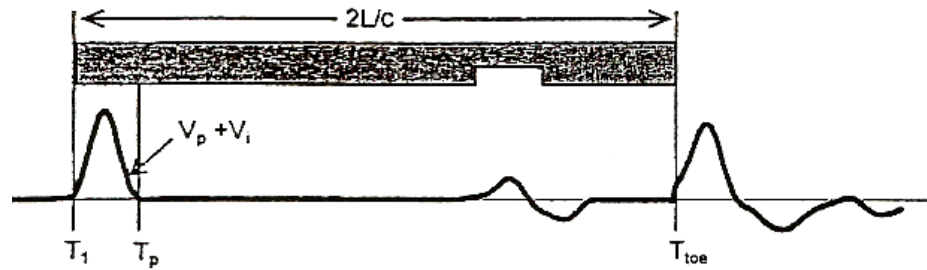
(B) Kecepatan vs Waktu untuk Tiang Uniform dengan Tahanan Tanah



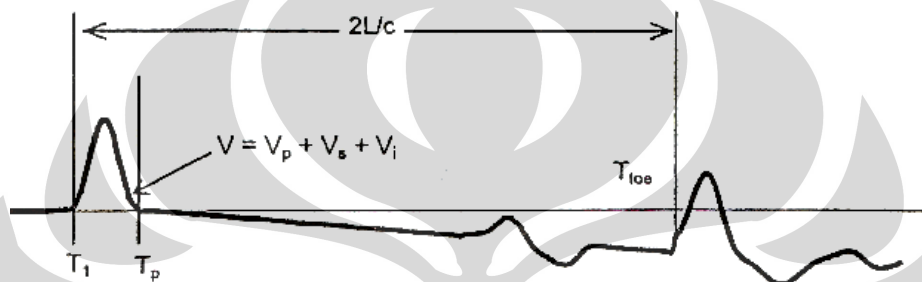
(C) Kecepatan vs Waktu untuk Tahanan Tanah – Garis Referensi

Gambar 2.4 Ilustrasi Skema dari Efek Tahanan Tanah terhadap Kecepatan – Tiang *Uniform* tanpa Variasi Impedansi

Gambar 2.4 mengilustrasikan pengaruh tahanan tanah menggunakan suatu hipotesis rekaman data kecepatan untuk tiang *uniform*. Secara teoritis, kecepatan vs waktu untuk tiang *uniform* tanpa tahanan tanah terlihat seperti Gambar 2.4(A). Dengan penambahan efek tahanan tanah pada tiang, kurva kecepatan menjadi seperti Gambar 2.4(B). Sementara efek tahanan tanah terhadap kecepatan dapat digambarkan seperti 2.4(C). Untuk kondisi tanah yang sama, jika tiang mengalami reduksi impedansi, kurva kecepatan vs waktu dengan dan tanpa efek tahanan tanah dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini.



(A) Kecepatan vs Waktu untuk Tiang Non-Uniform tanpa Tahanan Tanah



(B) Kecepatan vs Waktu untuk Tiang Non-Uniform dengan Tahanan Tanah

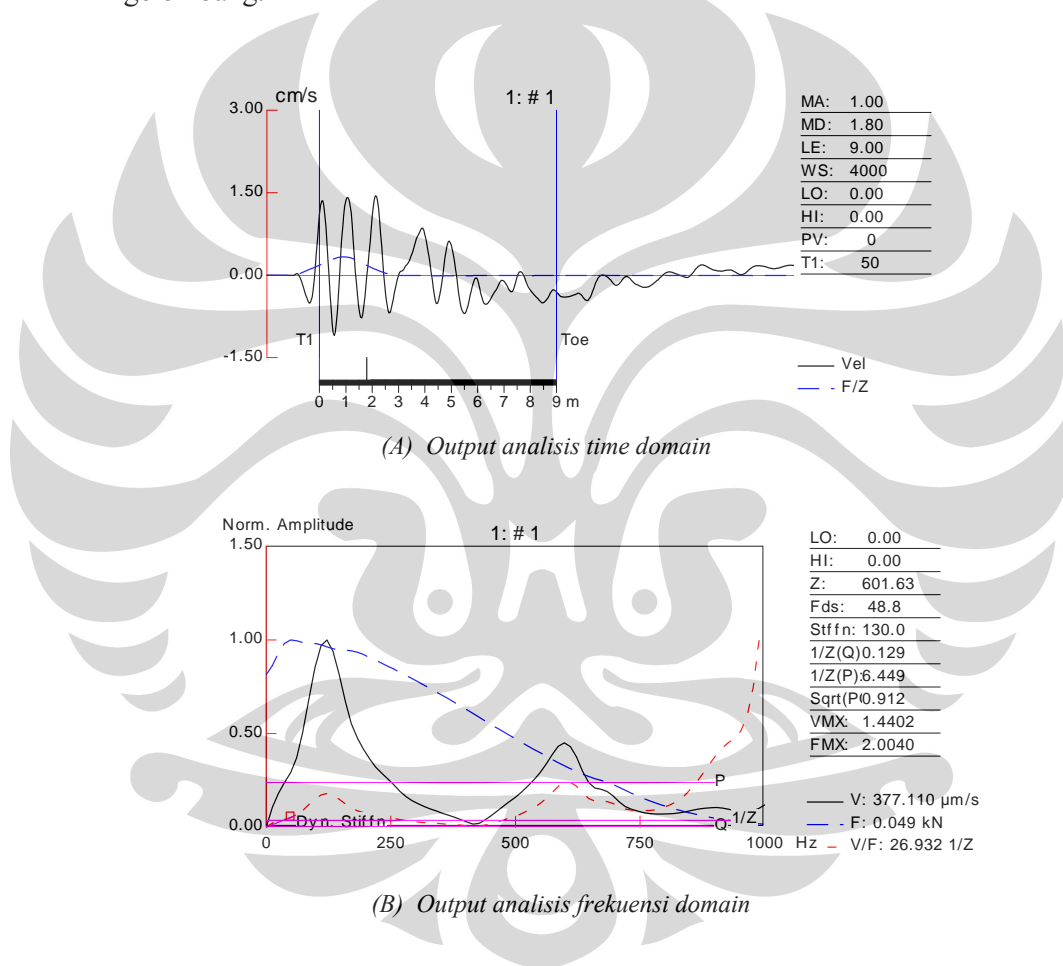
Gambar 2.5 Ilustrasi Skema dari Efek Tahanan Tanah terhadap Kecepatan – Tiang *Non-Uniform* dengan Variasi Impedansi

2.5 Pengenalan Software PIT-W

Software **PIT-W™ 2003** menyediakan berbagai cara grafis dan analitis kepada pengguna PIT-W. Software ini dapat menginterpretasikan tidak hanya rekaman data kecepatan saja, tetapi juga rekaman data gaya dan kecepatan yang direkam dari bagian atas tiang beton, tiang kayu atau tiang bor dengan metode "Low Strain". Analisa (seperti analisis *time domain*, *frequency domain*, analisis dua kecepatan dan analisis profil) yang disediakan oleh *software* PIT-W dapat diinterpretasikan baik dari pengujian *Sonic Pulse Echo Method (SPE)* atau *Transient Response (TR)*. *Software PIT-W 2003* terdiri dari dua program, yaitu :

1. **PIT-W** : memungkinkan *user* untuk menghasilkan data PIT dari **PIT Collector**, menganalisa rekaman data tersebut dalam bentuk *time domain* atau *frequency domain*, menyesuaikan berbagai parameter dasar, plot data, dan menghasilkan laporan yang berkualitas tinggi yang terdiri dari plot interpretasi data, tabel-tabel atau plot ringkasan berbagai kolom.

2. **PROFILE** : dapat memproses suatu aplikasi data independen atau data dari program **PIT-W** untuk melakukan analisis profil tiang, analisis dua kecepatan (*two-velocity*) atau analisis frekuensi yang lebih detail pada rekaman data yang dipilih. Secara interaktif, engineer dapat menggunakan program ini untuk menghasilkan plot kurva impedansi tiang vs kedalaman atau rekaman data yang dipilih terdiri dari dua kecepatan, dengan menggunakan analisis dua kecepatan (*two-velocity*), *user* dapat menghasilkan gambaran perjalanan gelombang.



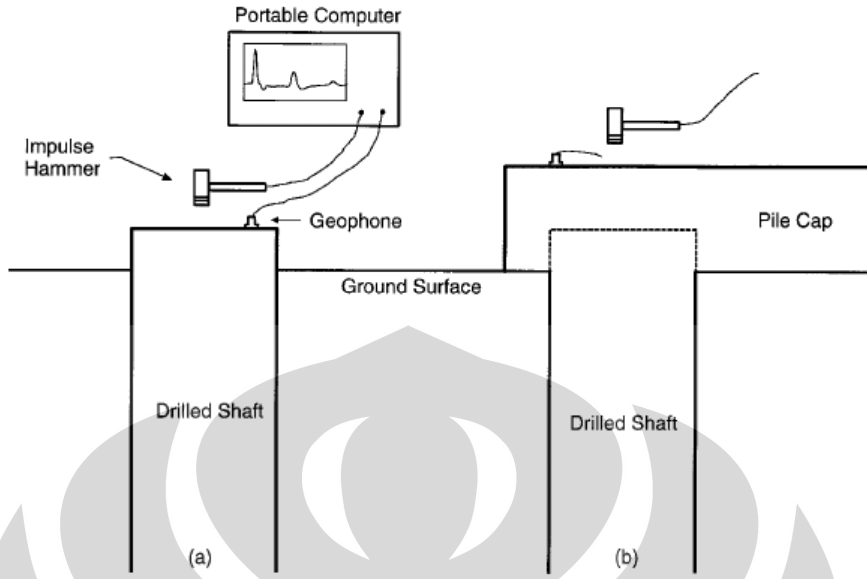
Gambar 2.6 Gambaran Hasil Analisa dengan *Software* PIT-W

2.6 Studi Kasus Sebelumnya

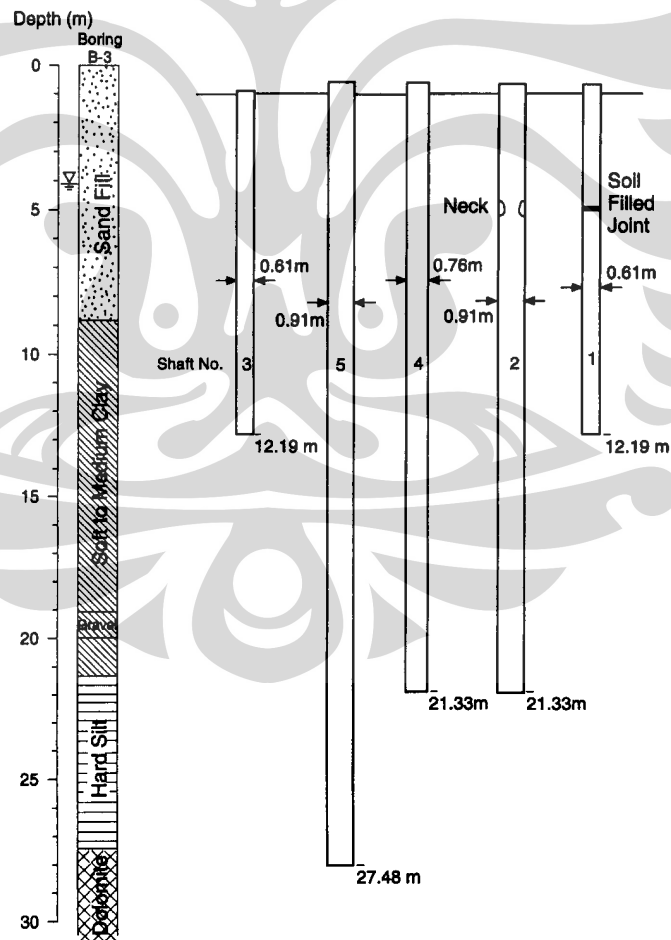
Teknik *Nondestructive Evaluation* (NDE) sudah sering digunakan selama beberapa tahun belakangan ini untuk mengontrol kualitas dari prosedur konstruksi pada tiang bor dan tiang pancang beton. Khususnya, metode *Sonic Echo* dan *Impulse Response* telah digunakan secara eksentif untuk memeriksa panjang tiang dan kesinambungan pondasi yang baru dipasang (*Davis dan Dunn 1974; Higgs dan Robertson 1979; Hearne 1981; Olson and Wright 1989; Lin 1991*). Dalam beberapa kasus, penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui jenis dan kedalaman pondasi yang tidak diketahui atau jenis pondasinya diketahui, tetapi kedalamannya tidak diketahui, karena dokumen-dokumen bangunan tua atau yang telah berdiri sejak lama tidak lagi tersedia.

Rangkaian pengujian tiang bor dilakukan di *National Geotechnical Experimentation Site* (NGES), Universitas Northwestern untuk mengevaluasi kemampuan berbagai teknik pengujian *nondestructive* yang bertujuan untuk menguji integritas dari tiang bor tersebut dalam kondisi *accessible-head*, yaitu tiang tunggal tanpa *pile cap*, dimana pengujian *Sonic Echo* dan *Response Impulse* dilakukan langsung di permukaan atas tiang. Dan dalam kondisi *inaccessible-head*, yaitu tiang dengan *pile caps*, dimana pengujian *Sonic Echo* dan *Response Impulse* dilakukan di permukaan atas kepala tiang beton bertulang yang telah terpasang. Bagian pengujian terdiri dari lima tiang bor, dengan menggunakan kepala tiang dari beton bertulang untuk membentuk tiga grup tiang.

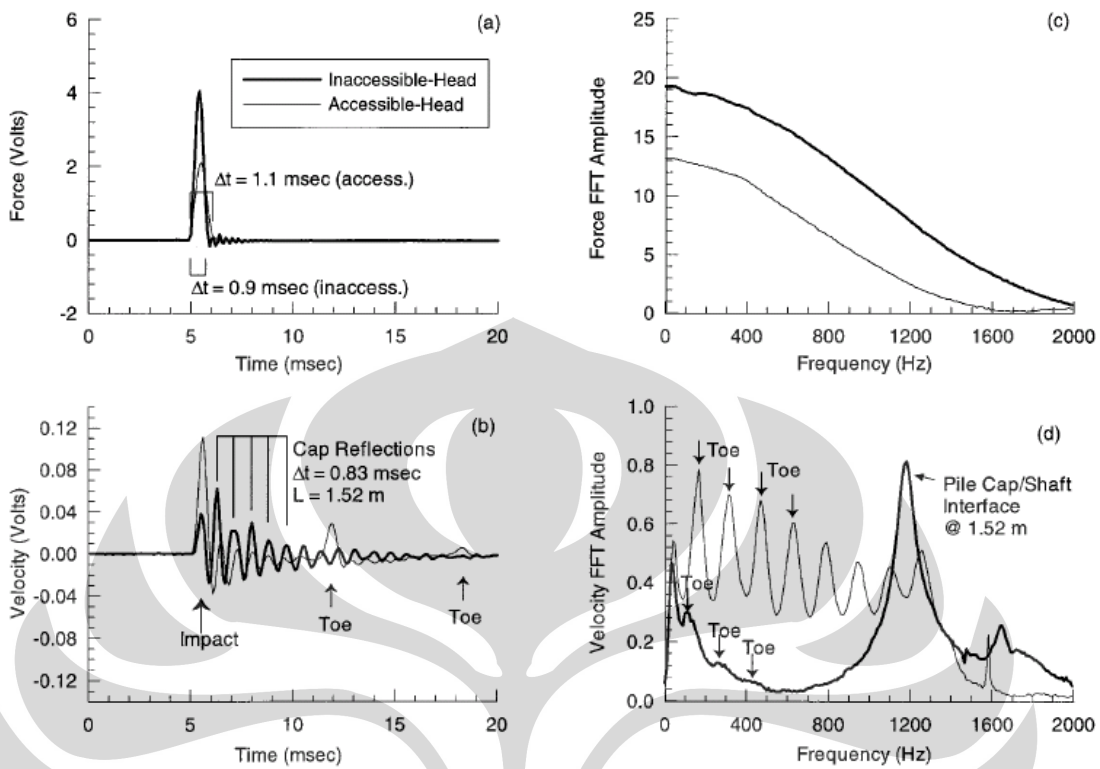
Susunan pengujian untuk tiang dalam kondisi *accessible-head* dan kondisi *inaccessible-head* dapat dilihat seperti Gambar 2.8, dimana menunjukkan pengujian NDE yang terdiri atas lima tiang bor dengan diameter berkisar antara 610 sampai 910 mm dan panjang yang bervariasi dari 12,2 sampai 27,4 m. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari komputer *portable* yang dilengkapi dengan alat perekam data, *impulse hammer*, dan pengukur getaran (*geophone*).



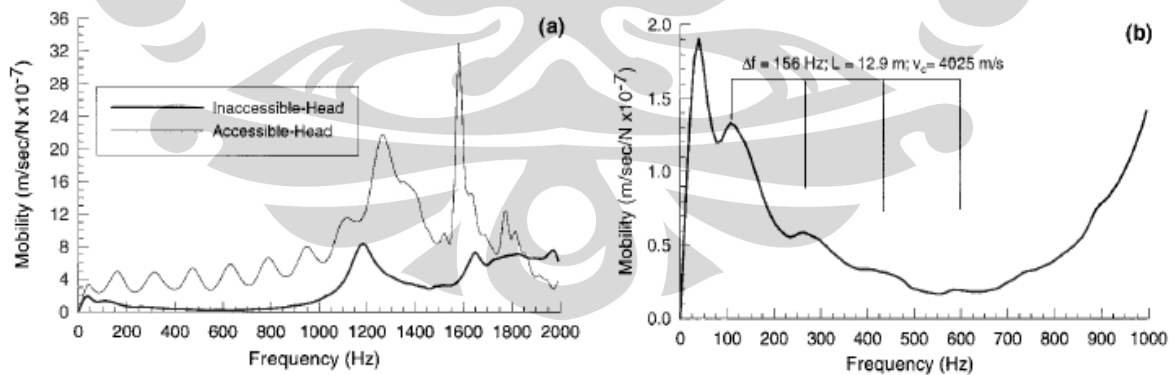
Gambar 2.7 Skema Susunan Peralatan dan Konfigurasi Pengujian "Impulse Response"



Gambar 2.8 Potongan Melintang dari Tiang Bor pada Pengujian NGES



Gambar 2.9 Respon Beban dan Kecepatan untuk Tiang 3 dengan *Pile Cap* : (a) Kurva Waktu vs. Beban; (b) Kurva Waktu vs. Kecepatan; (c) Spektrum Beban; (d) Spektrum Kecepatan



Gambar 2.10 Kurva *Mobility* pada Tiang 3 dengan *Pile Cap* : (a) Menggunakan *Range* Frekuensi sampai 2000 Hz untuk Tiang *Accessible* dan *Inaccessible-head*; (b) Menggunakan *Range* Frekuensi 1000 Hz untuk Tiang *Inaccessible-head*

Hasil untuk pengujian tiang *inaccessible-head* dilakukan pada tiang 3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10. Dimensi *pile cap* yaitu panjang 1,52 m, lebar 1,52 m, dan tinggi 1,52 m. Jarak antara permukaan atas *pile cap* dan permukaan atas tiang adalah 0,72 m; sehingga, panjang total tiang dengan *pile cap* adalah 12,9 m. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9(a), beban pada pengujian *inaccessible-head* memiliki magnitudo yang lebih besar dan waktu kontak yang lebih singkat dibandingkan dengan tiang *accessible-head*. Hasil Fast Fourier Transform (FFT) antara tiang *inaccessible-head* dan tiang *accessible-head* dapat dilihat lebih jelas pada cakupan frekuensi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9(c). Pada pengujian tiang *inaccessible-head* dibutuhkan energi yang lebih besar untuk melakukan penetrasi melalui *cap*, mencapai kaki tiang, dan memantul kembali menuju kepala tiang.

Dari grafik waktu terhadap kecepatan pada Gambar 2.9(b) menunjukkan bahwa pantulan gelombang ujung bawah tiang pada tiang *accessible-head* lebih jelas dan kuat, dan panjang tiang dapat langsung dianalisis. Namun untuk tiang *inaccessible-head*, panjang keseluruhannya tidak dapat ditentukan karena dilihat dari perilaku gelombangnya tidak terdapat perubahan. Hal ini disebabkan gelombang akibat beban telah terpantulkan sebelum waktunya selesai, karena tinggi *pile cap* yang tergolong rendah. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Diketahui tinggi *pile cap* = 1,52 m dan kecepatan rambat gelombang = 3663 m/s, sehingga didapat :

$$\Delta t = \frac{2L}{v_c} = \frac{2 \times 1,52}{3663} = 0,83 \text{ ms}$$

Spektrum kecepatan pada Gambar 2.9(d) dapat menunjukkan puncak-puncak resonansi awal kira-kira dibawah 600 Hz, yang mana pemantulan dari dasar tiang menyebabkan resonansi resolusi rendah pada pengujian *inaccessible-head*. 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, yang disebabkan oleh suatu kombinasi pemantulan yang terjadi pada interface antara dasar kepala tiang (*pile cap*) dan tiang, dan pemantulan yang memantulkan gelombang dari ujung bawah/dasar *pile cap*. Untuk lebih jelasnya,

dapat dianalisa dari grafik mobilitas pada Gambar 2.10. Dari grafik mobilitas tersebut dapat ditentukan panjang total tiang dan pile cap yaitu dengan menentukan beda frekuensi (Δf) 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 suatu kombinasi pemantulan yang terjadi pada *interface* antara dasar kepala tiang (*pile cap*) dan tiang, dan pemantulan yang memantulkan gelombang dari ujung bawah/dasar *pile cap*. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

Diketahui panjang total tiang dan *pile cap* = 12,9 m dan kecepatan rambat gelombang yang digunakan 4025 m/s, sehingga didapat beda frekuensi :

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

Kurva *mobility* untuk tiang *accessible* dan *inaccessible-head* pada Gambar 2.10(a) dan kurva *mobility* untuk tiang *inaccessible-head* dengan *range* frekuensi yang lebih kecil pada Gambar 2.10(b) juga menunjukkan bahwa resonansi untuk tiang *inaccessible-head* secara signifikan lebih kecil daripada *accessible-head*. Hal ini karena sinyal yang merambat melalui *pile cap* menuju tiang sangat kecil, sebagai akibat dari perbedaan impedansi antara *pile cap* dan badan tiang.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan proses penelitian mulai dari proses pengumpulan data di lapangan dengan menggunakan alat *Pile Integrity Test* (PIT) sampai proses pengolahan data-data tersebut dengan bantuan *software* PIT-W.

3.2 Prosedur Pengumpulan Data

3.2.1 Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji pondasi tiang tunggal pada Proyek Pembangunan Gedung Perkuliahan 6 Lantai, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Adapun panjang dari masing-masing pondasi yang diuji bervariasi, yaitu 9 m, 12 m dan 15 m, dengan luas penampang yang sama, yaitu : 25 cm x 25 cm.

3.2.2 Alat dan Bahan

Alat-alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian *Pile Integrity Test* (PIT), yaitu :

- a. Alat PIT *Collector*
- b. *Hammer*
- c. Akselerometer
- d. *Wax* atau lilin perekat

3.2.3 Persiapan Permukaan Atas Tiang

Langkah pertama dan yang paling penting dalam pengumpulan data-data P.I.T adalah mempersiapkan permukaan atas tiang. Dua area harus dipersiapkan, satu area untuk memasang akselerometer dan area yang lainnya untuk lokasi pukulan. Kedua area tersebut harus bebas dari tanah, air dan butiran pasir atau beton. Jika permukaan atas tiang terkontaminasi oleh hal-hal tersebut, maka harus dibersihkan terlebih dahulu sampai tercapai material yang kompeten. Dua lokasi

tersebut sebaiknya dipilih berdekatan dengan pusat tiang dan kira-kira 2 sampai 3 inchi dari garis tengah.

3.2.4 Langkah-Langkah Pengumpulan Data-Data P.I.T

1. Hidupkan alat P.I.T dengan menekan tombol "on" disisi kanan unit. Setelah beberapa saat, akan terlihat logo PDI di tengah "touch screen" atau layar sentuh. Jika layar kosong atau gelap, sesuaikan atau atur tombol kontras yang terletak disebelah kiri unit.
2. Kemudian sentuh layar dengan "pen" sehingga muncul "main menu screen (MM)" atau menu utama pada layar. MM terdiri atas enam (6) area utama. Kecuali untuk area **UNITS**, semua area pada MM mengarahkan *user* ke layar kerja lainnya yang membutuhkan masukan *alphanumeric* atau pilihan program lainnya.
3. Persiapkan permukaan kepala tiang, pasang akselerometer pada tiang yaitu menempelkan akselerometer pada permukaan kepala tiang dengan menggunakan lilin perekat, dan hubungkan akselerometer (dan *hammer* jika menggunakan dua *input channel* F dan A) pada alat P.I.T. Kemudian lanjutkan ke MM.
4. Buat suatu proyek baru (**PROJECT**) dengan mengakses *Alpha-Numeric keyboard* untuk membuat nama proyek tersebut.
5. Pilih mode yang akan digunakan (**MODE**). Ada empat tipe mode yang dapat dipilih, yaitu :
 - ACC** : menampilkan rekaman akselerasi kepala tiang (jarang digunakan)
 - VEL** : hanya menampilkan rekaman kecepatan saja, merupakan pilihan standar untuk pengujian P.I.T. khusus.
 - V+F** : selain menampilkan rekaman kecepatan yang diperoleh dari akselerometer, juga menampilkan rekaman gaya yang dikumpulkan dari alat *hammer*.
 - V+V** : jika dua buah akselerometer digunakan untuk mengumpulkan data-data kecepatan.

Penulis menggunakan mode **V+F**, karena selain menggunakan akselerometer untuk menghasilkan data kecepatan, Penulis juga menggunakan *hammer* untuk menghasilkan data gaya (*force*)

6. Tentukan satuan (**UNITS**), ada tiga pilihan satuan, yaitu SI, ENGLISH, atau METRIC. Dan satuan yang Penulis gunakan adalah satuan standar internasional, yaitu SI.
7. Masukkan data-data informasi tiang yang akan diuji (**HAMMER**).
8. Jika akan merekam data kecepatan saja, maka harus memasukkan informasi dibawah ini pada Parameter Menu :
 - a. **Acc Gain – AG** : *Accelerometer gain* digunakan untuk memperkuat sinyal-sinyal gelombang yang lemah. Menambah akselerometer gain ini diperlukan apabila dampak pukulan hammer terlalu ringan. Batasan penambahan yang disyaratkan adalah 1 sampai 128. Pada saat sedang melakukan pukulan, angka untuk tiap pukulan yang muncul di sebelah kiri layar (*work screen*), mengindikasikan persentase dari skala penuh sinyal *A to D*. Persentase tersebut harus berada diantara nilai 30 sampai 70. Jika persentase pukulan yang dihasilkan kurang dari atau lebih dari batasan nilai yang disyaratkan tersebut, maka nilai AG harus ditingkatkan atau diturunkan menurut atau disesuaikan dengan kekuatan pukulan.
 - b. **Pile Length – LE** : Untuk memasukkan nilai panjang tiang yang digunakan untuk menghitung waktu perjalanan gelombang $2L/C$ dan menempatkan garis waktu T1 dan T2 pada layar analisa (*analysis screen*) dan hasil (*output*). Input panjang tiang (LE) ini juga dapat menentukan waktu akhir dari perbesaran eksponensial (*exponential magnification*). Ketika memasukkan nilai panjang tiang yang baru, sebuah pesan akan muncul untuk memasukkan *magnification delay* (dimulainya perbesaran panjang). Toleransi kesalahannya adalah 20% dari panjang tiang.
 - c. **Wave Speed – WS** : Kecepatan gelombang longitudinal tiang digunakan untuk menghitung waktu perjalanan gelombang $2L/C$ dan jarak pantulan gelombang atau cacat/kerusakan tiang yang diamati. WS khususnya berkisar antara 10,500 sampai 14,500 ft/sec (3,200 sampai 4,420 m/sec). Jika panjang tiang diketahui, WS dapat diukur dengan akurat

menggunakan garis waktu pada layar analisa (*analysis screen*). Jika LE tidak diketahui, WS harus diperkirakan dan biasanya berkisar antara 12,000 sampai 13,000 ft/sec (3,660 sampai 3,960 ft/sec).

9. Jika rekaman data-data gaya (*force*) juga akan diambil, maka informasi tambahan dibawah ini juga harus dimasukkan :
 - a. **Acc Calibration – AC and Force Calibration – FC** : adalah angka-angka kalibrasi akselerometer dalam G's/volt untuk *channel A* dan *F* (*Accelerometer* dan *Force*). Nilai FC perlu dimasukkan apabila rekaman data-data gaya (*force*) juga akan diambil.
 - b. **Hammer Wt – WT** : berat hammer yang digunakan untuk menghitung besarnya gaya tumbukan $F = ma$.
 - c. **Pile Area – AR** : luas penampang atas tiang digunakan untuk menghitung skala *F* dan *V* (*Force dan Velocity*) berdasarkan perbandingan $F = V(EA/c)$.
 - d. **Force Gain – FG** : sama dengan AG tetapi untuk *hammer accelerometer*. Karena pada pengujian ini Penulis mengambil rekaman data-data kecepatan dan juga gaya (*Velocity dan Force*), maka semua parameter menu harus dimasukkan.
10. Kemudian masukkan jumlah pukulan untuk dirata-rata (*Number of Blows - #BL*).
11. Setelah memasukkan semua informasi yang dibutuhkan, tekan tombol **OK** untuk mengakses atau melanjutkan layar kerja (*work screen*).
12. Pukul permukaan kepala tiang dengan pukulan *hammer* yang konsisten. Ketika jumlah pukulan yang didefinisikan sesuai dengan **#BL** telah terpenuhi, kata **COMPLETE** akan muncul diatas layar.
13. Cek kualitas data sebelum dianalisa :
 - a. Semua rekaman data seharusnya sama dan konsisten dengan *single impact peak* di awal pukulan. *Impact peaks* seharusnya dimulai pada waktu yang sama dan *magnitude* nya sama. Semua rekaman data gelombang seharusnya mempunyai bentuk yang sama setelah *impact peak*.

- b. Persentase skala sinyal *A to D* di sebelah kiri layar sebaiknya diantara 30 dan 70, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Jika tidak, **AG** harus disesuaikan.
 - c. Jika hasil beberapa pukulan tidak baik, tekan **CLR** dan ulang dari awal.
 - d. Untuk mengabaikan beberapa pukulan dari pukulan rata-rata, tekan tombol **Y/N** di sebelah kiri layar kerja (*work screen*). Gunakan tombol \uparrow atau \downarrow untuk menentukan pukulan yang akan diabaikan kemudian gunakan tombol **Y/N** untuk mengabaikan pukulan tersebut atau tidak.
14. Langkah selanjutnya adalah menganalisa atau merata-ratakan pukulan-pukulan tersebut. Tekan tombol **OK** sehingga rata-rata dari pukulan-pukulan yang telah dipilih akan tersimpan permanen dalam memori dan rekaman tersebut akan ditampilkan pada layar analisa (*analysis screen*).
- Ada beberapa pilihan parameter pada layar analisa (*analysis screen*), yaitu :
- a. **MA** : *Exponential magnification* (faktor pembesaran eksponensial) digunakan untuk memperbesar sinyal gelombang pada ujung bawah tiang pada saat waktu T_2 . Nilai MA sebaiknya diatur antara 1 sampai 30 sehingga amplitudo pantulan pada ujung bawah tiang berkisar antara pertengahan sampai amplitudo tumbukan penuh. Jika memungkinkan, dianjurkan menggunakan faktor pembesaran yang sama untuk semua panjang tiang yang sama pada lokasi yang telah ditentukan. Hal ini dapat diatur di *Enhancement Menu* pada *Data Collect Screen*.
 - b. **WS** : Kecepatan gelombang (*Wavespeed*) sebelumnya telah dimasukkan pada menu utama (*Main Menu – MM*). Setelah pembesaran dilakukan dan **LE** telah diketahui dengan pasti, maka kecepatan gelombang dapat diubah pada layar analisa (*analyze screen*). Hal ini dapat diatur pada *Parameter Menu*.
 - c. **LE** : Jika panjang tiang pada awalnya tidak diketahui dan kecepatan gelombang diketahui dengan pasti, panjang tiang dapat disesuaikan dengan waktu terjadinya pantulan ujung bawah tiang. Hal ini dapat diatur pada *Parameter Menu*.
 - Setelah memasukkan panjang tiang yang baru, disarankan untuk memasukkan *magnification delay (MD)* panjang tiang yang mana

exponential magnification (faktor pembesaran eksponensial) dimulai pada saat jarak (Waktu) setelah T1. Toleransi kesalahan nilai adalah 20% dari LE.

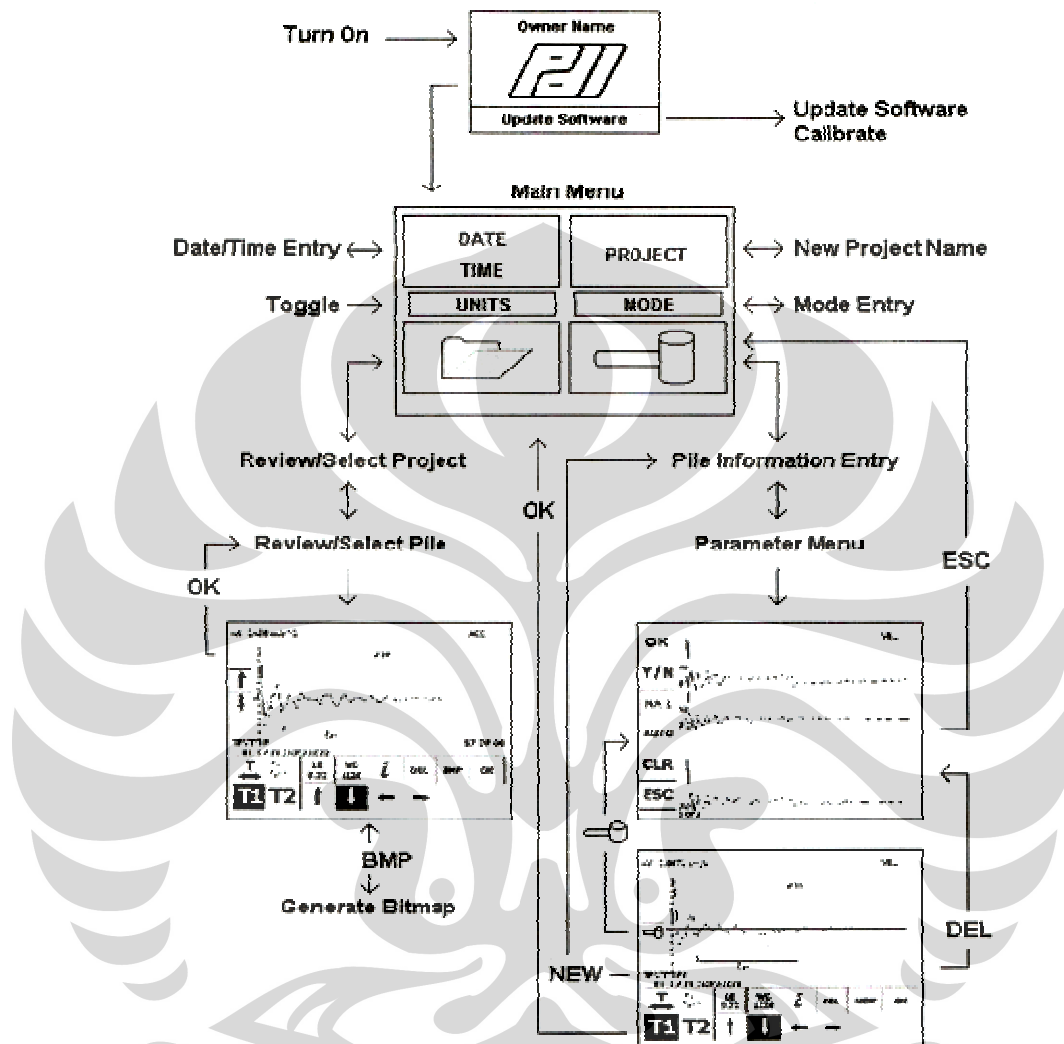
- d. **MD** : *Magnification delay* telah dimasukkan pada saat LE tiang ditentukan.
- e. **LO** : Nilai peningkatan sinyal gelombang yang memberikan penampilan gelombang yang lebih halus. Hal tersebut dapat diatur di *Enhancement Menu* pada *Data Collect screen*.
- f. **HI** : Nilai peningkatan sinyal gelombang yang memberikan penampilan gelombang yang lebih lurus. Hal ini dapat diatur di *Enhancement Menu* pada *Data Collect screen*.
- g. **WT** : Berat *hammer*. Diperlukan apabila data-data gaya (*force*) juga direkam. Hal ini dapat diatur pada *Parameter Menu*.
- h. **DEL** : Kembali ke *Data Collect screen* tanpa menyimpan rekaman data yang baru diambil.
- i. **OK** : Kembali ke menu utama (*Main Menu*) untuk memasukkan informasi yang dibutuhkan pada tes atau pengujian selanjutnya.
- j. **SIGNAL MENU** : Mengubah fungsi yang ada.
- k. **PRIMARY MENU** : Mengembalikan fungsi yang ada ke *default state*.
- l. **T1/T2, ↑, ↓, ←, →** : Memperbolehkan *user* untuk menyesuaikan atau mengatur garis waktu T1 dan T2 yang digunakan untuk menghitung kecepatan dan panjang gelombang. Hal dapat diatur di *Primary Menu* pada layar analisa data (*Data Analyze screen*).
- m. **PIVOT, ↑, ↓** : Memperbolehkan *user* untuk merotasikan rekaman data naik atau turun. Hal ini dapat diatur di *Signal Menu* pada *Data Analyze screen*.
- n. **WL** : Memperbolehkan *user* untuk mengaplikasikan analisa *wavelet* untuk menghasilkan kurva yang halus. Hal ini dapat diatur di *Signal Menu* pada *Data Analyze screen*.
- o. **HAMMER** : Tekan tombol ini untuk kembali ke *Data Collection*. HAMMER hanya dapat diaplikasikan ketika *Data Analyze screen* telah dicapai dari *Data Collect screen*.

- p. ↑, ↓ (berada disebelah sinyal gelombang) : Digunakan untuk menampilkan rekaman data yang sebelum dan sesudahnya pada file yang ada. Tombol ini hanya dapat diaplikasikan ketika *Data Analyze screen* telah dicapai dari *Review/Select Pile screen*.
15. Untuk memproses ulang data dari memori, sentuh **FOLDER** pada **MM**. Setelah menentukan proyek yang diinginkan, tekan OK. Kemudian pilih tiang yang diinginkan. Tekan OK. *Data Analyze screen* akan ditampilkan.

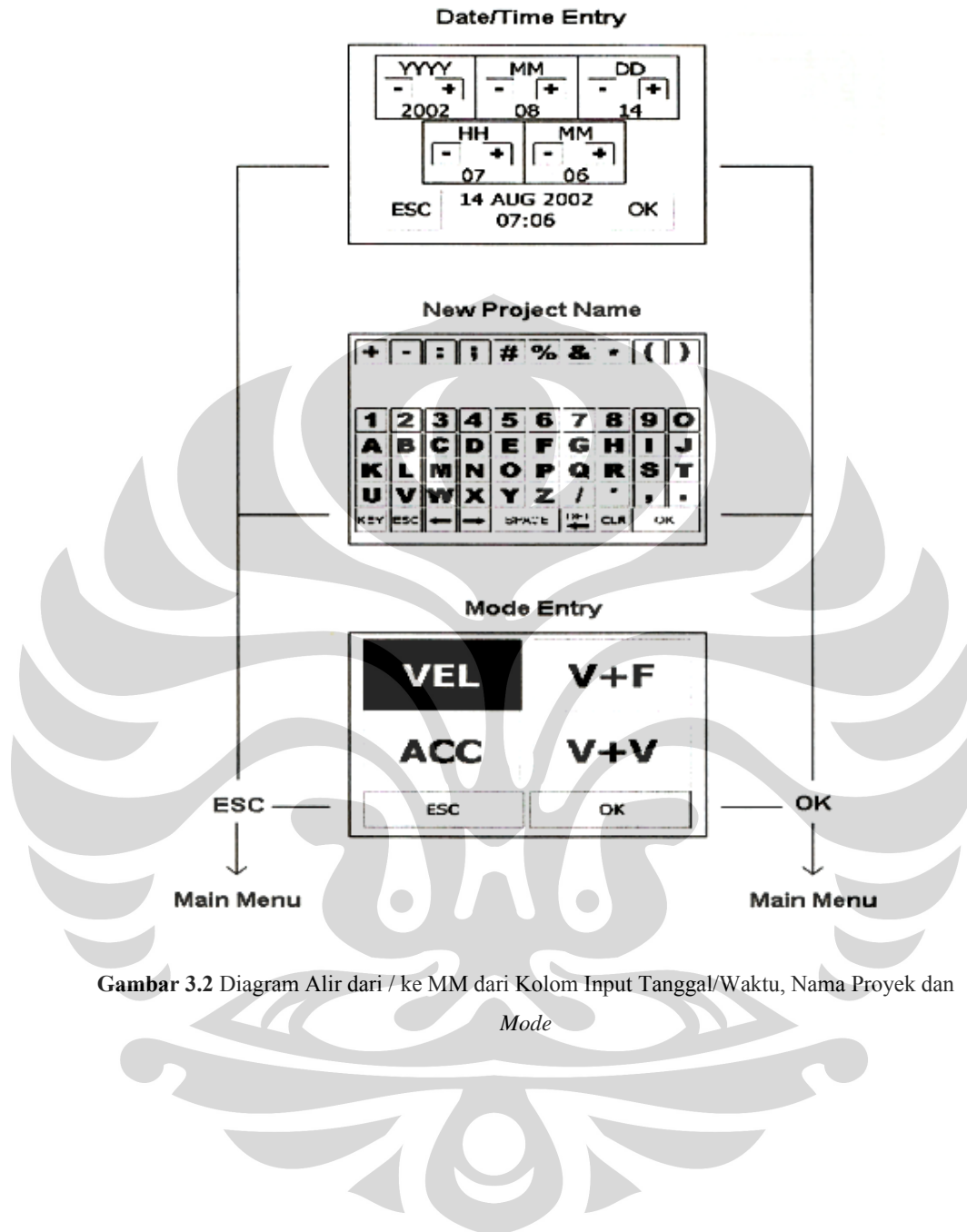
3.3 Proses Pengolahan Data

Data-data sinyal gelombang yang telah dikumpulkan melalui pengujian di lapangan dengan alat P.I.T., akan disimpan dalam media PCMCIA *card*. Rekaman data-data ini nantinya dapat di *download* atau di *import* ke dalam PC dari PCMCIA *card* dengan menggunakan *flashcard reader* melalui USB *port*. Kemudian rekaman data-data tersebut dianalisa dengan bantuan *software* PIT-W untuk mengintegrasikan numerik data-data percepatan menjadi kecepatan, yang dapat diinterpretasikan berdasarkan analisis *time domain* (*Pulse Echo/Sonic Echo*) atau berdasarkan analisis *frequency domain* (*Transient Response Procedure*).

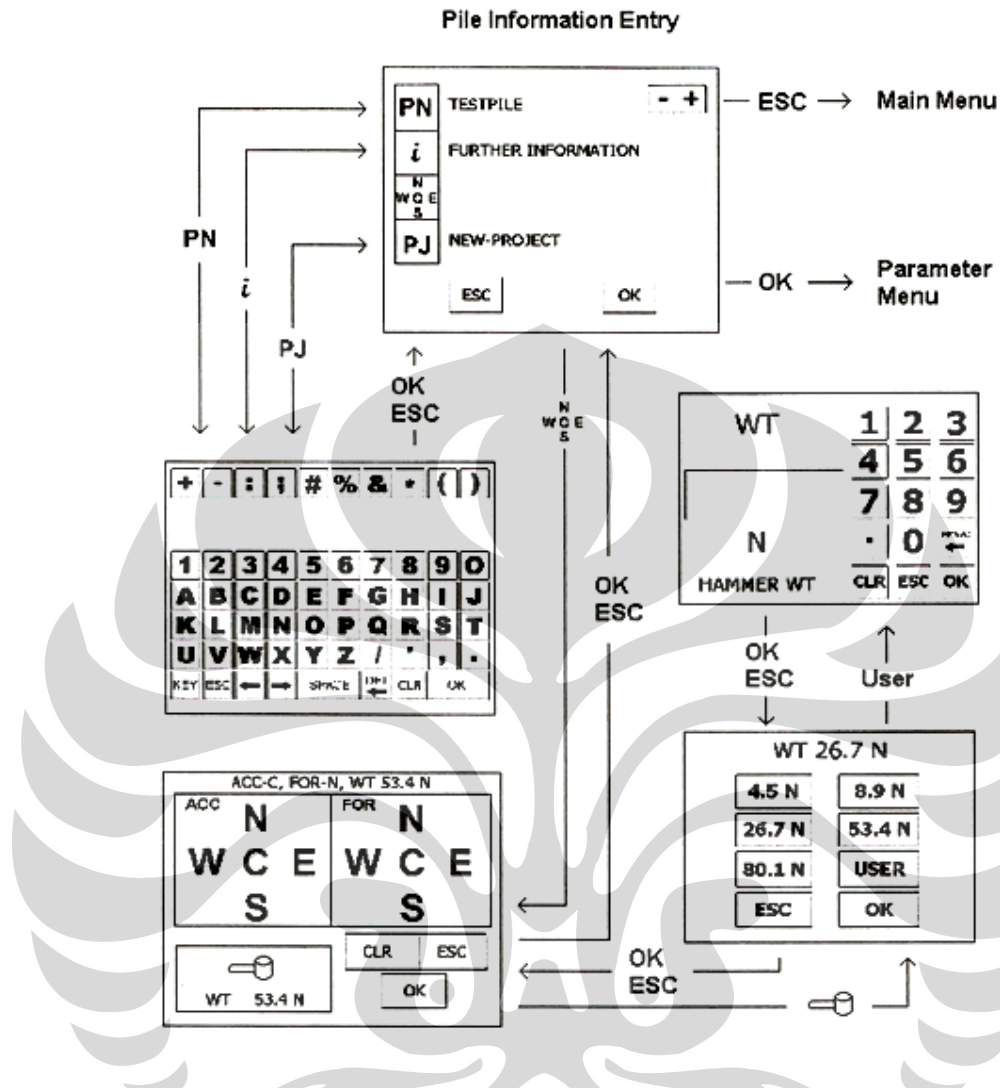
3.4 Skema Prosedur Pengumpulan Data



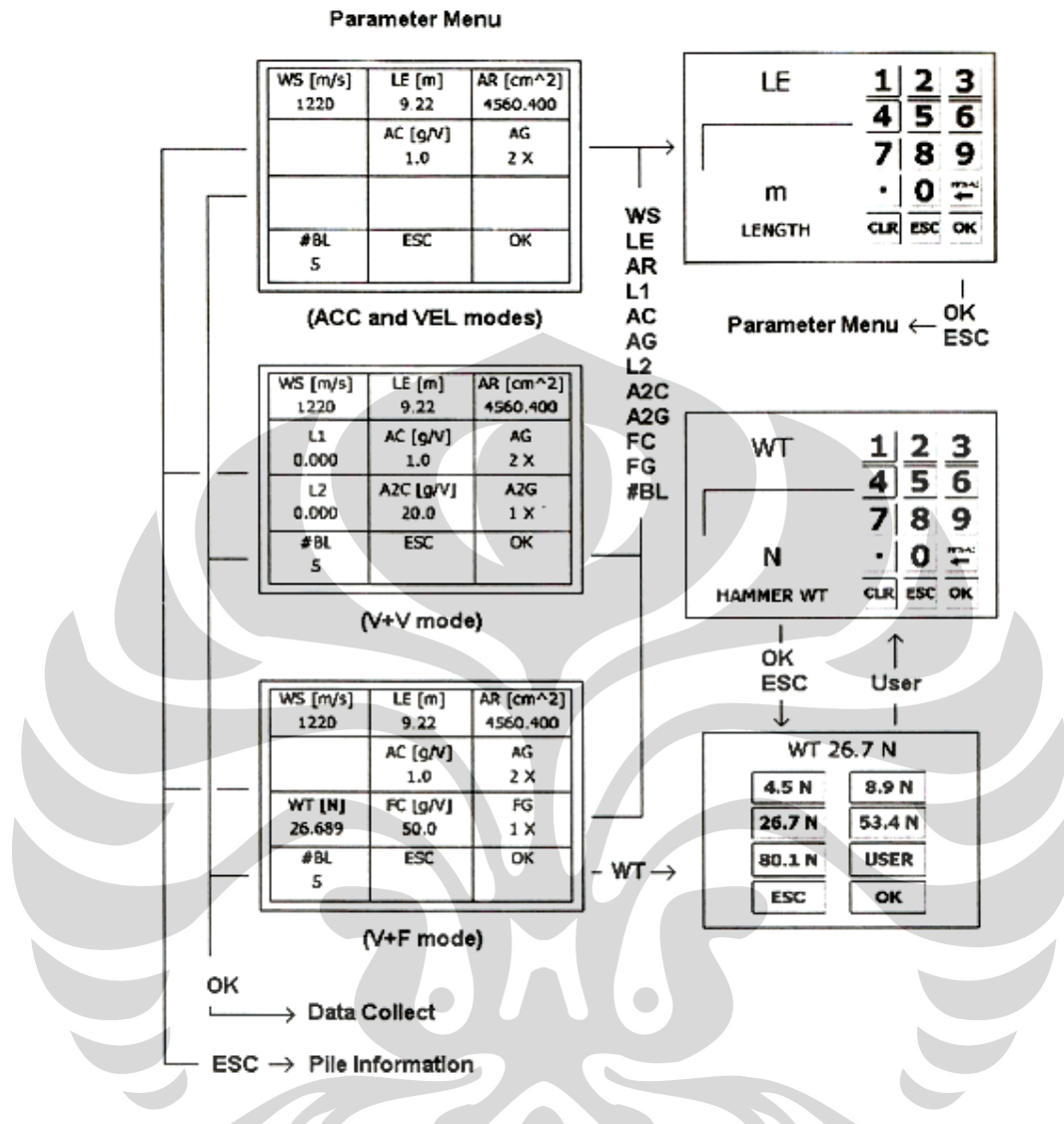
Gambar 3.1 Diagram Alir dari MM ke Layar Pengumpul Data dan Layar Analisa Data



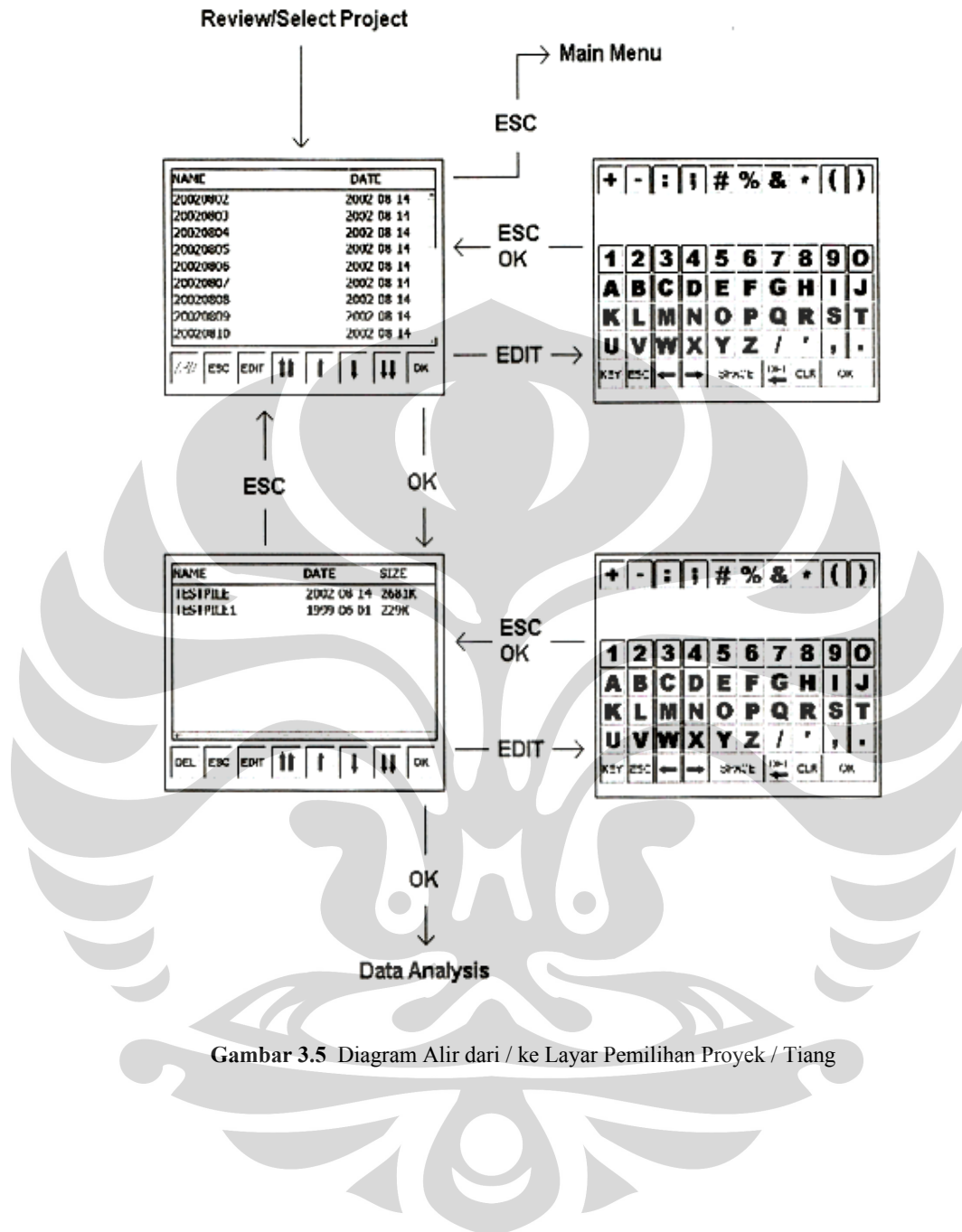
Gambar 3.2 Diagram Alir dari / ke MM dari Kolom Input Tanggal/Waktu, Nama Proyek dan *Mode*



Gambar 3.3 Diagram Alir dari / ke Layar Pile Information Entry



Gambar 3.4 Diagram Alir dari / ke Layar Parameter Menu



Gambar 3.5 Diagram Alir dari / ke Layar Pemilihan Proyek / Tiang

BAB 4 ANALISA HASIL

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa hasil pengujian P.I.T (*Pile Integrity Test*) pada pondasi tiang pancang tanpa *pile cap*. Data-data rekaman alat P.I.T diproses dengan menggunakan *software* PIT-W, kemudian diekspor ke *excel* sehingga menghasilkan grafik-grafik yang akan dianalisa, yaitu berupa grafik *time domain* yang terdiri dari grafik kecepatan terhadap waktu dan grafik *frequency domain* yang diubah dari grafik *time domain* dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) berupa grafik *mobility*.

4.1 Kondisi Geometrik Tiang

Pengujian P.I.T ini dilakukan pada 2 grup tiang (grup A4 dan grup A5) yang terdiri dari 18 buah pondasi tiang pancang dengan panjang masing-masing tiang yang bervariasi, yaitu 9 m, 12 m dan 15 m, dengan luas penampang yang sama, yaitu 25 cm × 25 cm. Pada masing-masing tiang dipasang sambungan dengan letak sambungan yang berbeda-beda untuk tiap panjang tiang yang berbeda. Sambungan tiang tersebut merupakan sambungan yang sederhana, terdiri dari dua plat baja yang dipasang pada kedua sisi permukaan tiang yang akan disambung, kemudian kedua plat baja tersebut dilas dengan las asyelin untuk merekatkan kedua plat, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

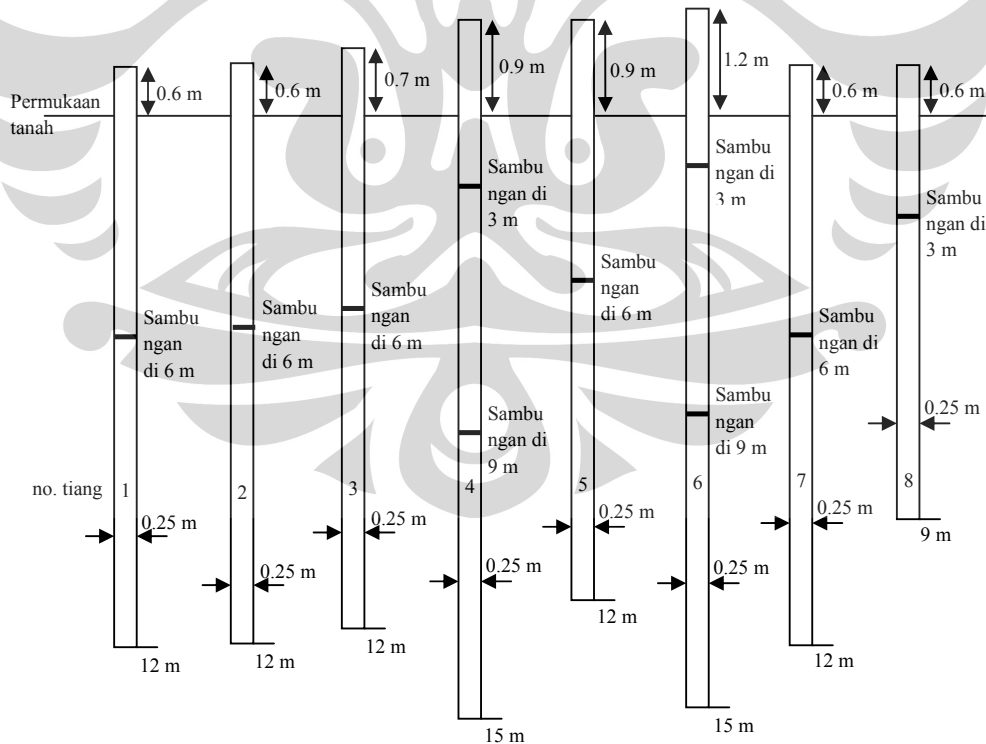


Gambar 4.1 Sambungan pada Tiang

Untuk tiang dengan panjang 9 m, sambungan dipasang pada titik 3 m, dan untuk tiang dengan panjang 12 m, sambungan dipasang pada titik 6 m. Sedangkan untuk tiang dengan panjang 15 m, sambungan dipasang di dua lokasi yang berbeda, yaitu pada titik 3 m dan 9 m. Pada masing-masing tiang tersebut dilakukan pukulan *hammer* sebanyak 6 kali diatas permukaan tiang, sehingga menghasilkan 108 grafik *time domain* dan 108 grafik *frequency domain*. Tiang-tiang tersebut dikelompokkan berdasarkan grup tiang di lapangan.

4.1.1 Grup Tiang A5

Grup tiang A5 ini terdiri dari 8 buah tiang yaitu 1 tiang dengan panjang 9 m, 5 tiang dengan panjang 12 m dan 2 buah tiang dengan panjang 15 m. Tiang-tiang yang telah terpancang tersebut, badan tiangnya tidak sepenuhnya tertanam dalam tanah melainkan memiliki sisa tiang yang muncul di atas permukaan tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar potongan melintang tiang pada grup tiang A5 seperti berikut.



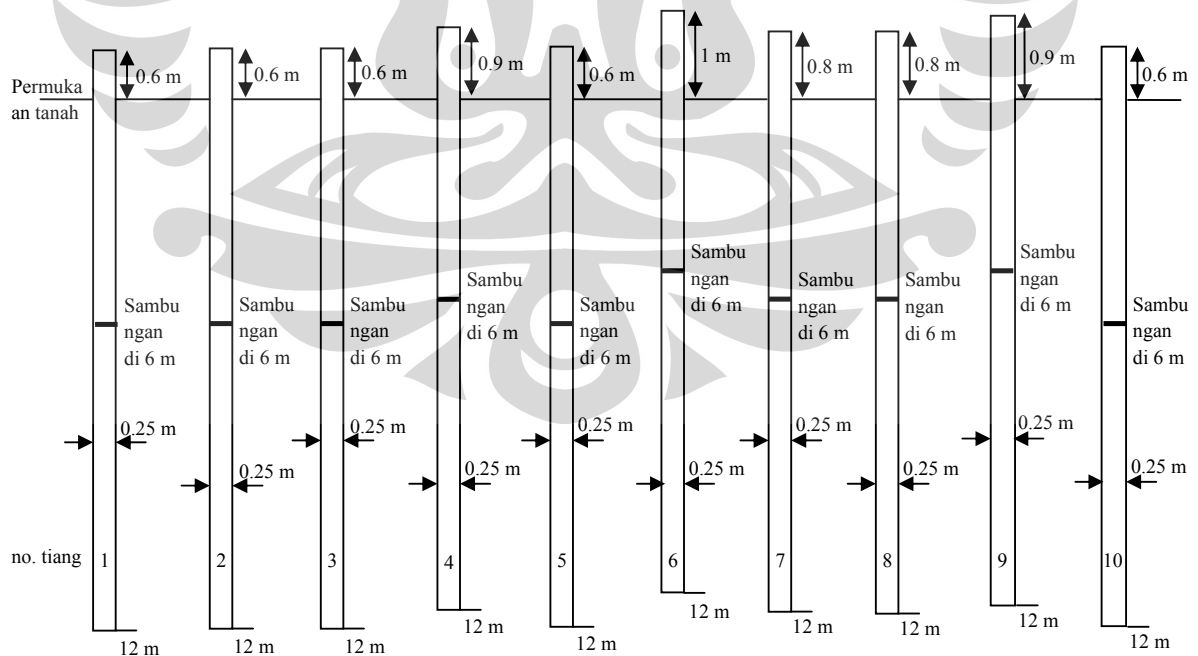
Gambar 4.2 Potongan Melintang Tiang pada Grup Tiang A5



Gambar 4.3 Grup Tiang A5

4.1.2 Grup Tiang A4

Grup tiang A4 ini terdiri dari 10 buah tiang dengan panjang masing-masing tiang yaitu 12 m. Seperti halnya dengan grup tiang A5, tiang-tiang pada grup A4 juga tidak sepenuhnya tertanam dalam tanah melainkan memiliki sisa tiang yang muncul di atas permukaan tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar potongan melintang tiang pada grup tiang A4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Potongan Melintang Tiang pada Grup Tiang A4



Gambar 4.5 Grup Tiang A4

4.2 Interpretasi Hasil Percobaan

Interpretasi yang dilakukan adalah mencari panjang tiang yang telah dipancang didalam tanah melalui grafik *time domain* dan grafik *frequency domain*, dengan kecepatan rambat gelombang yang diasumsikan sebesar 4000 m/s berdasarkan syarat kecepatan rambat gelombang pada beton yang berkualitas baik, yaitu berkisar antara 3500 – 4500 m/s. Panjang tiang yang dihasilkan dari perhitungan secara teoritis ini akan dibandingkan dengan panjang tiang yang sebenarnya di lapangan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam menginterpretasikan hasil percobaan ini, Penulis menggunakan dua metode, yaitu metode *time domain* dan metode *frequency domain*.

4.2.1 Metode Time Domain

Metode *time domain* merupakan metode yang paling sederhana, yang mana data-data akselerasi atau percepatan dari sinyal gelombang yang ditangkap oleh akselerometer yang dipasang pada kepala tiang, diintegrasikan dalam bentuk kurva kecepatan sebagai suatu fungsi waktu. Pada grafik *time domain*, ordinat atau sumbu y mengindikasikan kecepatan partikel-partikel pada kepala tiang, sedangkan absis atau sumbu x menunjukkan waktu yang dilalui. Secara teoritis, untuk mendapatkan panjang tiang pada grafik waktu terhadap kecepatan, ditentukan dari waktu yang dibutuhkan gelombang untuk mengalami bolak-balik

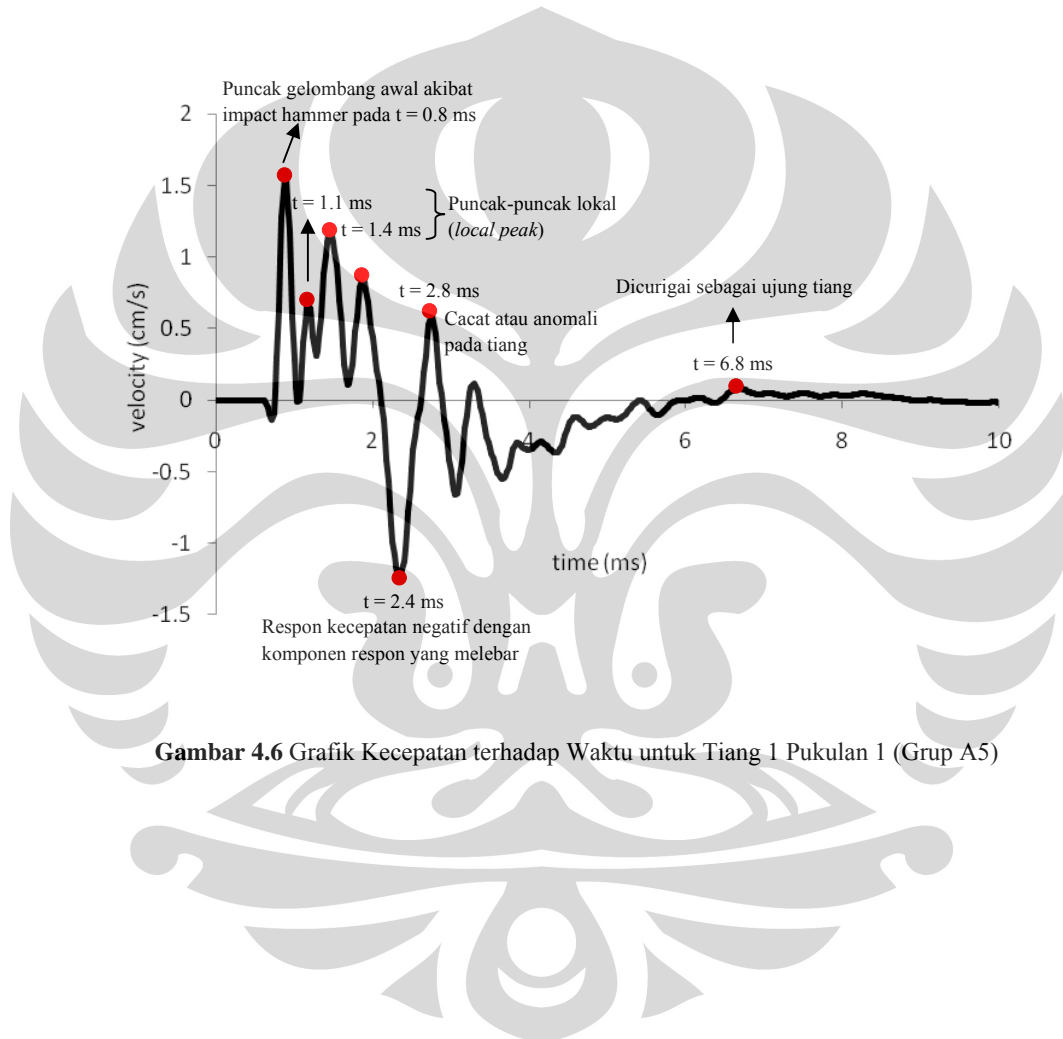
menuju kembali ke kepala tiang. Beda waktu (Δt) tersebut ditentukan melalui puncak-puncak gelombang pada grafik kecepatan terhadap waktu. Perjalanan gelombang dari kepala tiang yang kemudian dipantulkan kembali ke atas dari ujung tiang akan mengalami perubahan energi karena selama perjalanan gelombang menuju ke ujung tiang, sistem getaran secara perlahan akan kehilangan energinya akibat efek “*dampen*”. Pada grafik kecepatan terhadap waktu, perubahan energi ini ditandai dengan gelombang yang semakin mengecil atau menurun kemudian akibat pantulan ujung tiang atau kelainan pada tiang, gelombang akan mengalami tegangan yang mengakibatkan terjadinya puncak gelombang atau *local peaks*. Untuk mengetahui panjang tiang secara teoritis dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut : $(L) = \frac{\Delta t \times v_c}{2}$. Dimana L = panjang tiang, v_c = kecepatan rambat gelombang pada beton, yang diasumsikan 4000 m/s berdasarkan kecepatan rambat gelombang pada beton yang berkualitas baik. Dan Δt = beda waktu, yaitu waktu perjalanan gelombang dari kepala tiang sampai ke ujung tiang.

Berikut hasil grafik *time domain* yang telah diproses dengan bantuan *software* PIT-W dan *Excel*.

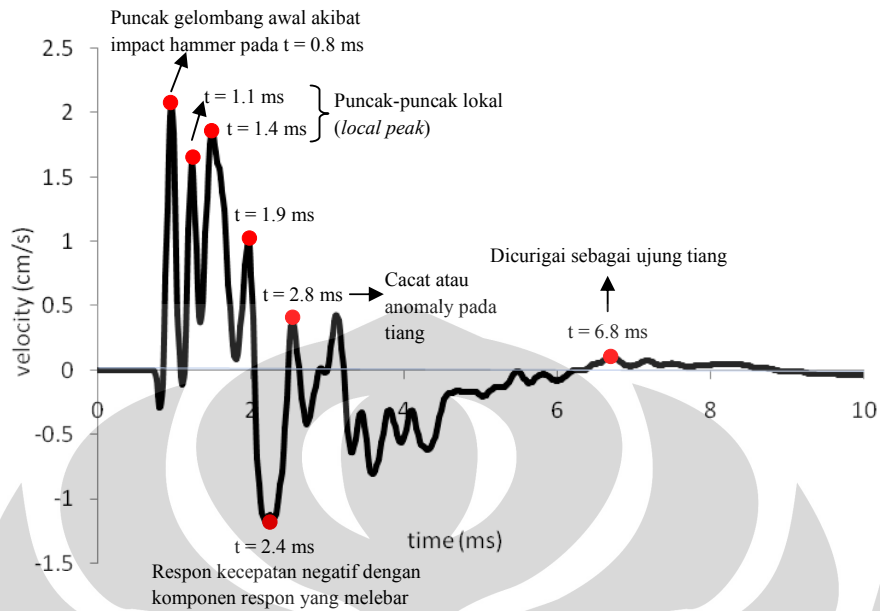
4.2.1.1 Grup Tiang A5

4.2.1.1.1 Tiang 1

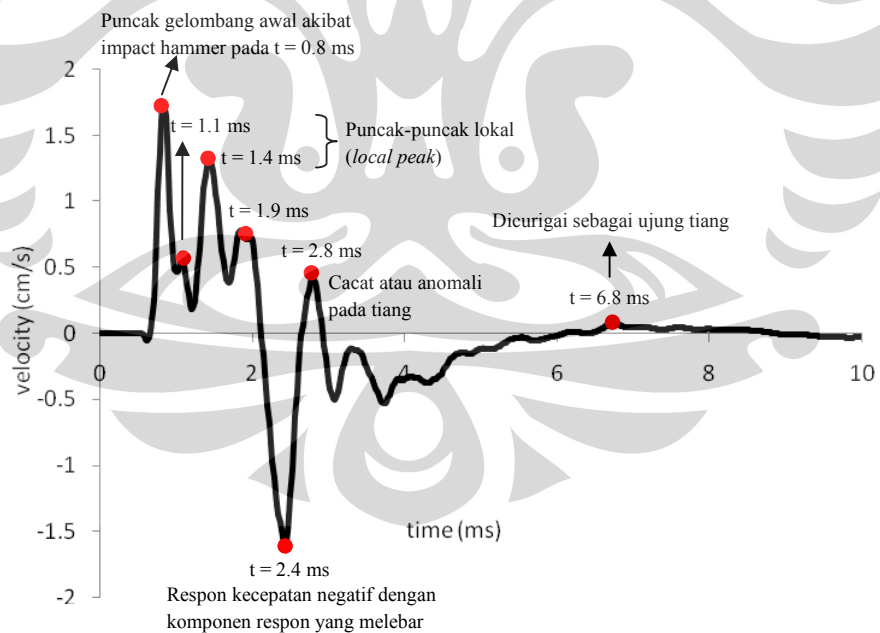
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



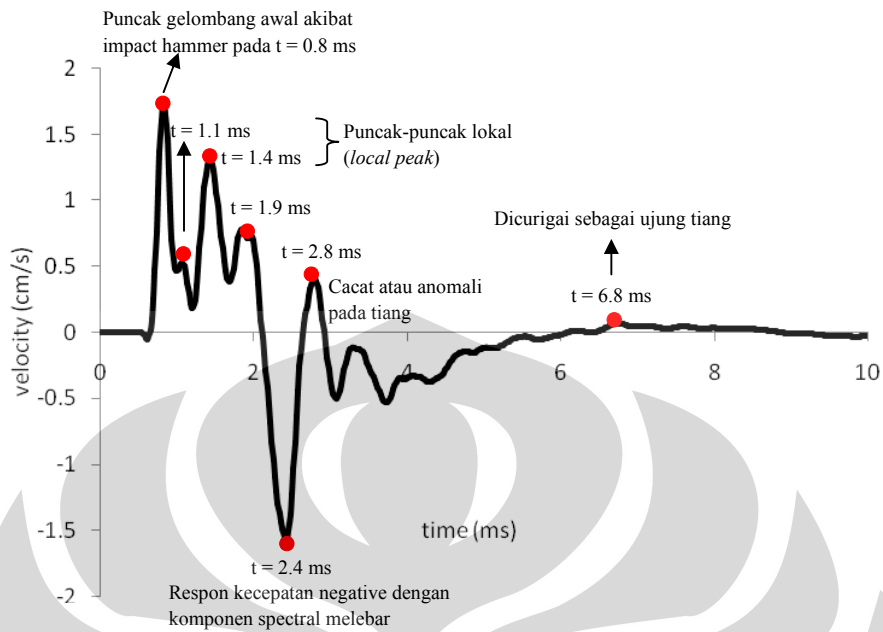
Gambar 4.6 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 1 (Grup A5)



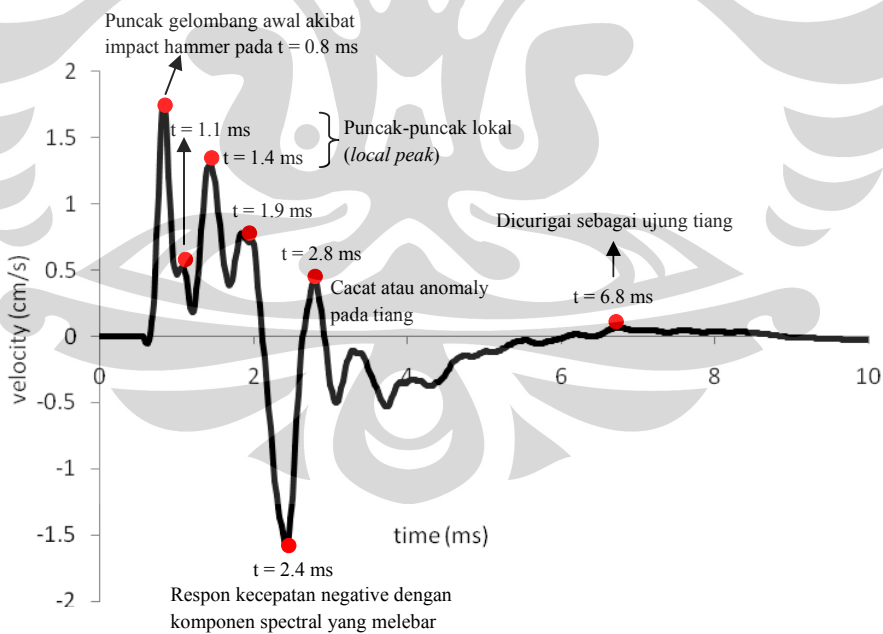
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 2 (Grup A5)



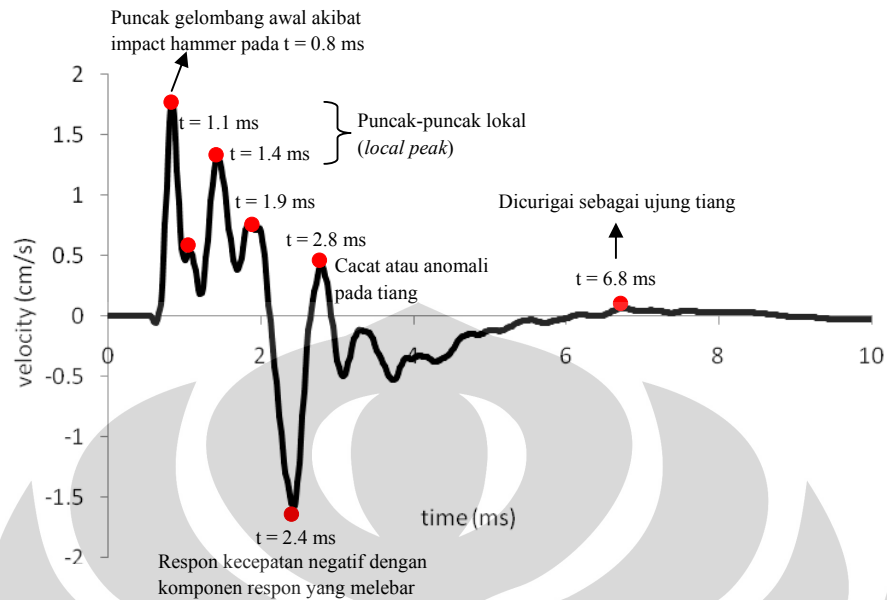
Gambar 4.8 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.9 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.10 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 5 (Grup A5)



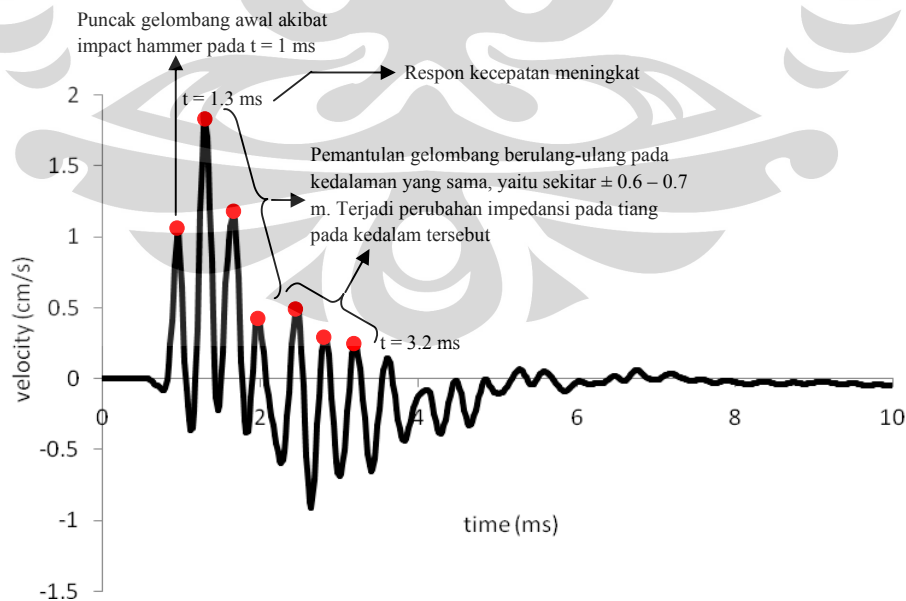
Gambar 4.11 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 6 (Grup A5)

Gambar 4.6 – 4.11 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 1 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 1 tersebut menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.6 – 4.11 tersebut dapat dilihat bagaimana spectrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 0.8$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terlihat adanya puncak-puncak lokal (*local peak*) yang terjadi pada $t = 1.1$ ms dan $t = 1.4$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) antar puncak-puncak gelombang sejak *impact hammer* dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman ± 0.6 m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah berkisar ± 0.6 m, maka dapat disimpulkan bahwa puncak-puncak lokal tersebut memantul sepanjang sisa tiang diatas permukaan tanah tersebut. Fenomena yang menarik terjadi diantara $t = 1.9$ ms dan $t = 2.8$ ms, dimana respon kecepatan berubah dari positif ke negatif kemudian menjadi positif dengan komponen spektral yang melebar. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 2 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 4 m dari atas tiang. Penulis tidak

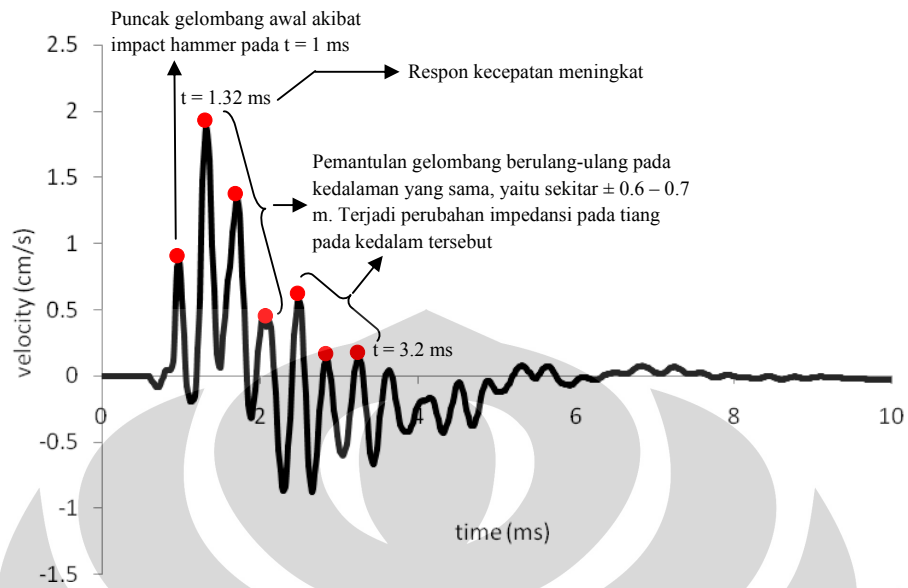
dapat mengidentifikasi dengan jelas karakteristik yang terjadi pada lokasi tersebut, apakah terdapat cacat atau terjadi suatu anomali pada tiang. Hal ini juga tidak berhubungan dengan sambungan, karena sambungan berada pada titik 6 m dari atas tiang. Saat sinyal gelombang terus merambat, sistem vibrasi secara berangsur-angsur kehilangan energinya, sampai pada sekitar $t = 6.8$ ms kembali terjadi tegangan pada gelombang akibat pantulan sesuatu pada tiang, meskipun puncak gelombang yang terjadi sangat kecil akibat dari energi yang semakin berkurang sehingga menghasilkan respon sinyal yang lemah. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 5.9 ms, sehingga diketahui pantulan tersebut terjadi pada kedalaman 11.83 m dari atas tiang. Kemungkinan titik 11.83 m ini merupakan pantulan dari kaki tiang karena selama rambatan gelombang selanjutnya tidak terjadi tegangan pada gelombang yang menandakan suatu pantulan.

4.2.1.1.2 Tiang 2

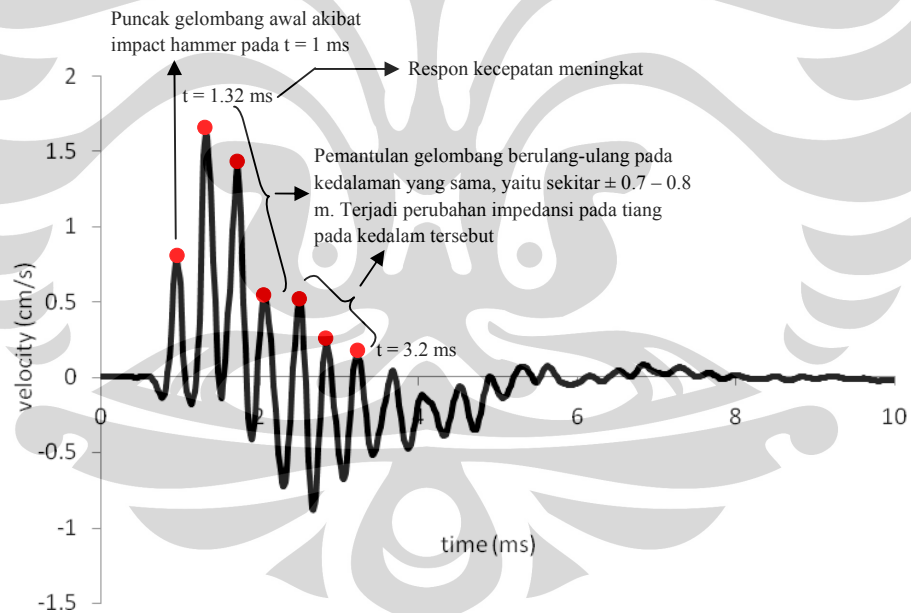
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



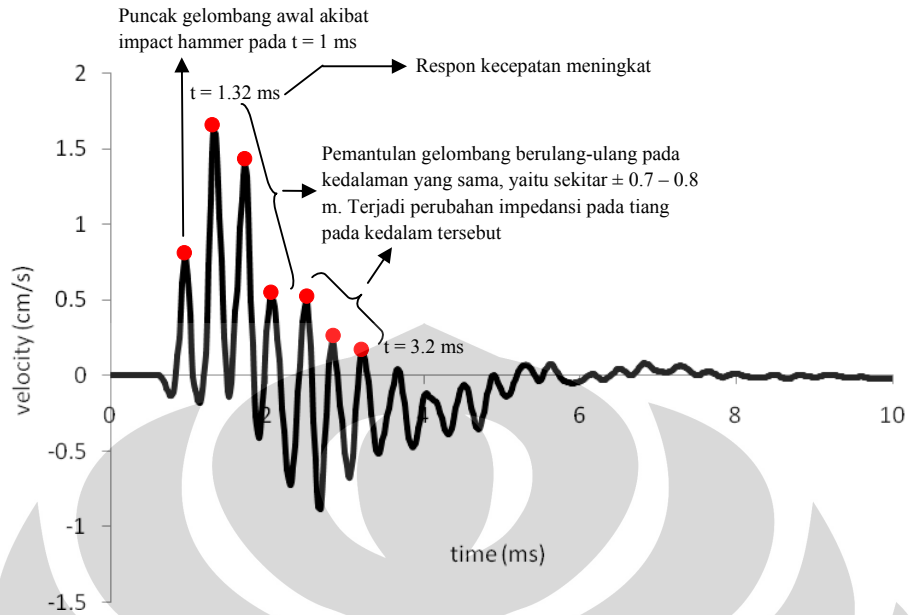
Gambar 4.12 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 1 (Grup A5)



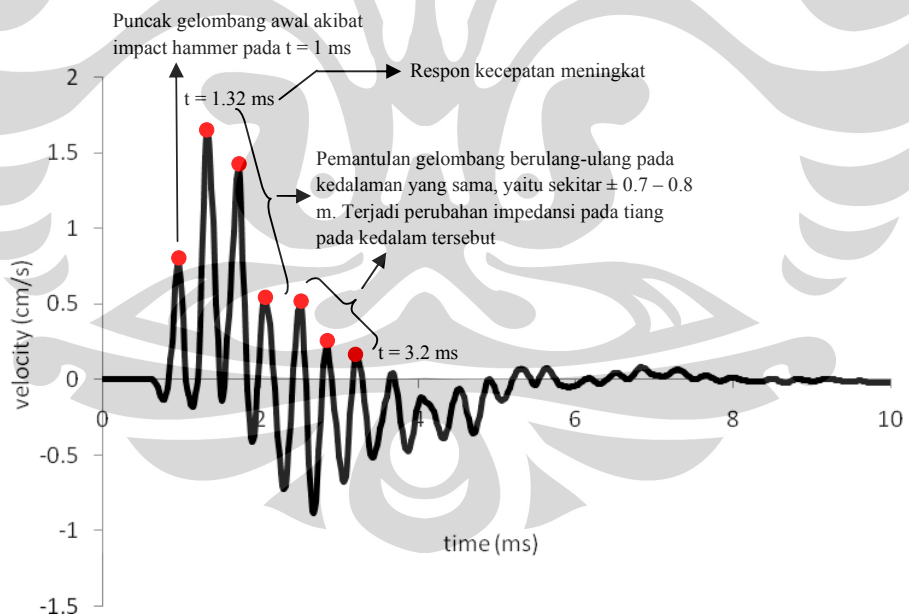
Gambar 4.13 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 2 (Grup A5)



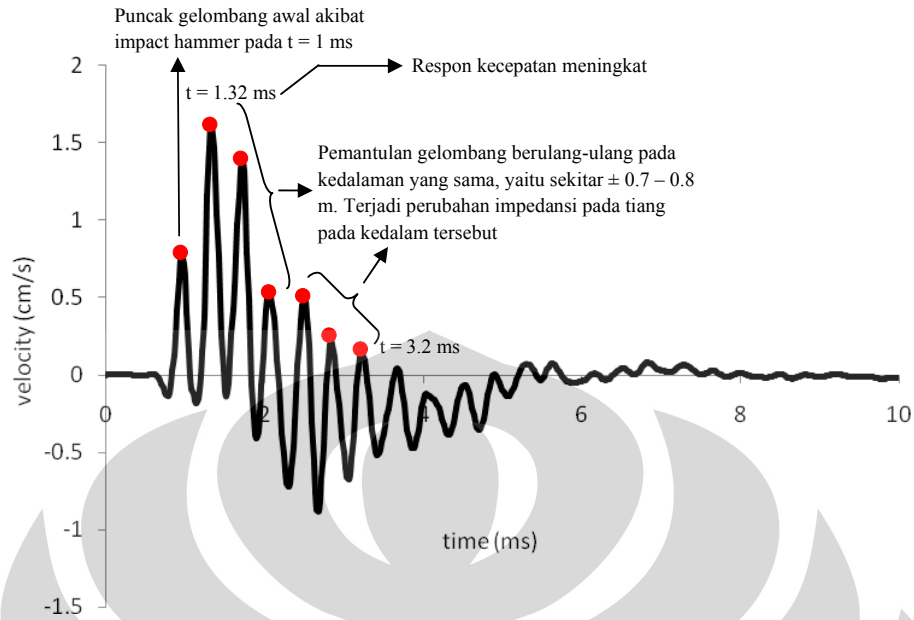
Gambar 4.14 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.15 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.16 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 5 (Grup A5)



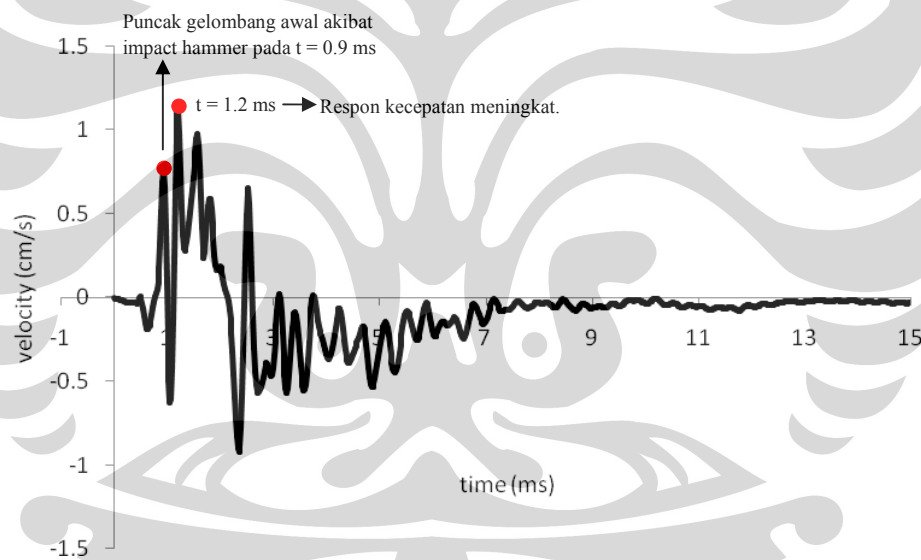
Gambar 4.17 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 6 (Grup A5)

Gambar 4.12 – 4.17 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 2 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 2 tersebut menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.12 – 4.17 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.32$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.32 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 0.64 m dari atas tiang. Setelah respon kecepatan yang meningkat pada $t = 1.32$ ms, terjadi pantulan gelombang yang berulang-ulang sampai $t = 3.2$ ms, dengan respon kecepatan yang semakin menurun. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antara puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.6 - 0.7$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah berkisar ± 0.6 m, maka pantulan gelombang yang berulang-ulang pada titik tersebut dapat

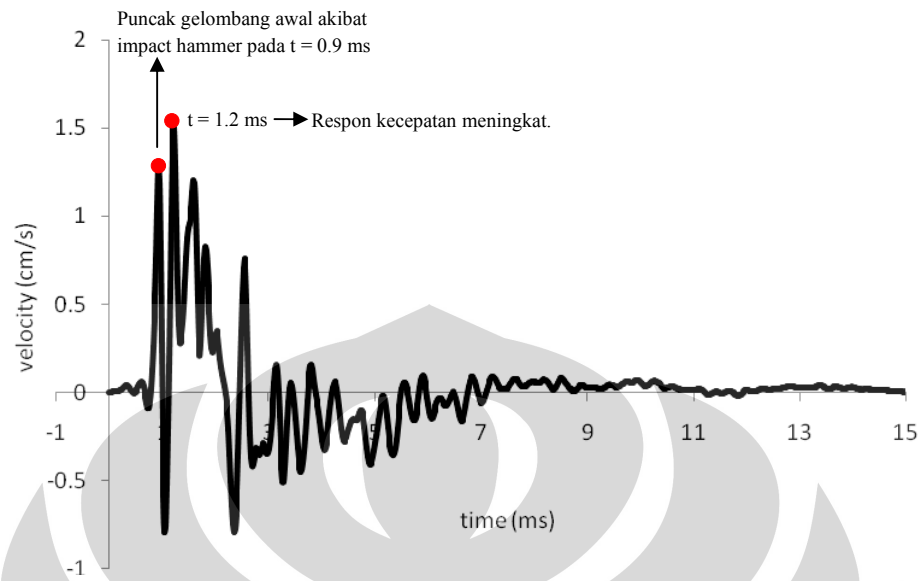
mengindikasikan pemantulan terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.1.3 Tiang 3

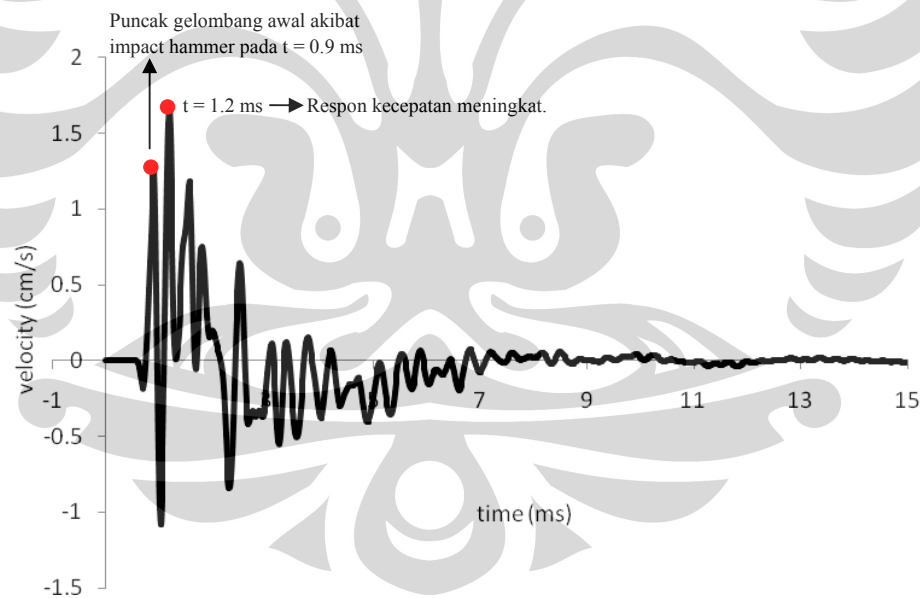
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.7 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



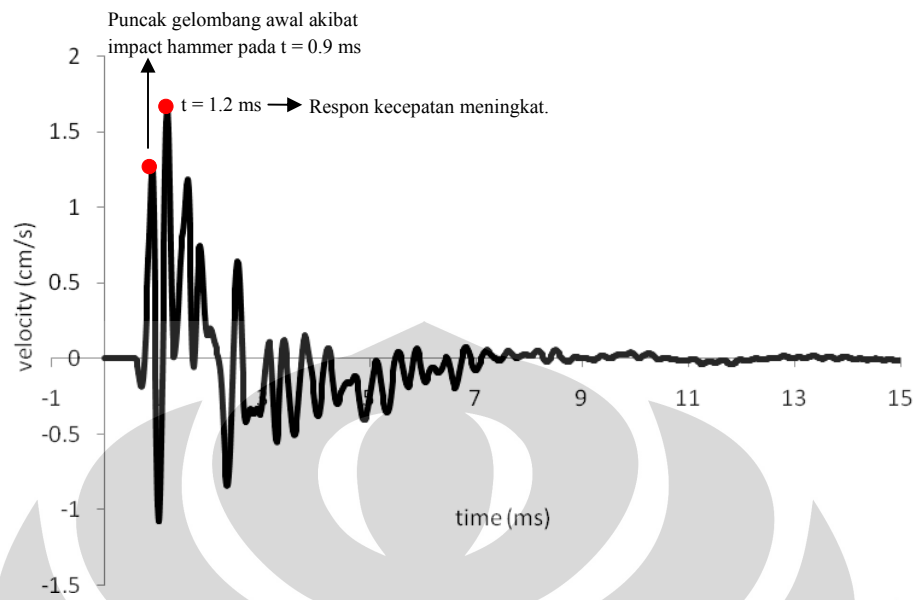
Gambar 4.18 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 1 (Grup A5)



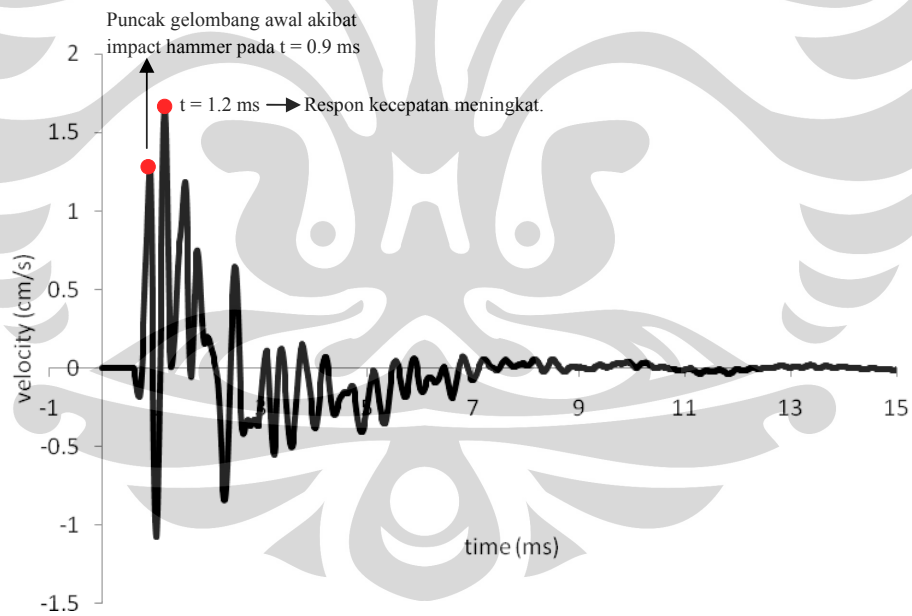
Gambar 4.19 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 2 (Grup A5)



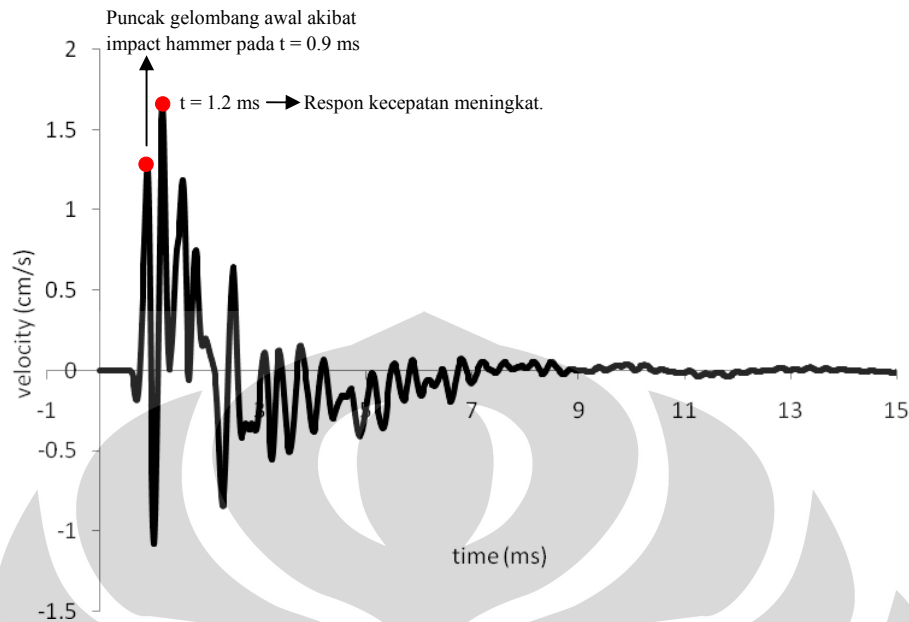
Gambar 4.20 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.21 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.22 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 5 (Grup A5)

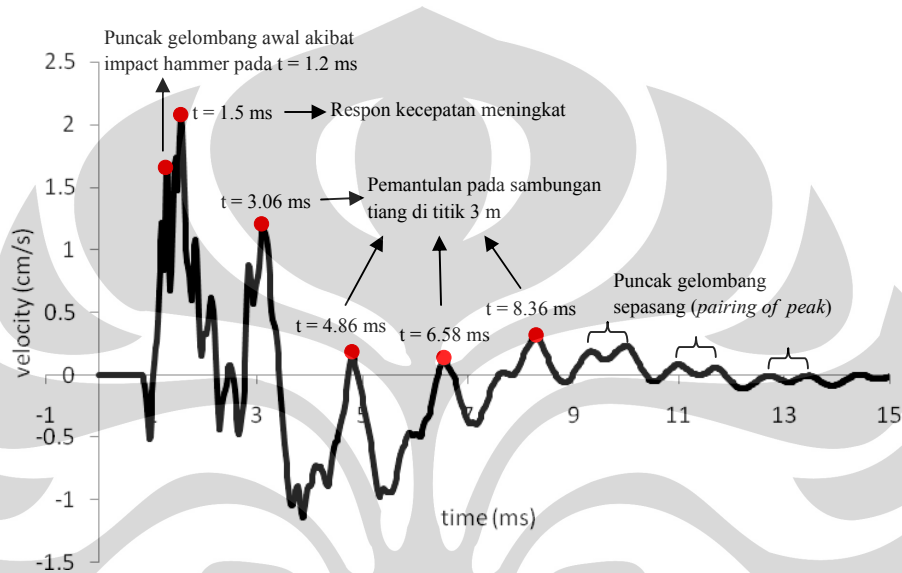


Gambar 4.23 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 6 (Grup A5)

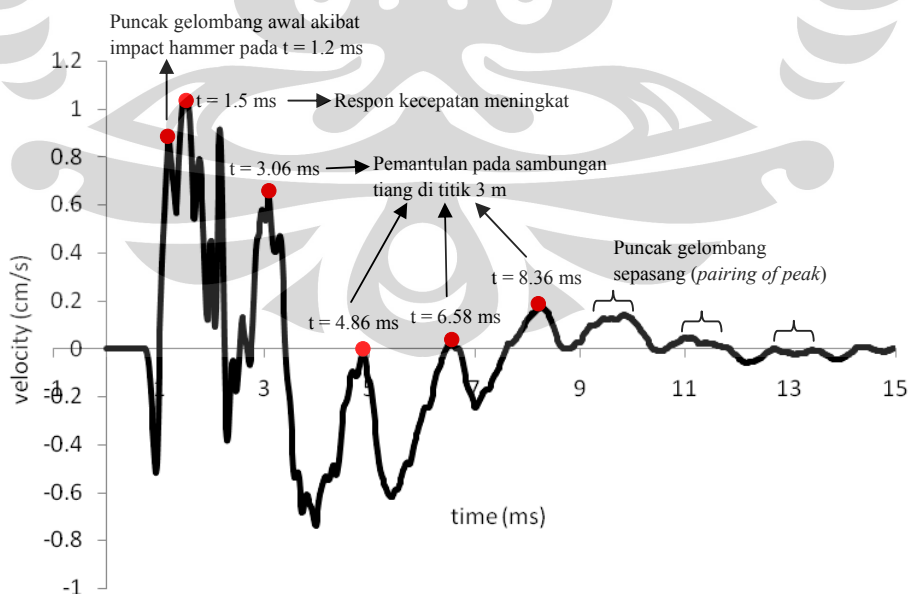
Gambar 4.18 – 4.23 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 3 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 3 tersebut menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.18 – 4.23 tersebut dapat dilihat bagaimana spectrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 0.9$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.2$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.3 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 0.6 m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah berkisar ± 0.7 m, maka dapat disimpulkan bahwa pantulan gelombang terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah tersebut. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.1.4 Tiang 4

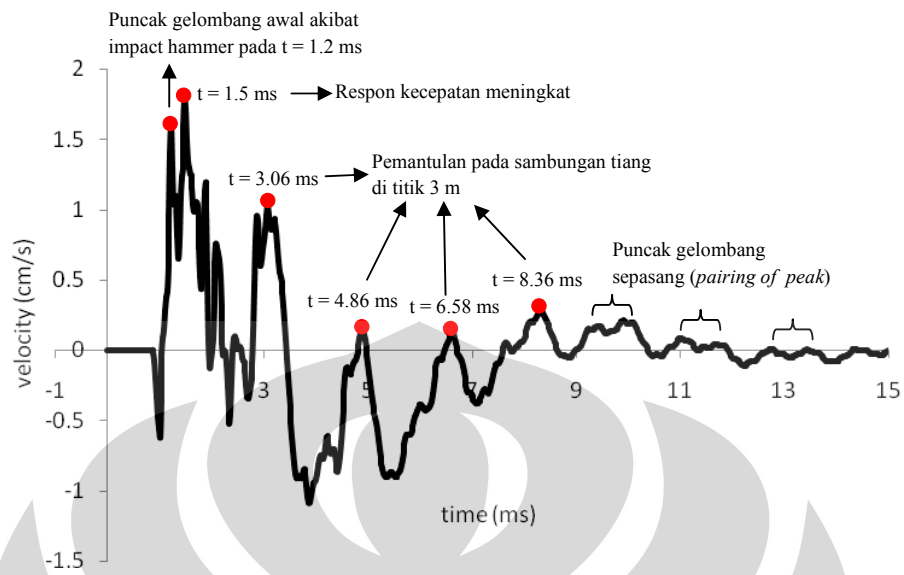
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 15 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = 0.9 m ; lokasi sambungan di 3 m dan 9 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



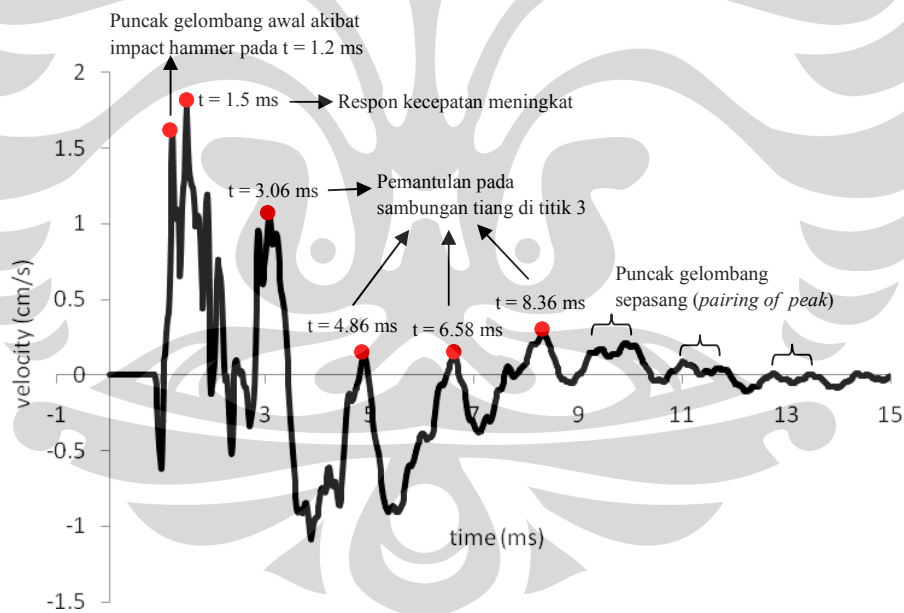
Gambar 4.24 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 1 (Grup A5)



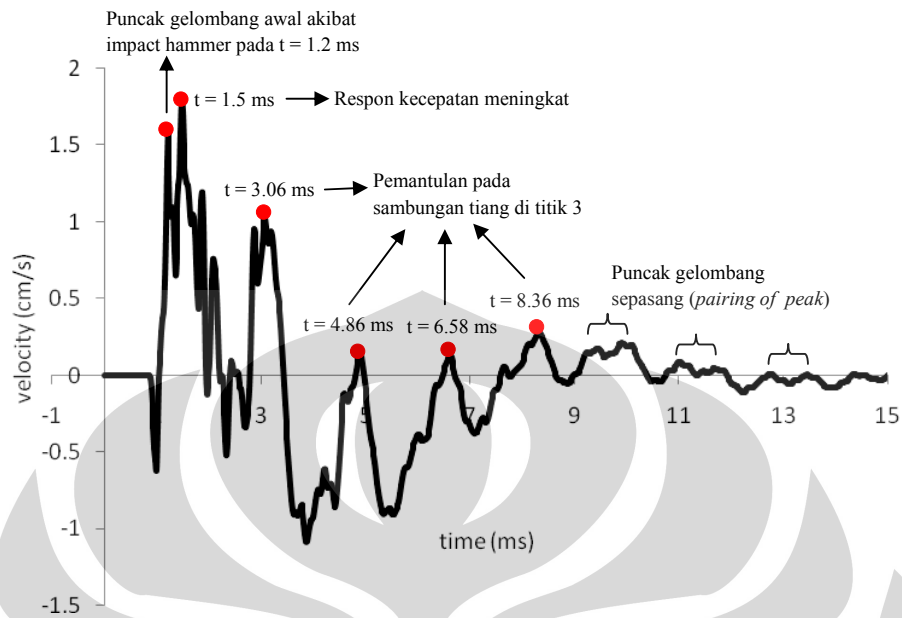
Gambar 4.25 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 2 (Grup A5)



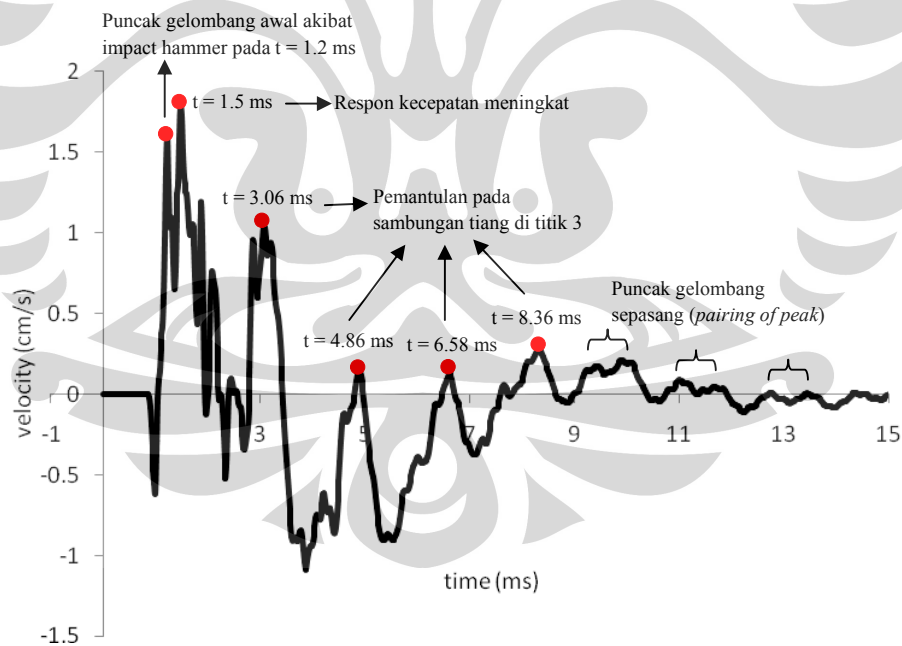
Gambar 4.26 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.27 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.28 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 5 (Grup A5)

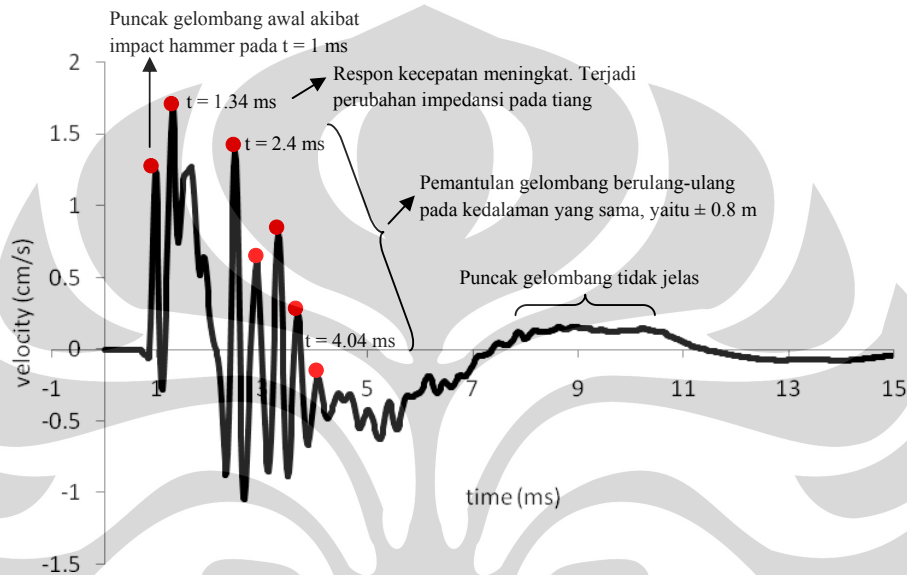


Gambar 4.29 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 6 (Grup A5)

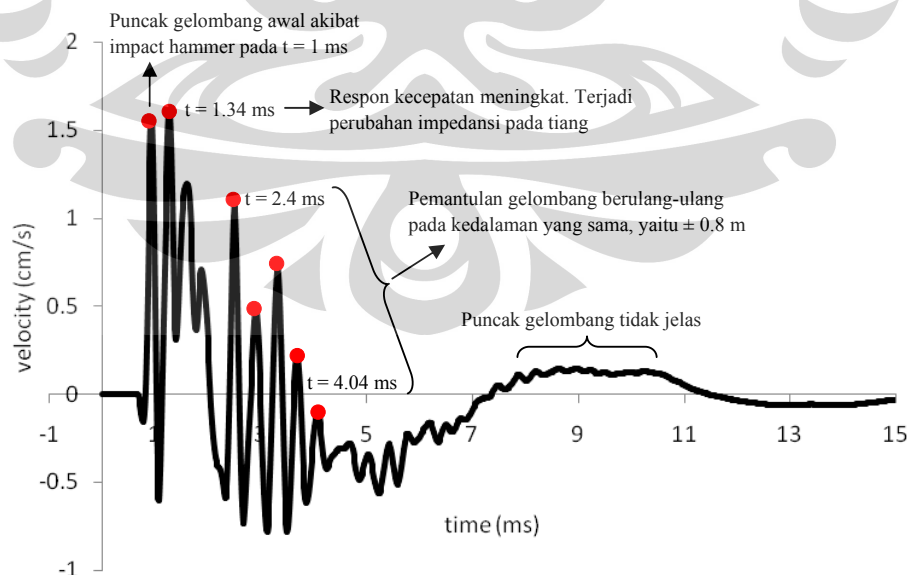
Gambar 4.24 – 4.29 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 4 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 4 tersebut menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.24 – 4.29 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.2$ ms. Diikuti dengan terjadinya tegangan pada gelombang yang menghasilkan puncak dengan respon kecepatan yang meningkat pada $t = 1.5$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.3 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 0.6 m dari atas tiang. Hal ini dapat mengindikasikan terjadi suatu perubahan impedansi pada tiang di kedalaman 0.6 m. Gelombang terus merambat dan sistem vibrasi secara berangsur-angsur kehilangan energinya. Selama sinyal merambat disepanjang tiang, terjadi pantulan-pantulan yang menimbulkan puncak-puncak gelombang setelah puncak gelombang pertama akibat *impact hammer*. Puncak-puncak gelombang tersebut terjadi berturut-turut pada $t = 3.06$ ms, 4.86 ms, 6.58 ms dan 8.36 ms. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antara puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa kedalaman tiang, diketahui adanya korelasi atau kesamaan antar pantulan gelombang tersebut, yaitu pantulan gelombang terjadi di sekitar ± 3 m. Kemungkinan pemantulan gelombang terjadi akibat adanya sambungan pada tiang di titik 3 m. Sehingga dapat disimpulkan, terjadi pemantulan gelombang berkali-kali di sekitar sambungan tiang. Selain itu, pada grafik juga terlihat adanya puncak-puncak yang dipaksakan menjadi sepasang, yaitu pada $t = 9.5$ ms dan 10 ms; $t = 11$ ms dan 12 ms; $t = 12.8$ ms dan 13.6 ms. Tetapi karakteristik sebenarnya dari puncak-puncak sepasang tersebut tidak dapat diidentifikasi dengan jelas. Ada beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya hal tersebut, yaitu kemungkinan karena adanya cacat atau suatu anomali pada tiang, atau terjadi perubahan impedansi pada tiang dan atau puncak-puncak sepasang tersebut terjadi sebagai akibat dari pemantulan gelombang pada sambungan tiang. Oleh karena itu, respon sinyal pada ujung tiang tidak dapat diidentifikasi dengan jelas sehingga panjang tiang tidak dapat ditentukan.

4.2.1.1.5 Tiang 5

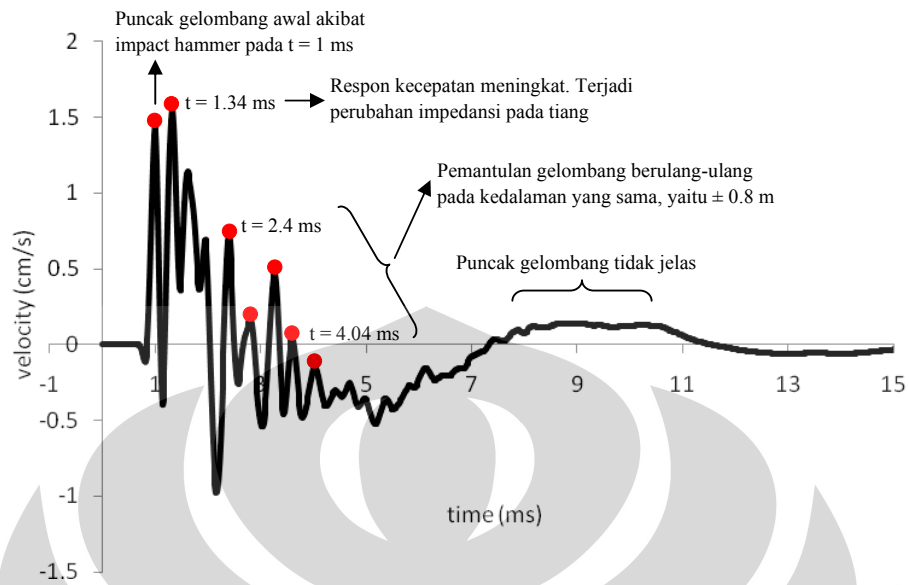
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = 0.9 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



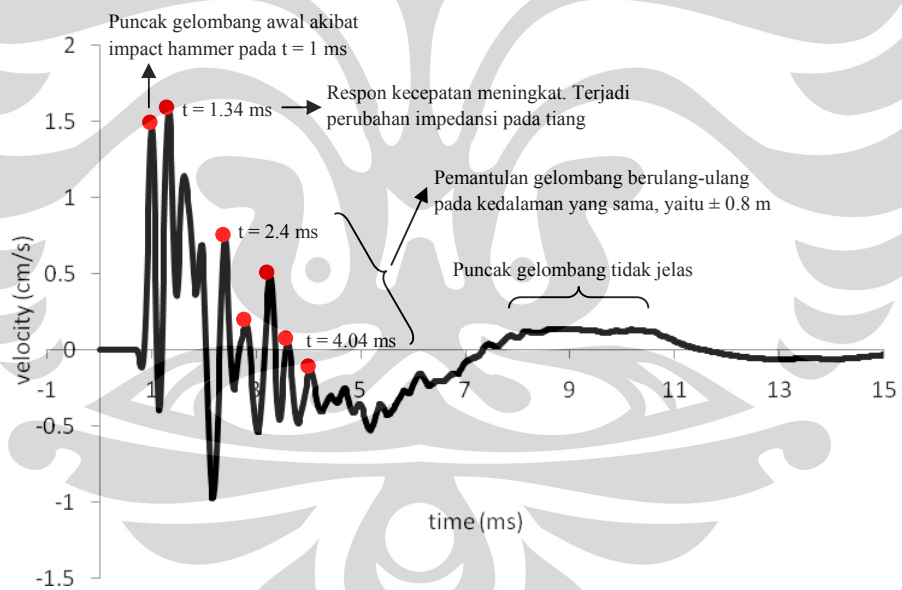
Gambar 4.30 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 1 (Grup A5)



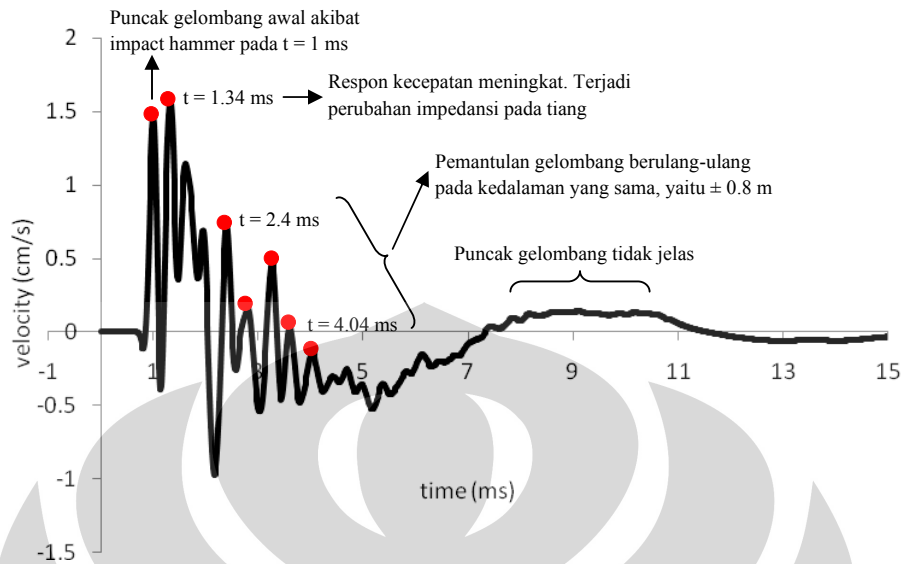
Gambar 4.31 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 2 (Grup A5)



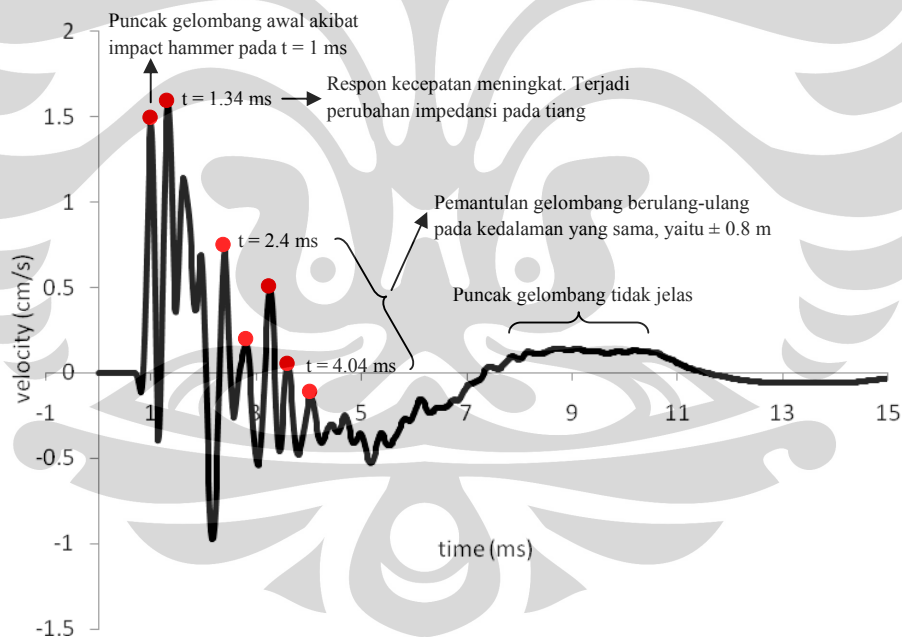
Gambar 4.32 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.33 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.34 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 5 (Grup A5)



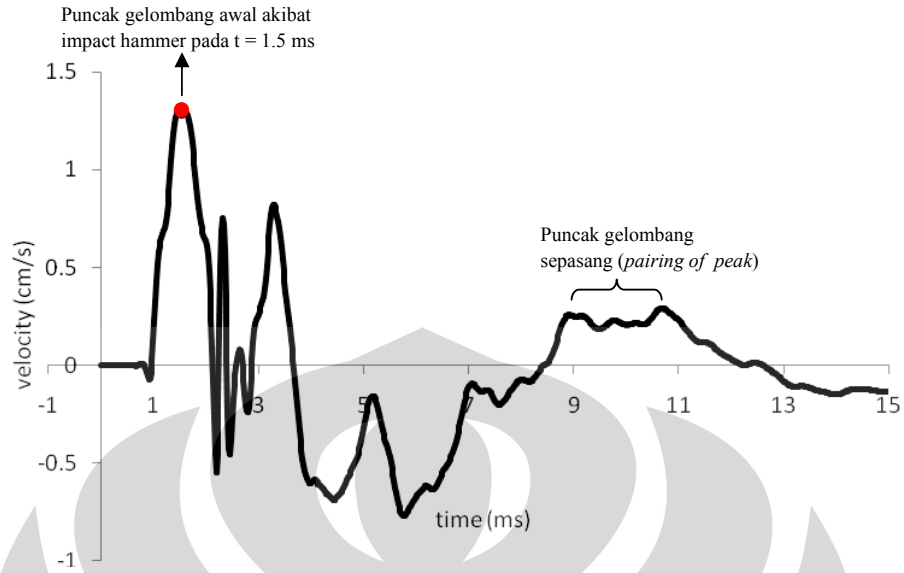
Gambar 4.35 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 6 (Grup A5)

Gambar 4.30 – 4.35 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 5 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 5 tersebut menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.30 – 4.35 tersebut dapat dilihat bagaimana

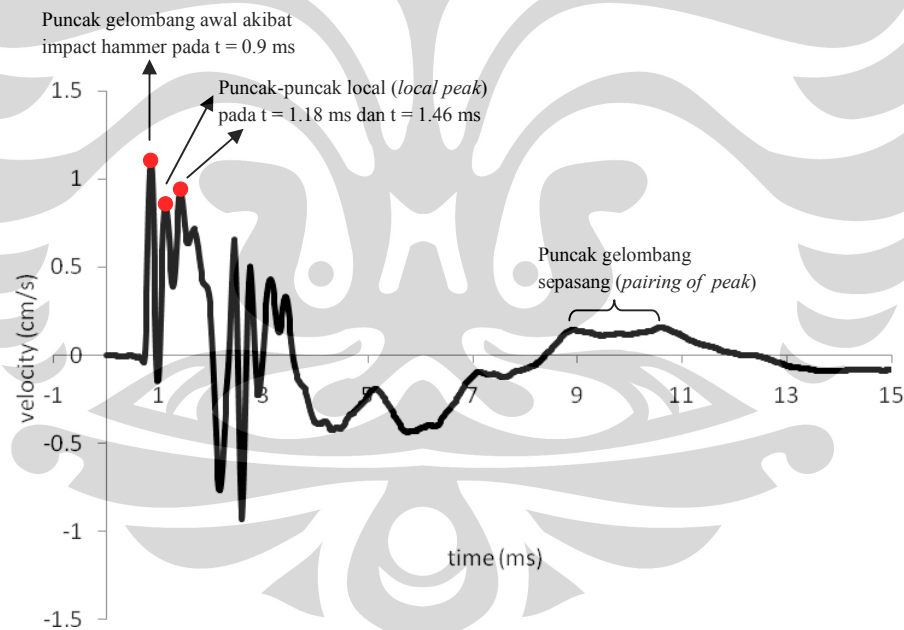
spectrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.34$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.34 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 0.68 m dari atas tiang. Pantulan gelombang tersebut dapat mengindikasikan terjadi suatu perubahan impedansi di sekitar bagian atas tiang. Setelah komponen spektral melebar, terjadi pantulan gelombang berulang-ulang pada titik yang sama dari $t = 2.4$ ms sampai $t = 4.04$ ms. Dengan menghubungkan waktu pemantulan gelombang (t) antar puncak-puncak tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui pantulan gelombang ini terjadi pada kedalaman ± 0.8 m. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah berkisar ± 0.9 m, maka dapat disimpulkan bahwa pantulan gelombang terjadi disekitar batas sisa tiang diatas permukaan tanah tersebut. Karena pantulan gelombang yang kuat dari suatu perubahan impedansi dan pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang. Fenomena yang menarik terjadi di antara $t = 8$ ms dengan $t = 10.7$ ms, dimana selama rentang waktu tersebut menghasilkan respon kecepatan yang hampir sama dengan komponen respon yang melebar, sehingga puncak gelombang selama rentang waktu tersebut menjadi tidak jelas. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 7 ms dan 9.7 ms, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman sekitar 14 m sampai 19.4 m.

4.2.1.1.6 Tiang 6

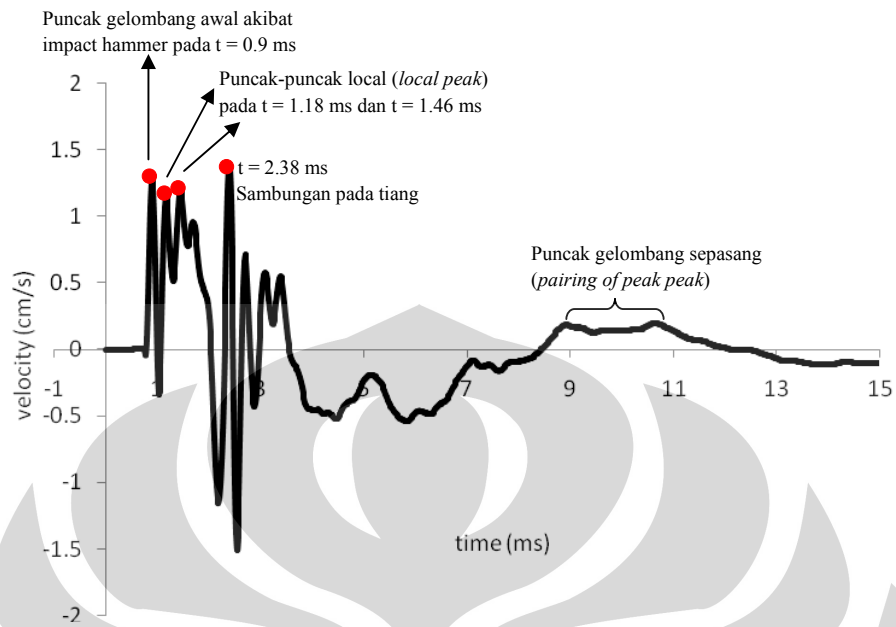
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 15 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 1.2 m ; lokasi sambungan di 3 m dan 9 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



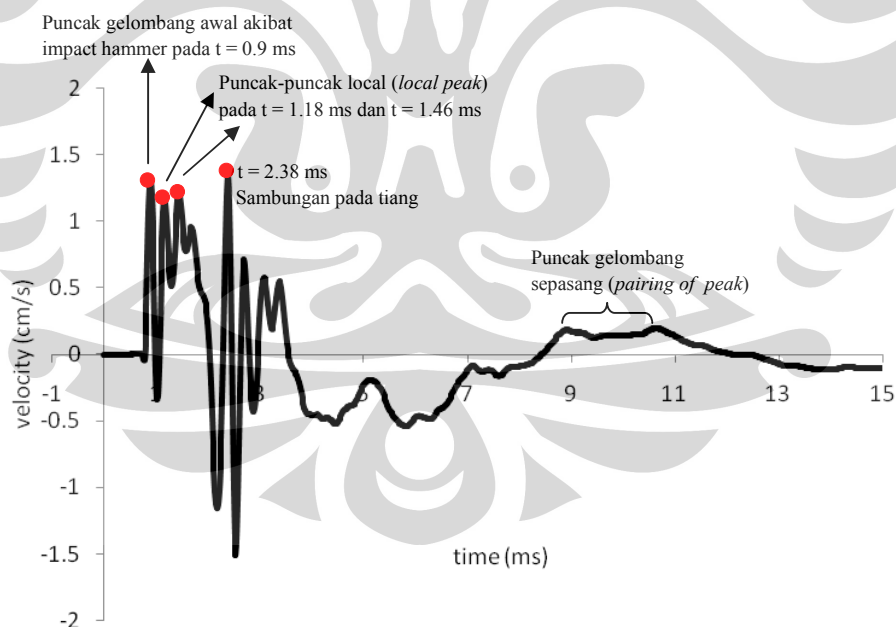
Gambar 4.36 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 1 (Grup A5)



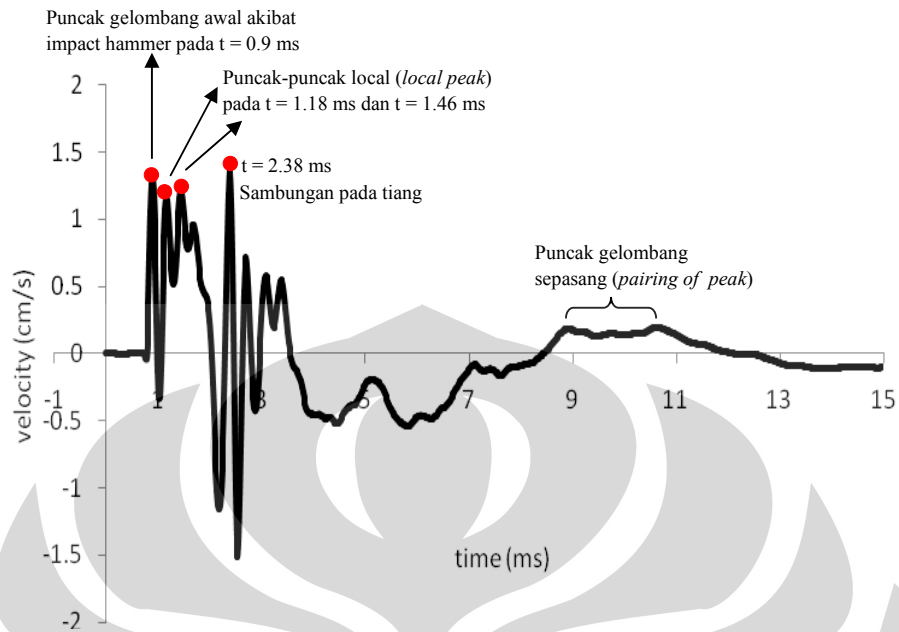
Gambar 4.37 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 2 (Grup A5)



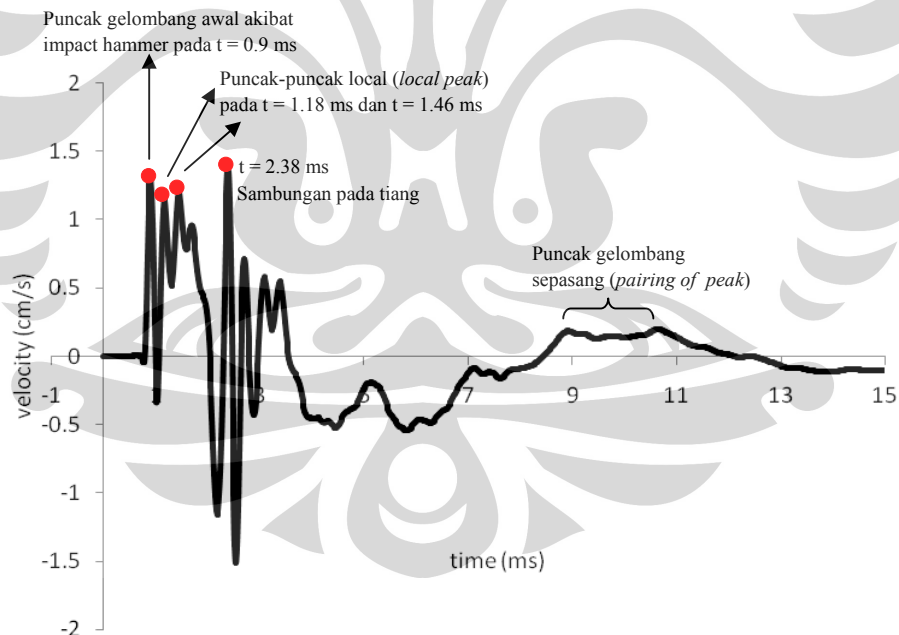
Gambar 4.38 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.39 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.40 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 5 (Grup A5)



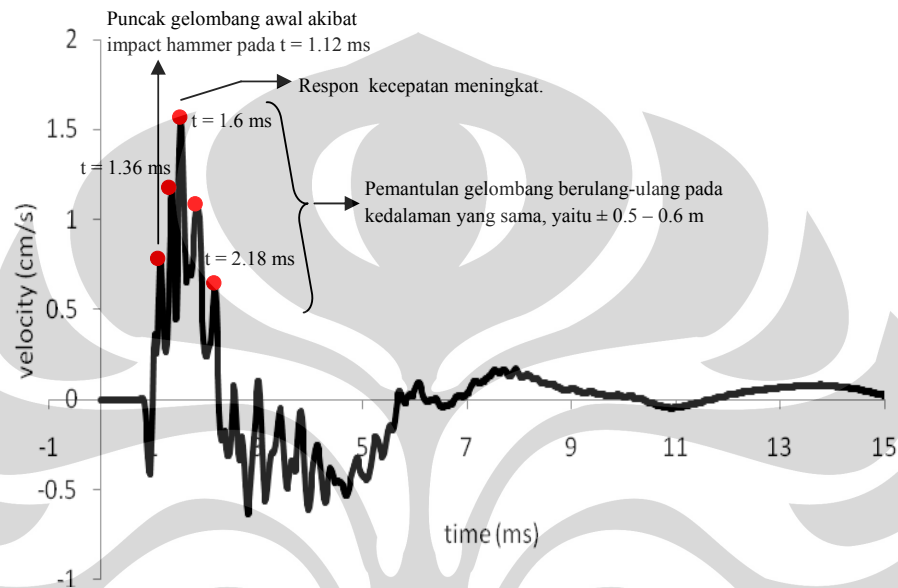
Gambar 4.41 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 6 (Grup A5)

Gambar 4.36 – 4.41 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 6 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan 5 grafik kecepatan terhadap waktu

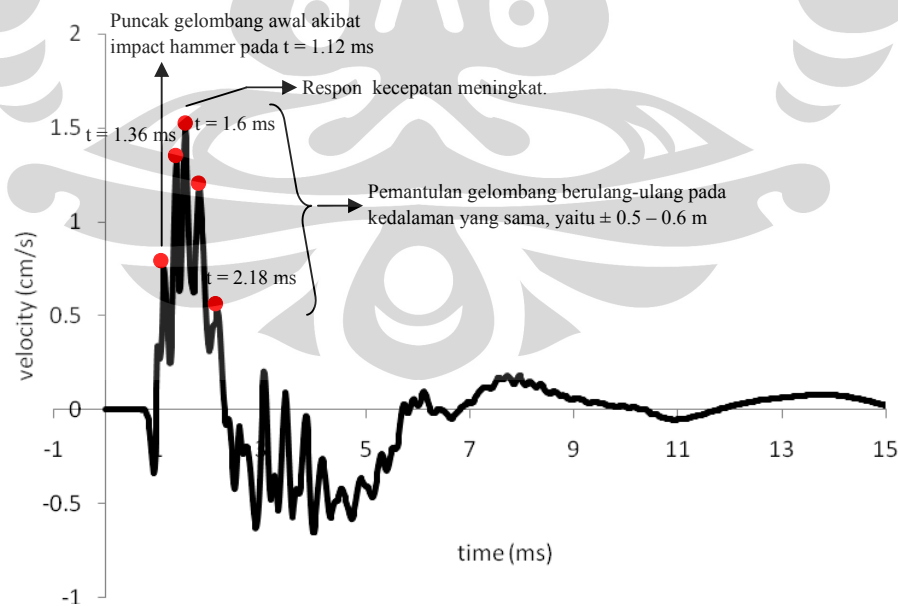
yang relatif sama, yaitu grafik hasil pukulan *hammer* ke 2 – 6 pada Gambar 4.37 – 4.41, sedangkan grafik kecepatan terhadap waktu akibat pukulan *hammer* yang pertama pada Gambar 4.36 menghasilkan bentuk yang agak berbeda. Hal ini kemungkinan disebabkan permukaan kepala tiang yang terkontaminasi oleh kotoran, tanah atau butiran pasir, sehingga menimbulkan “noise” pada respon sinyal gelombang. Dari Gambar 4.36 – 4.41 tersebut dapat dilihat bagaimana spectrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 0.9$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi puncak-puncak lokal pada $t = 1.18$ ms dan $t = 1.46$ ms, dimana pada $t = 1.46$ ms terjadi tegangan pada gelombang yang menimbulkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang sedikit meningkat dari puncak sebelumnya. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.56 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 1.12 m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah berkisar ± 1.12 m, maka dapat disimpulkan bahwa pantulan gelombang terjadi disekitar batas sisa tiang diatas permukaan tanah tersebut. Setelah komponen spektral melebar, pada $t = 2.38$ ms terjadi kembali tegangan pada gelombang yang menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 1.48 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 2.96 m dari atas tiang. Kemungkinan pantulan terjadi akibat adanya sambungan tiang di titik 3 m. Seperti pada tiang 4, pada grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 6 juga terlihat adanya puncak gelombang yang dipaksakan menjadi sepasang, yaitu pada $t = 9$ ms dan 10.7 ms. Tetapi karakteristik sebenarnya dari puncak sepasang tersebut tidak dapat diidentifikasi dengan jelas. Ada beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya hal tersebut, yaitu kemungkinan karena adanya cacat atau suatu anomali pada tiang, atau terjadi perubahan impedansi pada tiang dan atau puncak sepasang tersebut terjadi sebagai akibat dari pemantulan gelombang pada sambungan tiang. Oleh karena itu, respon sinyal pada ujung tiang tidak dapat diidentifikasi dengan jelas sehingga panjang tiang tidak dapat ditentukan.

4.2.1.1.7 Tiang 7

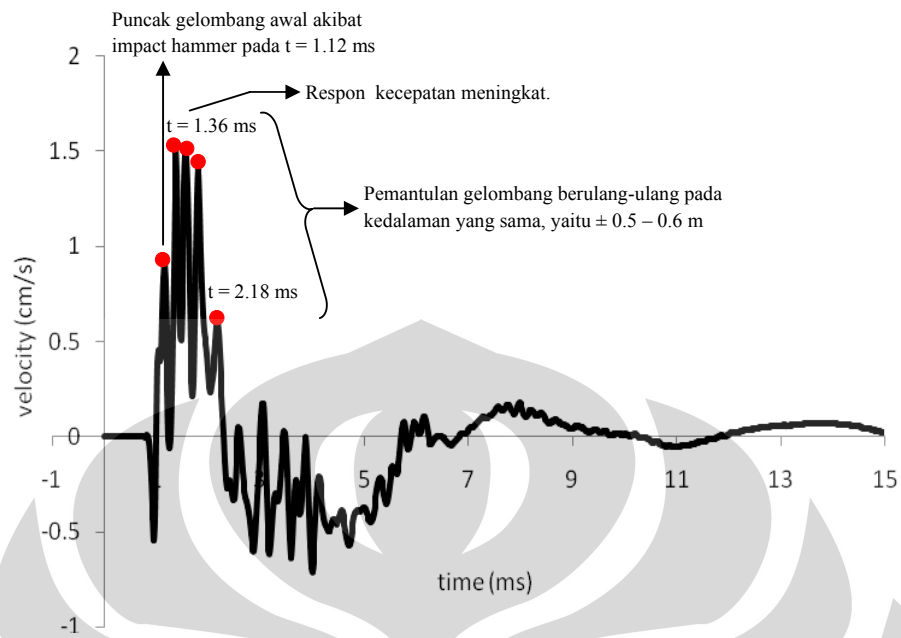
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = 0.5 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



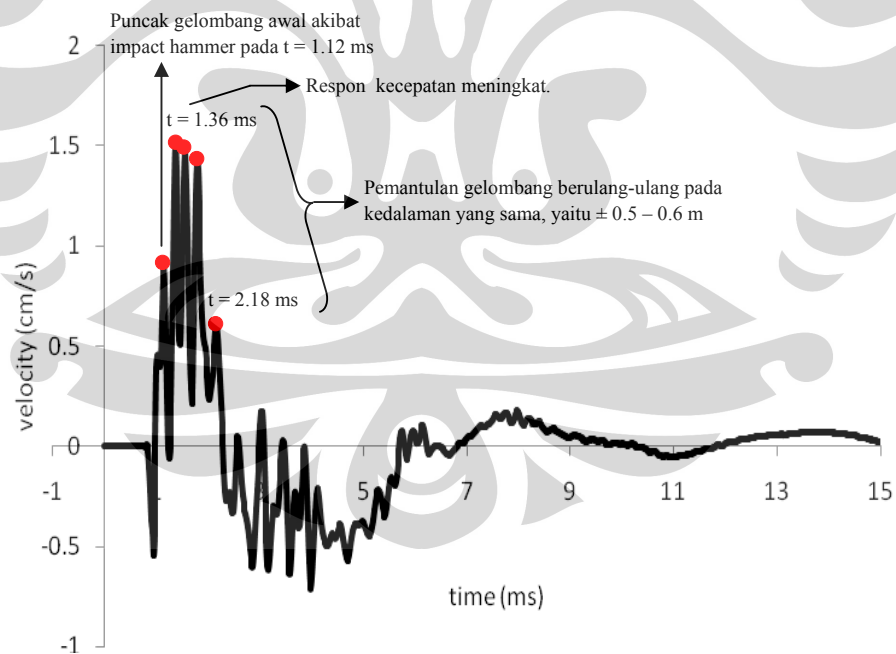
Gambar 4.42 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 1 (Grup A5)



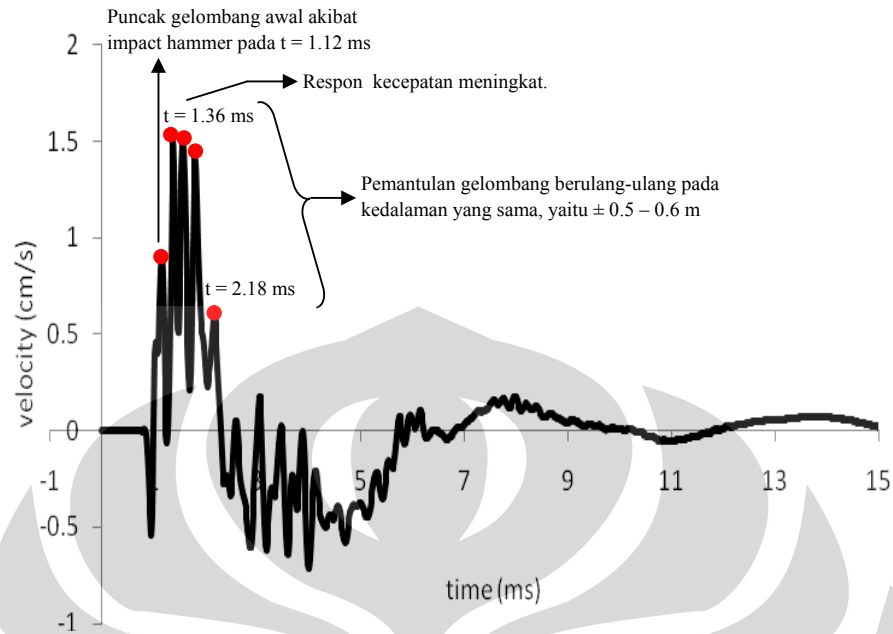
Gambar 4.43 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 2 (Grup A5)



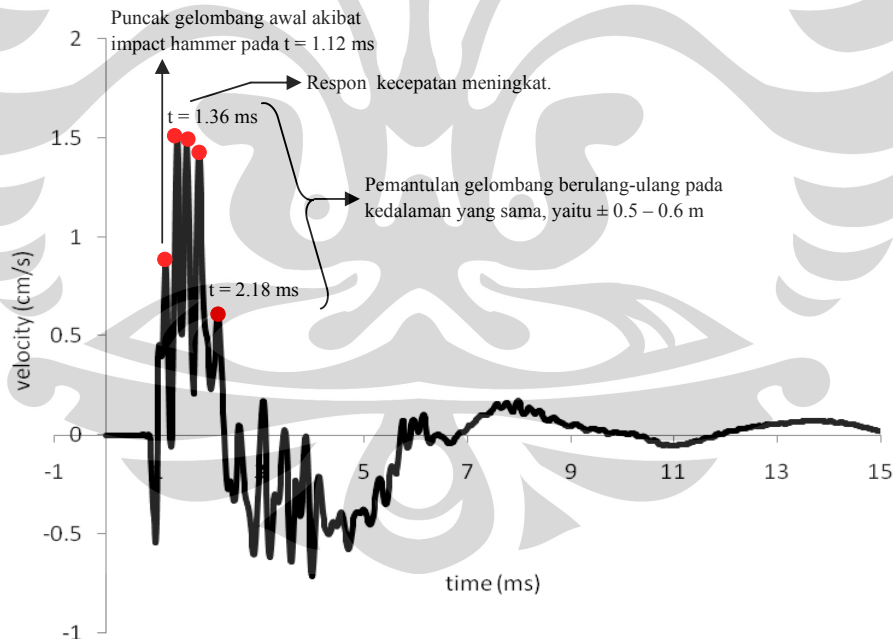
Gambar 4.44 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 3 (Grup A5)



Gambar 4.45 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 4 (Grup A5)



Gambar 4.46 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 5 (Grup A5)



Gambar 4.47 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 6 (Grup A5)

Gambar 4.42 – 4.47 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 7 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. 6 kali *impact hammer* pada tiang 7 tersebut menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu

yang relatif sama. Dari Gambar 4.42 – 4.47 tersebut dapat dilihat bagaimana spectrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Grafik-grafik tersebut menunjukkan pada tiang 7 terjadi pemantulan gelombang dengan komponen respon yang relatif rapat. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.12$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga terjadi puncak gelombang dengan respon kecepatan yang secara relatif meningkat, yang terjadi pada $t = 1.36$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.24 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman ± 0.5 m dari atas tiang. Setelah respon kecepatan yang meningkat pada $t = 1.36$ ms, terjadi pantulan gelombang yang berulang-ulang sampai $t = 2.18$ ms, dengan respon kecepatan yang semakin menurun. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antara puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah berkisar ± 0.6 m, maka pantulan gelombang yang berulang-ulang pada titik tersebut dapat mengindikasikan pemantulan terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.1.8 Tiang 8

Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 9 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = 0.5 m ; lokasi sambungan di 3 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Data *time domain* yang adalah berupa titik-titik diskrit dimana ada jarak antar waktu atau *time increment* yang direkam. Besarnya data *acquisition rate* dapat dipilih antara 50.000 *point/second*, 100.000 *point/second* atau 150.000 *point/second*. Data *acquisition rate* 50.000 *point/second* memiliki waktu rekam yang lebih lama daripada *acquisition rate*

100.000 *point/second* dan 150.000 *point/second*. Hal ini dapat dijelaskan seperti berikut :

- Untuk 50.000 *point/second*, *time increment*-nya adalah :

$$\begin{aligned} 50.000 \text{ point/second} &= \frac{1}{50.000} \text{ second} \\ &= 0,02 \text{ milisecond} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 100.000 \text{ point/second} &= \frac{1}{100.000} \text{ second} \\ &= 0,01 \text{ milisecond} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 150.000 \text{ point/second} &= \frac{1}{150.000} \text{ second} \\ &= 0,0067 \text{ milisecond} \end{aligned}$$

- Karena P.I.T merekam sebanyak 1024 *point* setelah pukulan *hammer* dikenakan pada kepala tiang, sehingga lama waktu rekam P.I.T untuk masing-masing *acquisition rate* adalah :

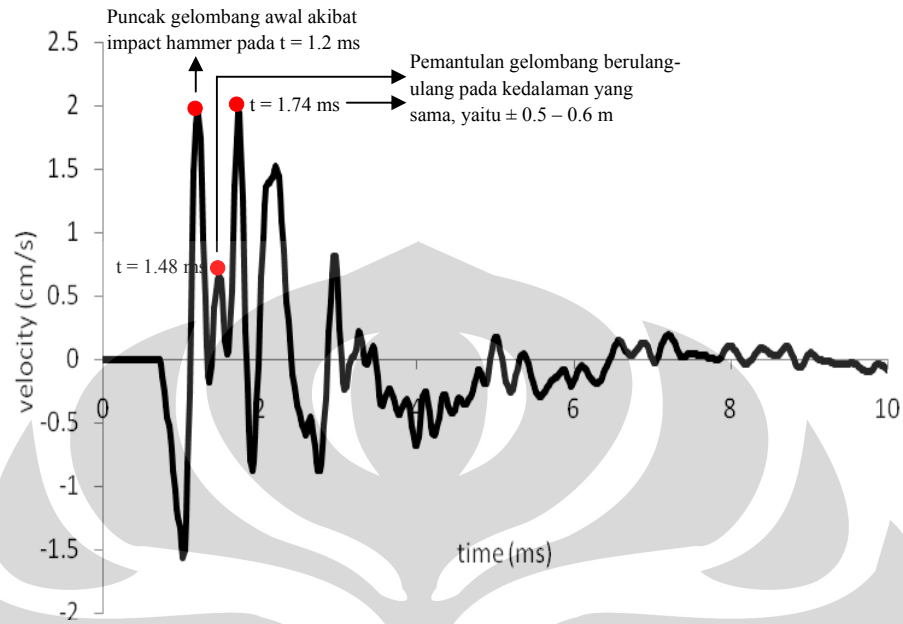
$$\begin{aligned} \text{Waktu rekam P.I.T } 50.000 \text{ point/second} &= 1024 \times 0,02 \text{ milisecond} \\ &= 20,48 \text{ milisecond} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu rekam P.I.T } 100.000 \text{ point/second} &= 1024 \times 0,01 \text{ milisecond} \\ &= 10,24 \text{ milisecond} \end{aligned}$$

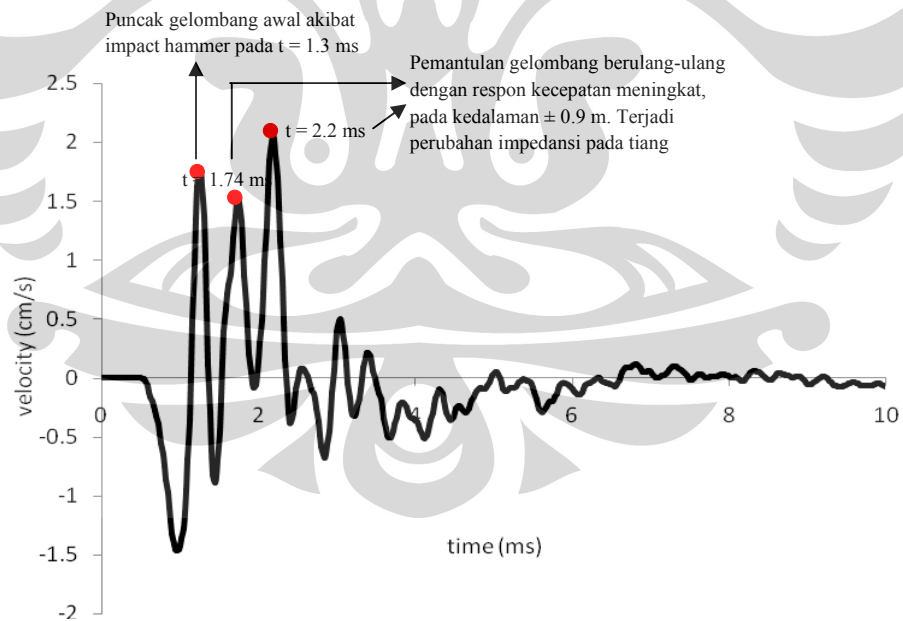
$$\begin{aligned} \text{Waktu rekam P.I.T } 150.000 \text{ point/second} &= 1024 \times 0,0067 \text{ milisecond} \\ &= 6,83 \text{ milisecond} \end{aligned}$$

Untuk tiang 8 ini Penulis menggunakan data *acquisition rate* 50.000 *point/second* dan 100.000 *point/second* sebagai bahan perbandingan, karena panjang tiang 8 di lapangan diketahui adalah 9 m sehingga dalam pembacaan yang dilakukan oleh alat P.I.T dapat menggunakan data rekaman *acquisition rate* 50.000 *point/second* dan 100.000 *point/second*. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.

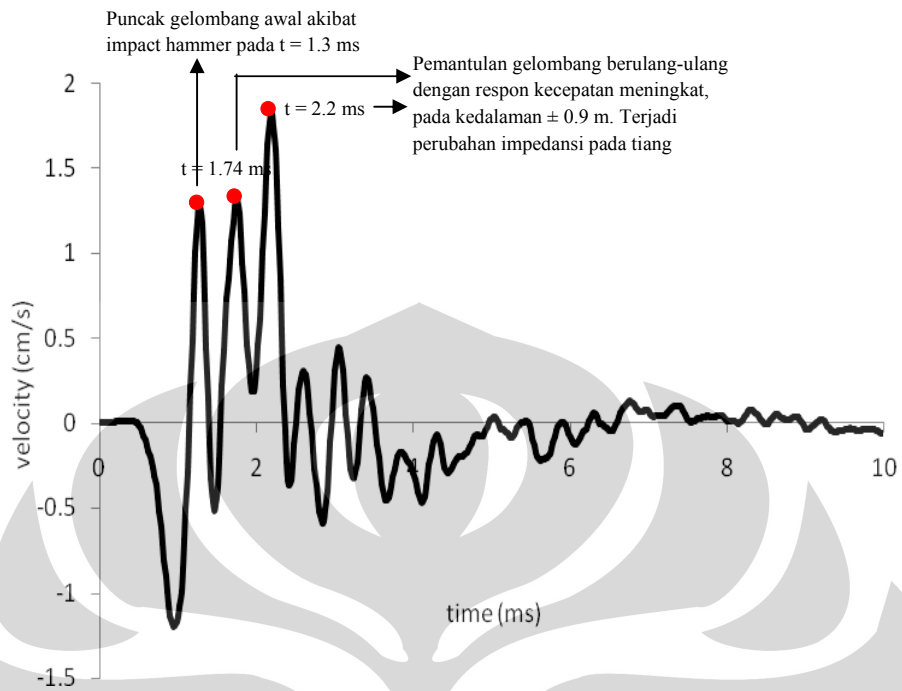
(SPS 50K)



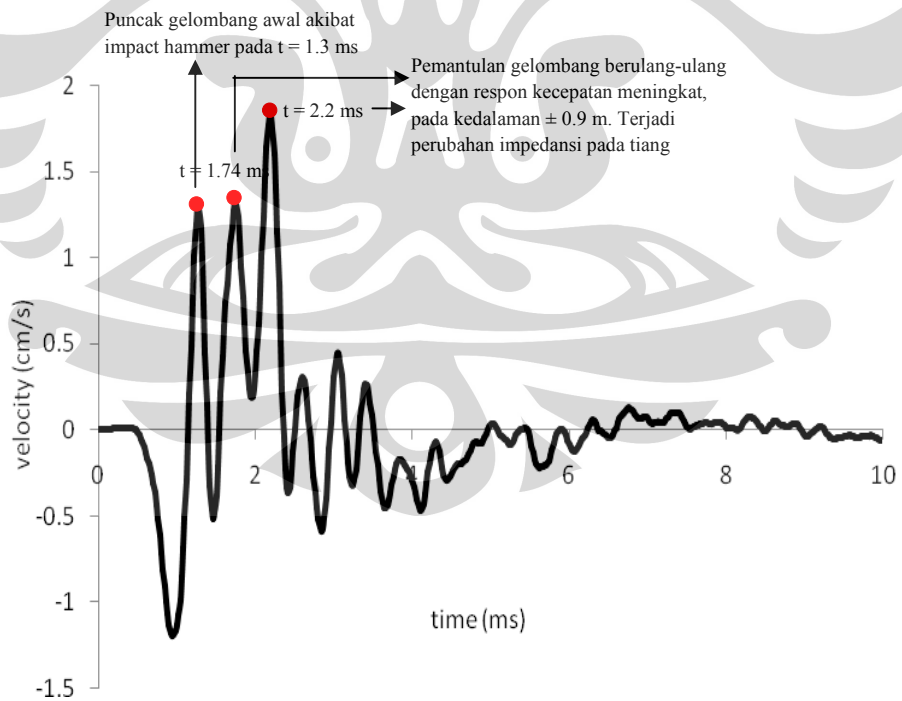
Gambar 4.48 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 1 (SPS 50K) (Grup A5)



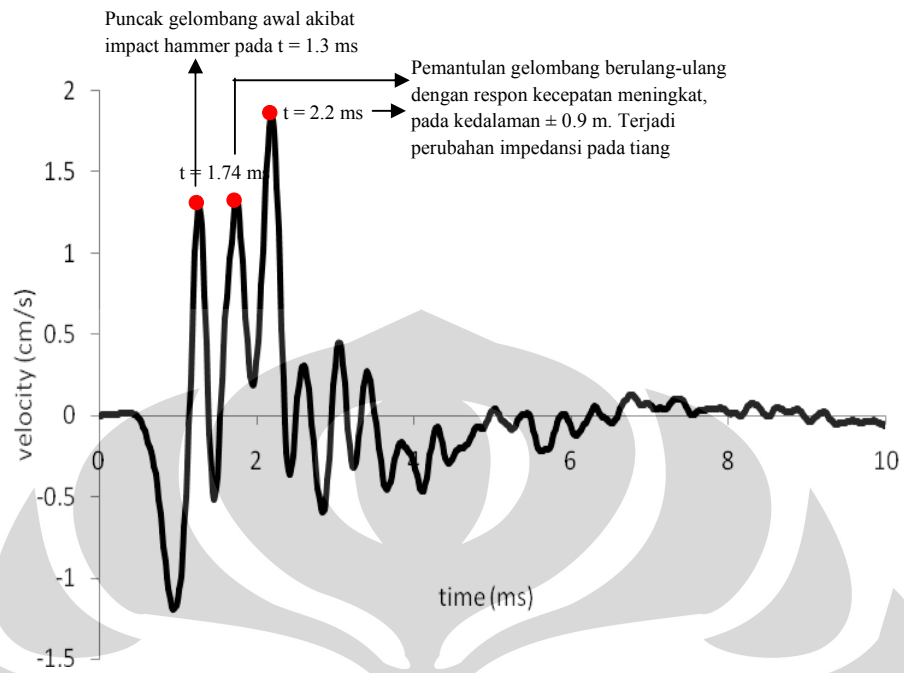
Gambar 4.49 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 2 (SPS 50K) (Grup A5)



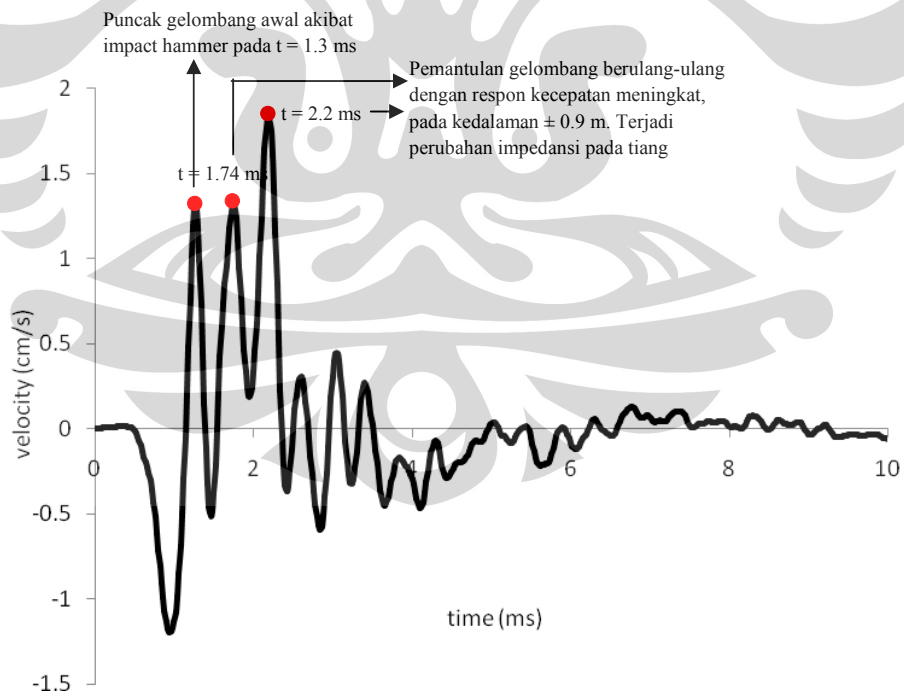
Gambar 4.50 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 3 (SPS 50K) (Grup A5)



Gambar 4.51 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 4 (SPS 50K) (Grup A5)

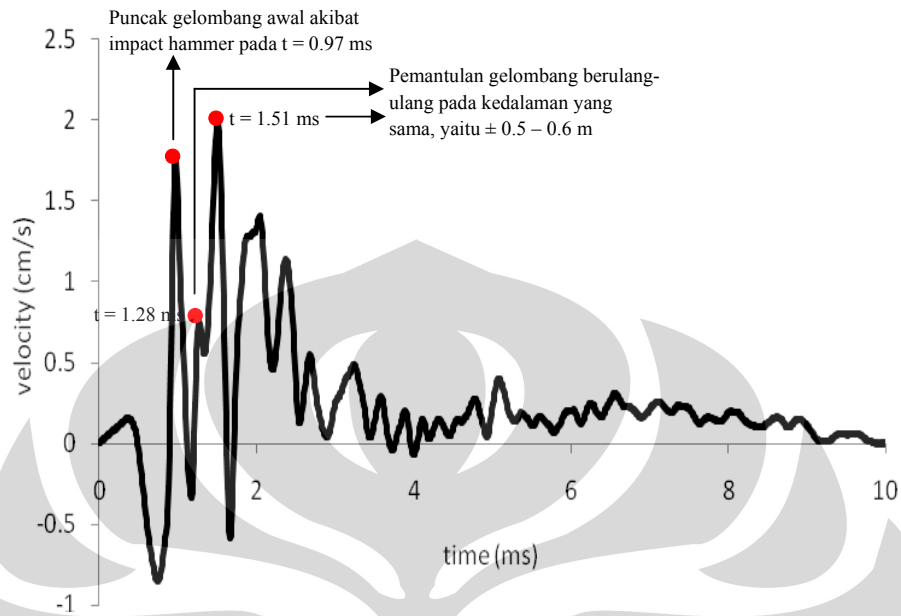


Gambar 4.52 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 5 (SPS 50K) (Grup A5)

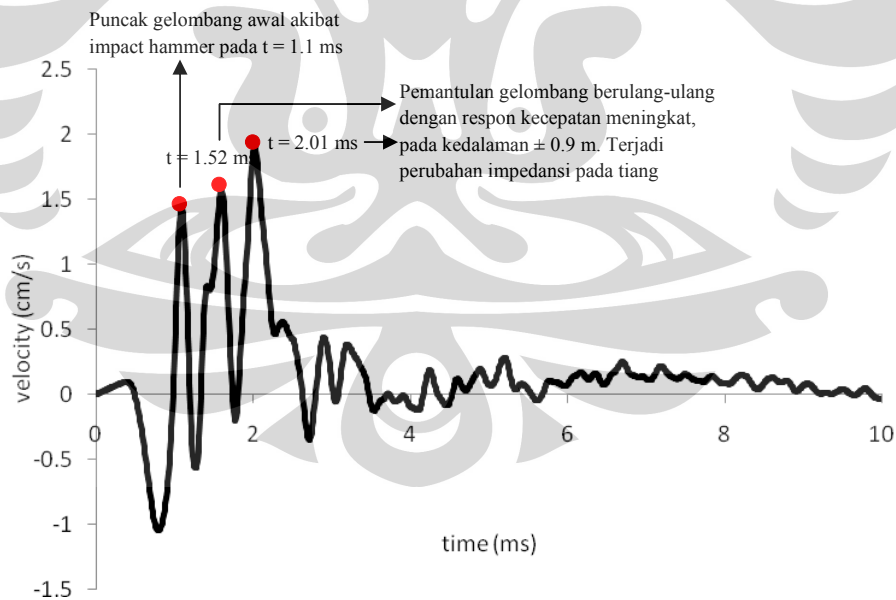


Gambar 4.53 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 6 (SPS 50K) (Grup A5)

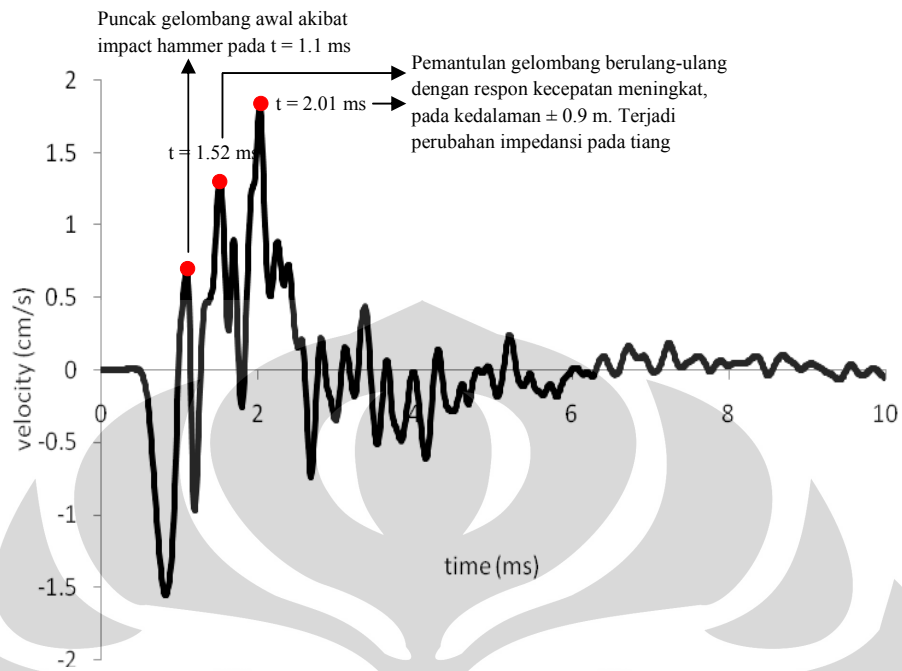
(SPS 100K)



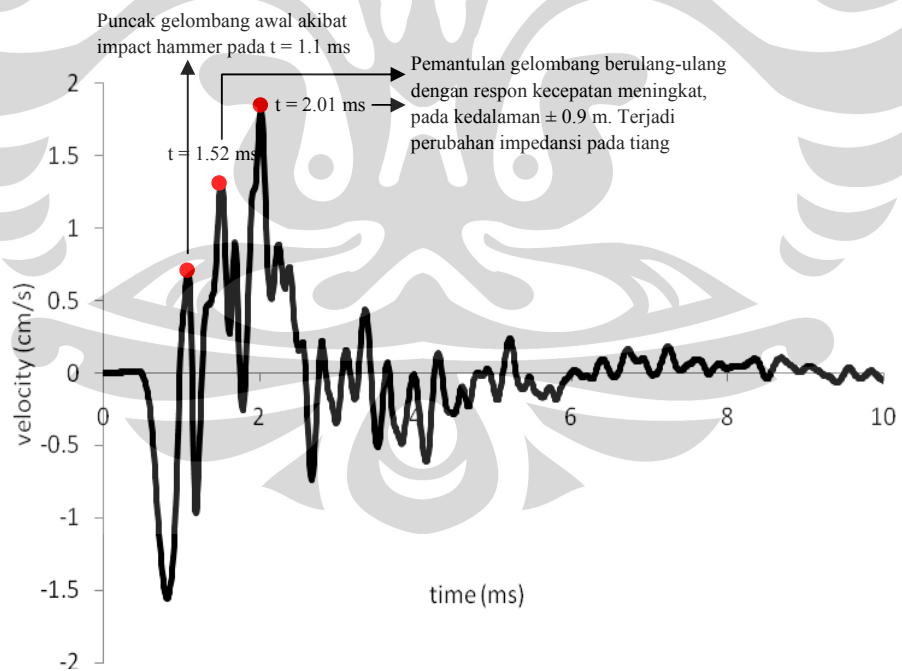
Gambar 4.54 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 1 (SPS 100K) (Grup A5)



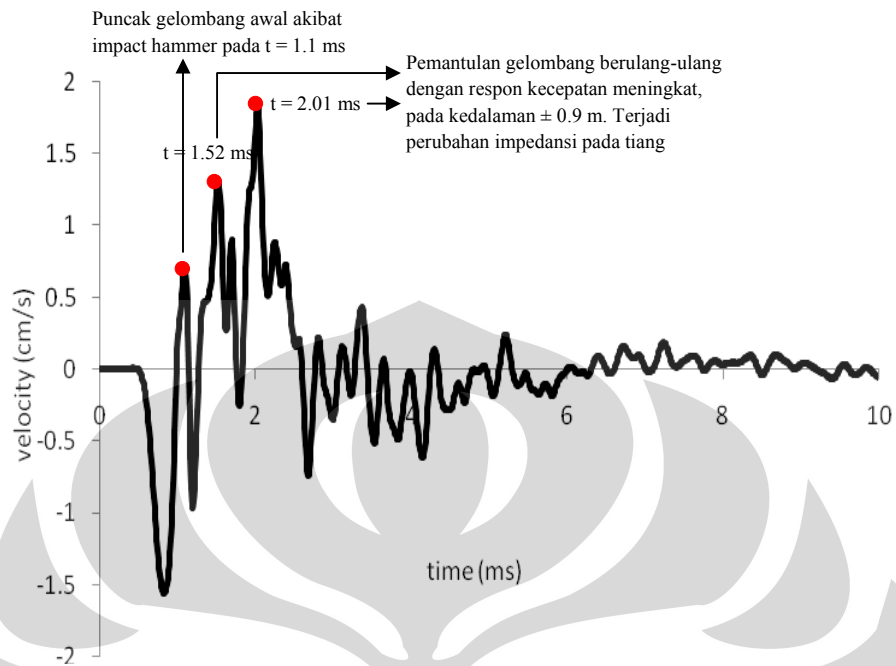
Gambar 4.55 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 2 (SPS 100K) (Grup A5)



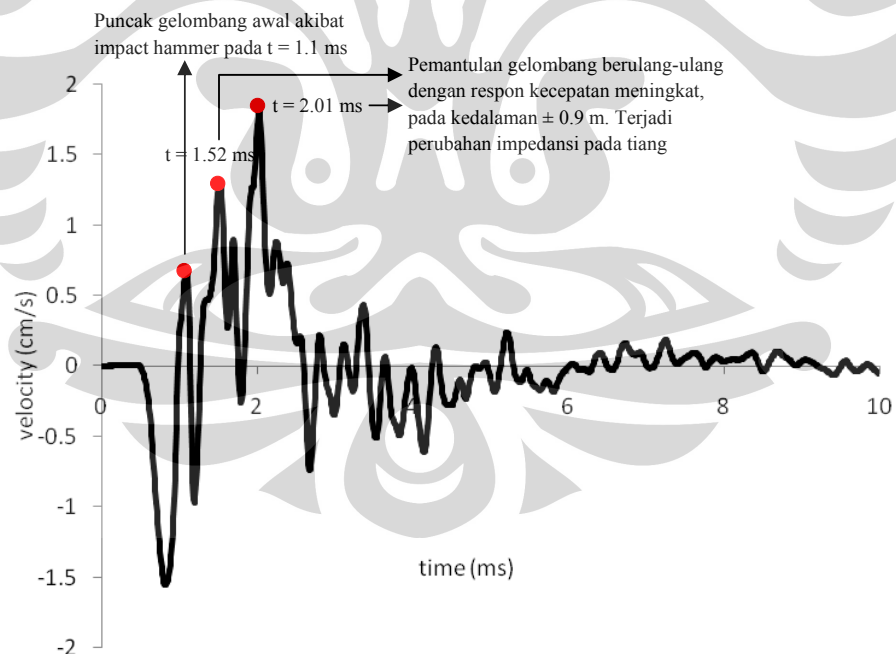
Gambar 4.56 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 3 (SPS 100K) (Grup A5)



Gambar 4.57 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 4 (SPS 100K) (Grup A5)



Gambar 4.58 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 5 (SPS 100K) (Grup A5)



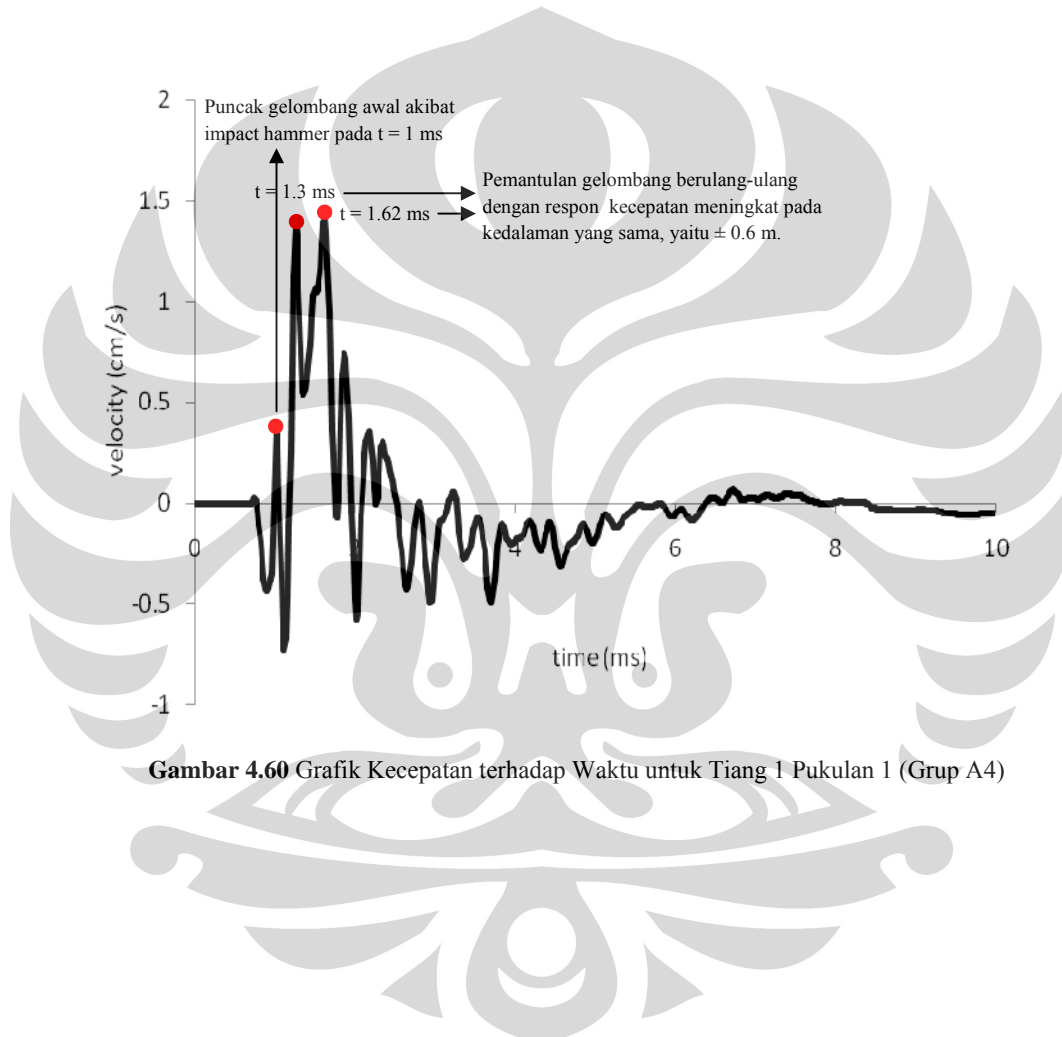
Gambar 4.59 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 6 (SPS 100K) (Grup A5)

Gambar 4.48 – 4.59 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 8 pada grup tiang A5, baik dengan *acquisition rate* 50.000 *point/second* (SPS 50K) maupun 100.000 *point/second* (SPS 100K), yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer* untuk masing-masing *acquisition rate*. Rekaman data dengan *acquisition rate* 50.000 *point/second* (SPS 50K) maupun *acquisition rate* 100.000 *point/second* (SPS 100K) menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama, yang membedakan hanya waktu rekaman, dimana *acquisition rate* 50.000 *point/second* (SPS 50K) membutuhkan waktu rekam yang lebih lama daripada *acquisition rate* 100.000 *point/second* (SPS 100K) sehingga kurva yang dihasilkan oleh rekaman data *acquisition rate* 50.000 *point/second* (SPS 50K) lebih halus daripada rekaman data *acquisition rate* 100.000 *point/second* (SPS 100K). Dari Gambar 4.48 – 4.59 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 8 untuk pukulan 1 menunjukkan hasil yang berbeda daripada grafik kecepatan terhadap waktu untuk pukulan 2 – 6. Pada grafik kecepatan terhadap waktu untuk pukulan 1 ini, menunjukkan pantulan gelombang terjadi berulang-ulang pada kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m, yang berarti gelombang memantul pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah, yaitu ± 0.6 m. Sedangkan pada grafik kecepatan terhadap waktu untuk pukulan 2 – 6 menunjukkan pantulan gelombang terjadi berulang-ulang dengan respon kecepatan yang relatif meningkat pada kedalaman ± 0.9 m, yang berarti terjadi pengurangan impedansi di sekitar bagian atas tiang atau karena lapisan tanah yang lembek. Hal ini diketahui dengan menghubungkan waktu pemantulan gelombang (t) antar puncak-puncak gelombang dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang. Karena pantulan gelombang yang kuat dari suatu perubahan impedansi tersebut terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

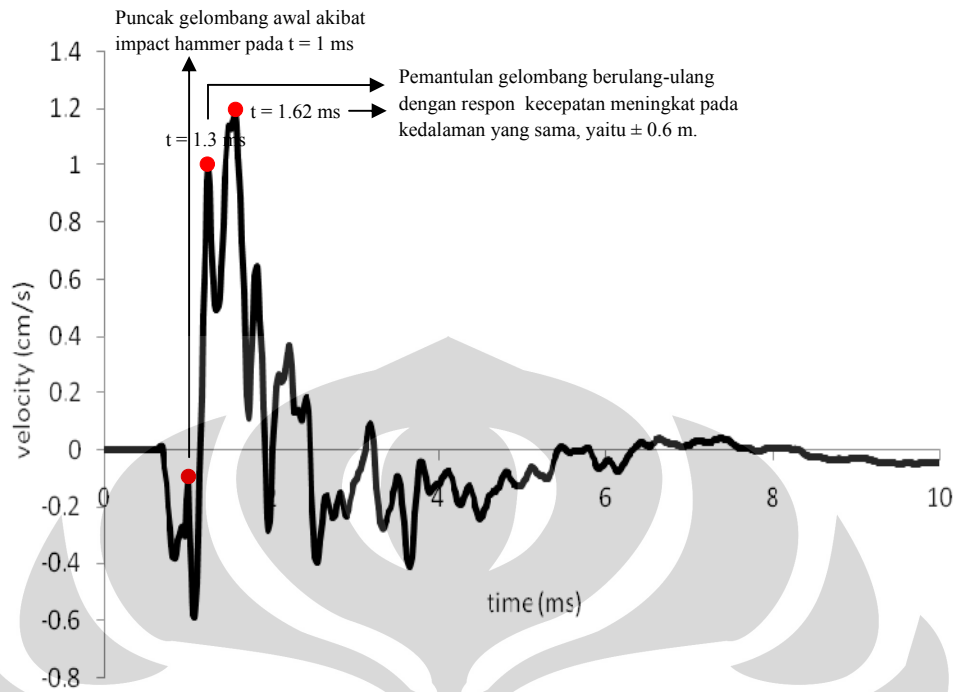
4.2.1.2 Grup Tiang A4

4.2.1.2.1 Tiang 1

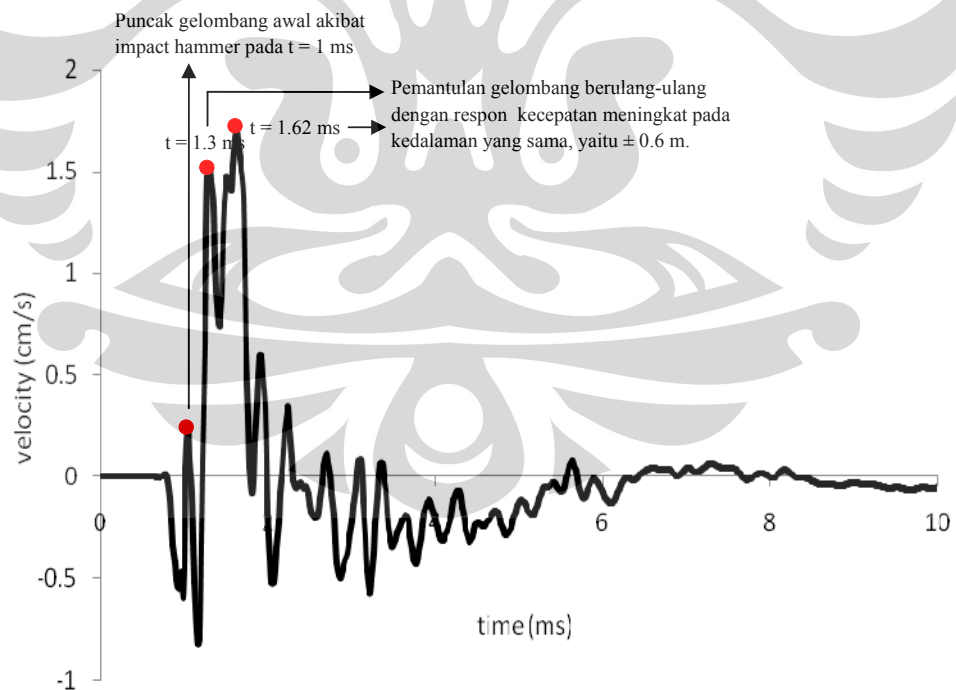
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



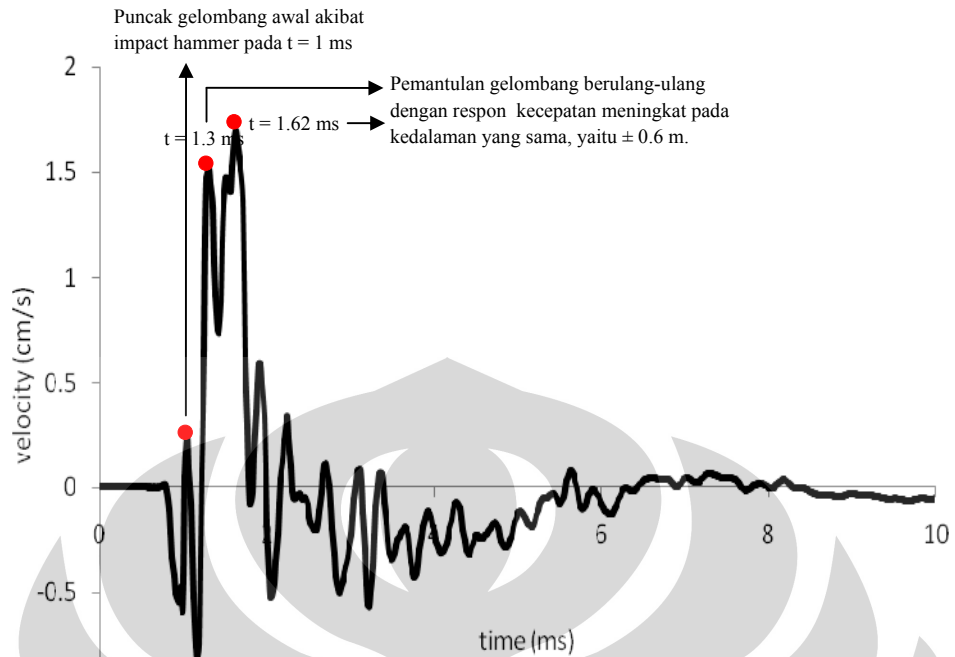
Gambar 4.60 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 1 (Grup A4)



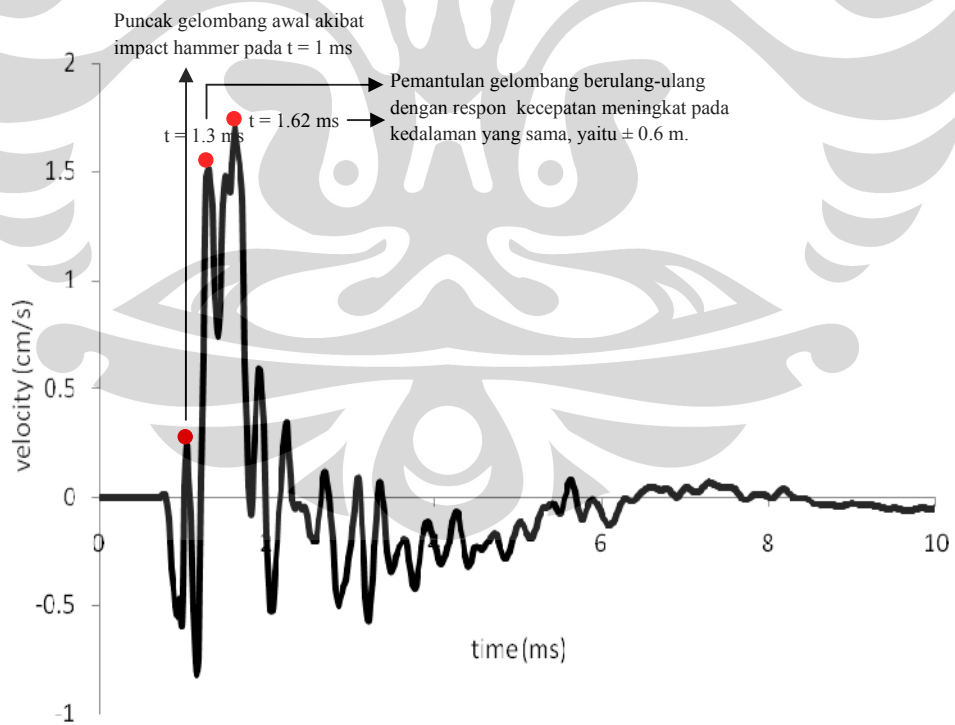
Gambar 4.61 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 2 (Grup A4)



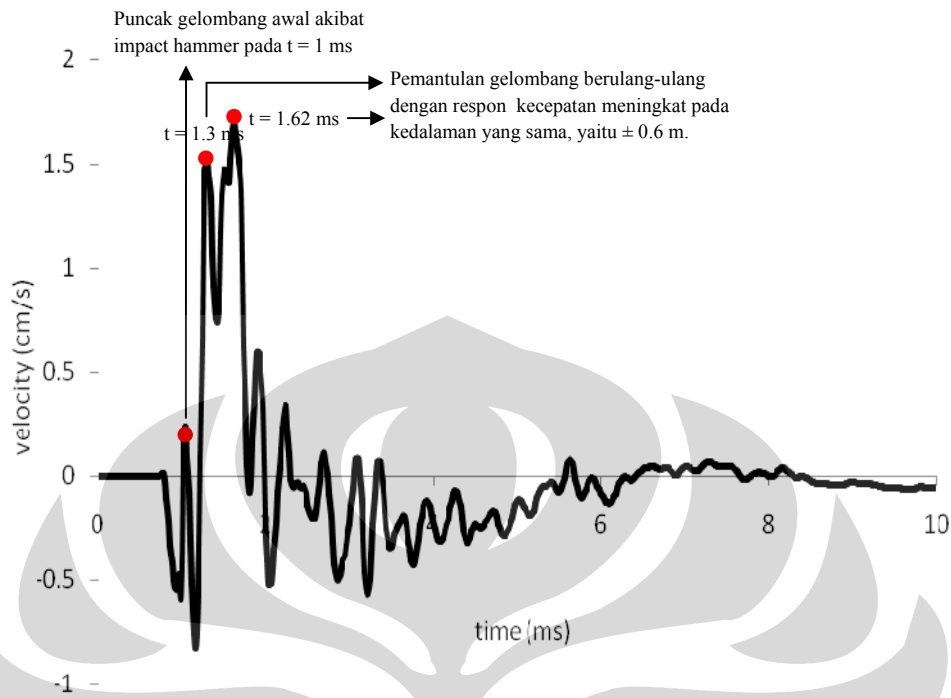
Gambar 4.62 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.63 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.64 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 5 (Grup A4)



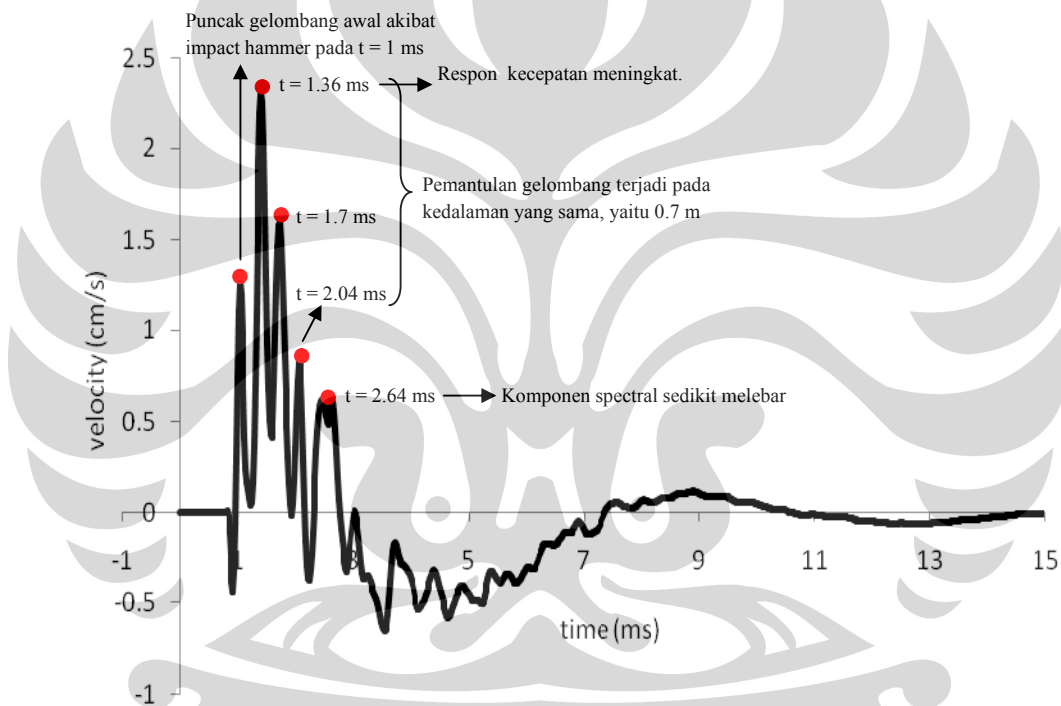
Gambar 4.65 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 1 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.60 – 4.65 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 1 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 1 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.60 – 4.65 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang berulang-ulang sehingga terjadi puncak-puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.3$ ms dan $t = 1.62$ ms. Dengan menghubungkan waktu pemantulan gelombang (t) antar puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.6 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang

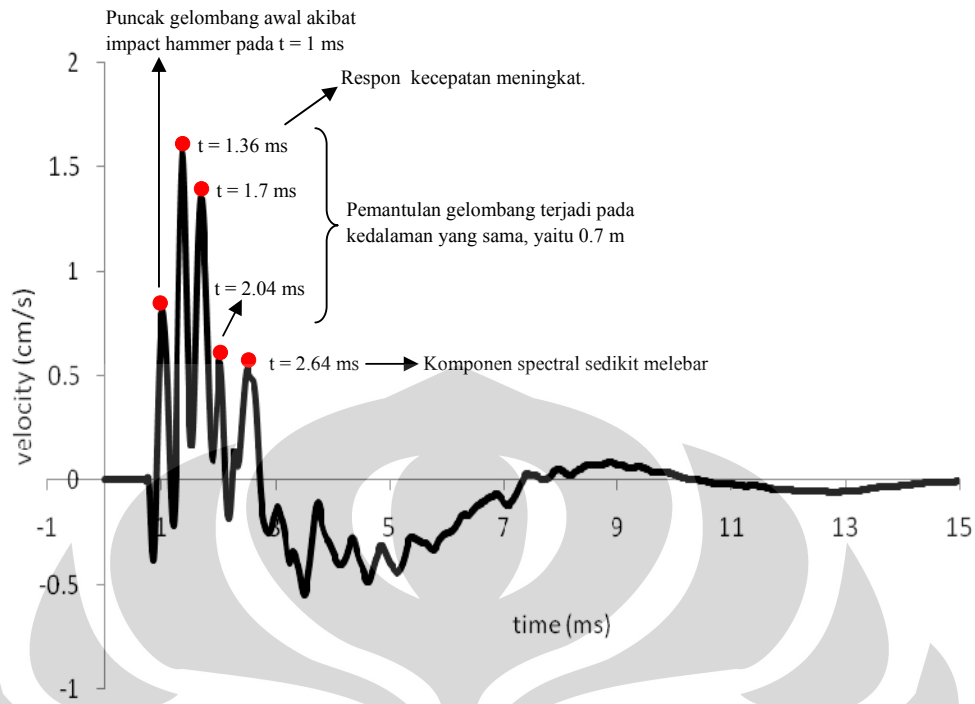
diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.2 Tiang 2

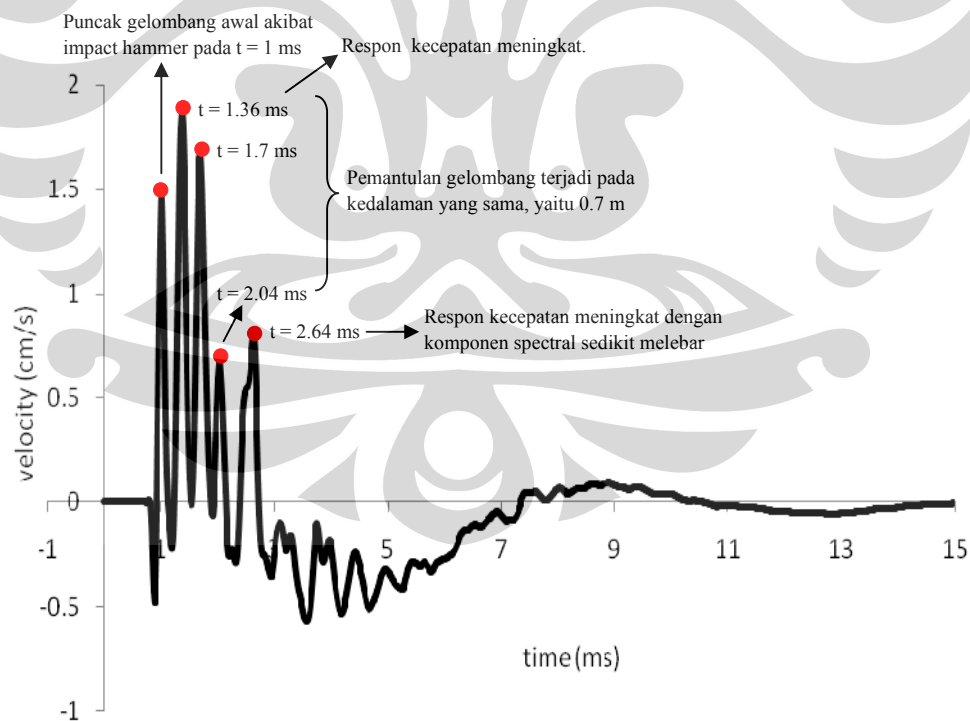
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



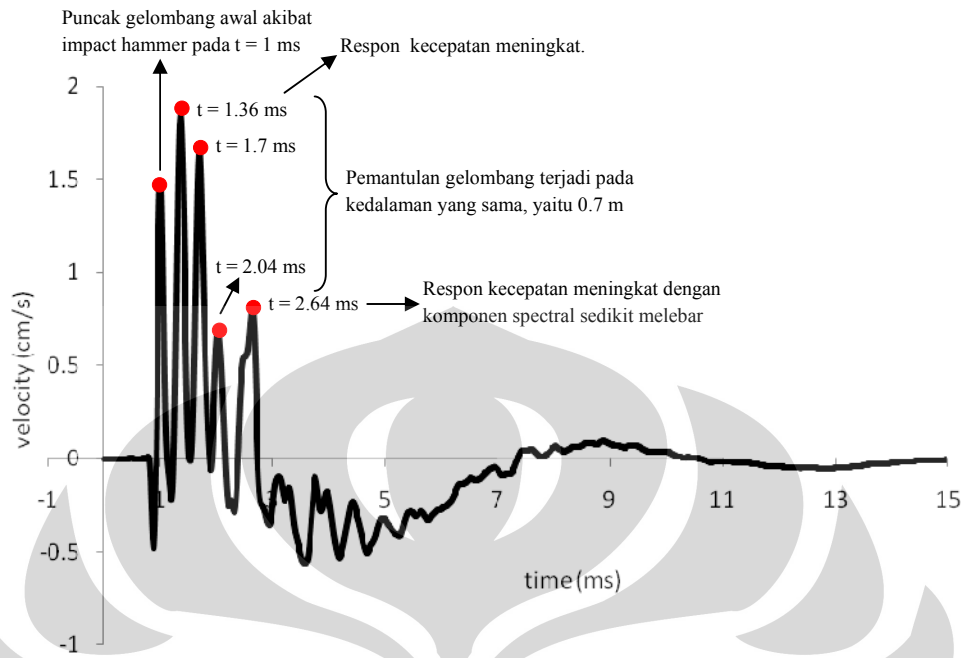
Gambar 4.66 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 1 (Grup A4)



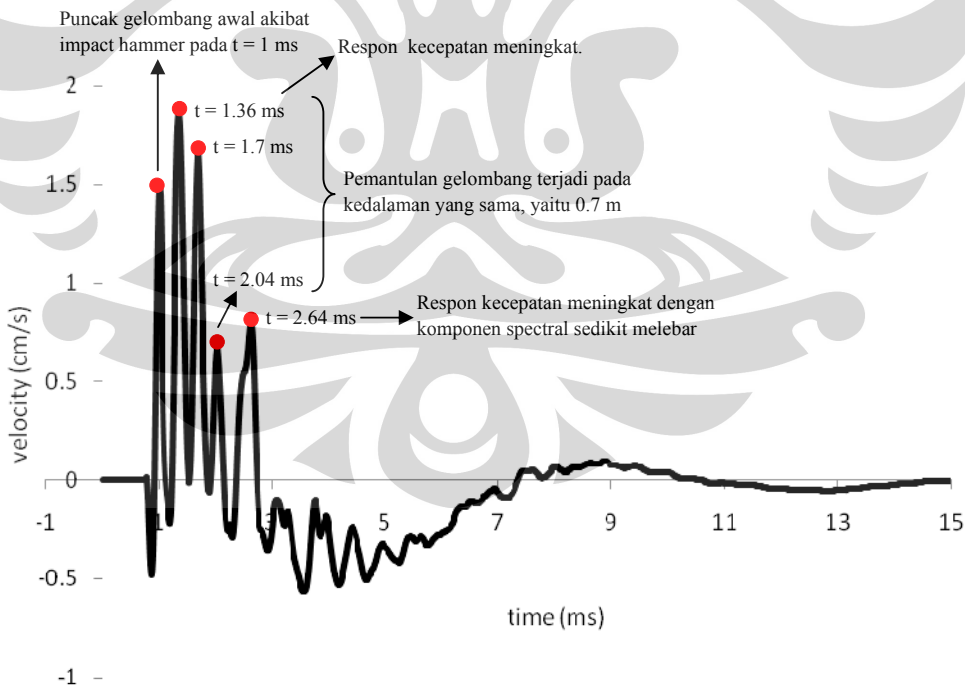
Gambar 4.67 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 2 (Grup A4)



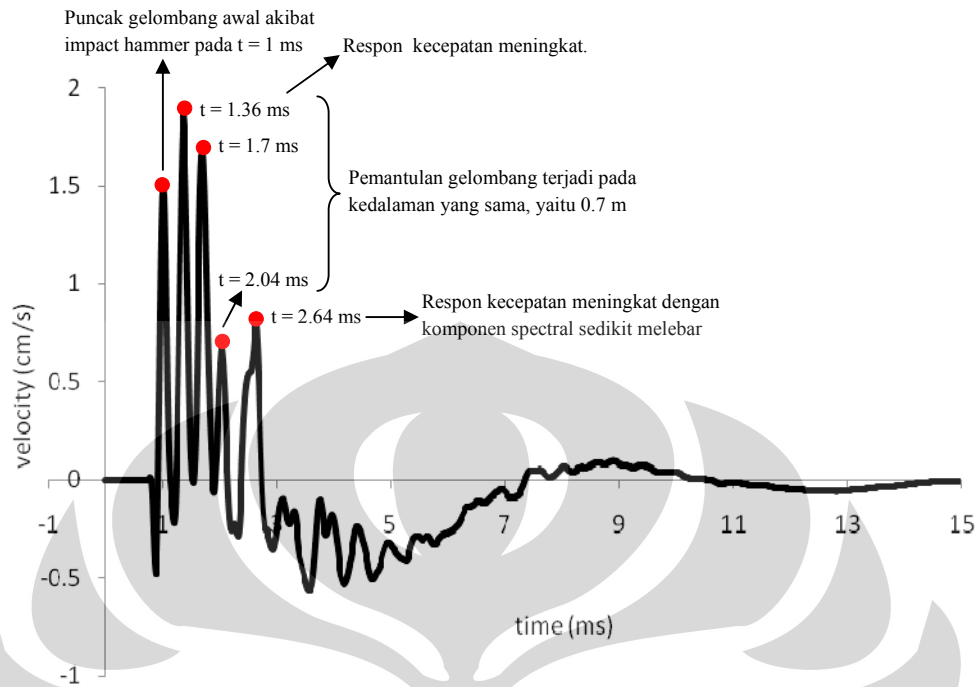
Gambar 4.68 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.69 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.70 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 5 (Grup A4)



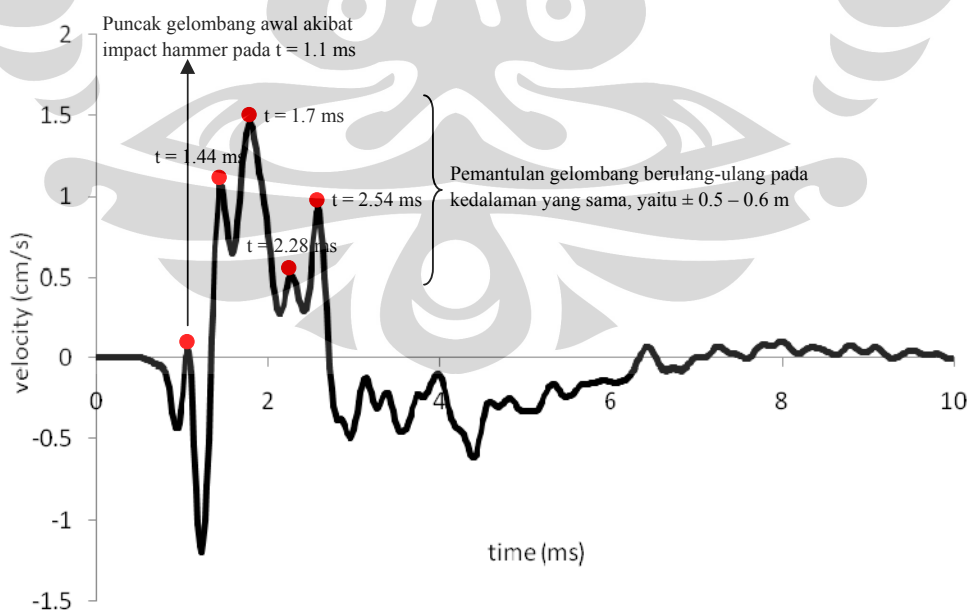
Gambar 4.71 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 2 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.66 – 4.71 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 2 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 2 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.66 – 4.71 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.36$ ms. Sedangkan dua puncak gelombang setelah $t = 1.36$ ms, yaitu pada $t = 1.7$ ms dan $t = 2.04$ ms menunjukkan pantulan gelombang terjadi pada titik yang sama, karena terjadi pada interval waktu yang sama, meskipun respon sinyal yang dihasilkan tidak sekuat puncak yang pertama pada $t = 1.36$ ms. Dengan menghubungkan waktu pemantulan gelombang (t) antar puncak-puncak tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.6 - 0.7$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.6 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi pada batas sisa tiang

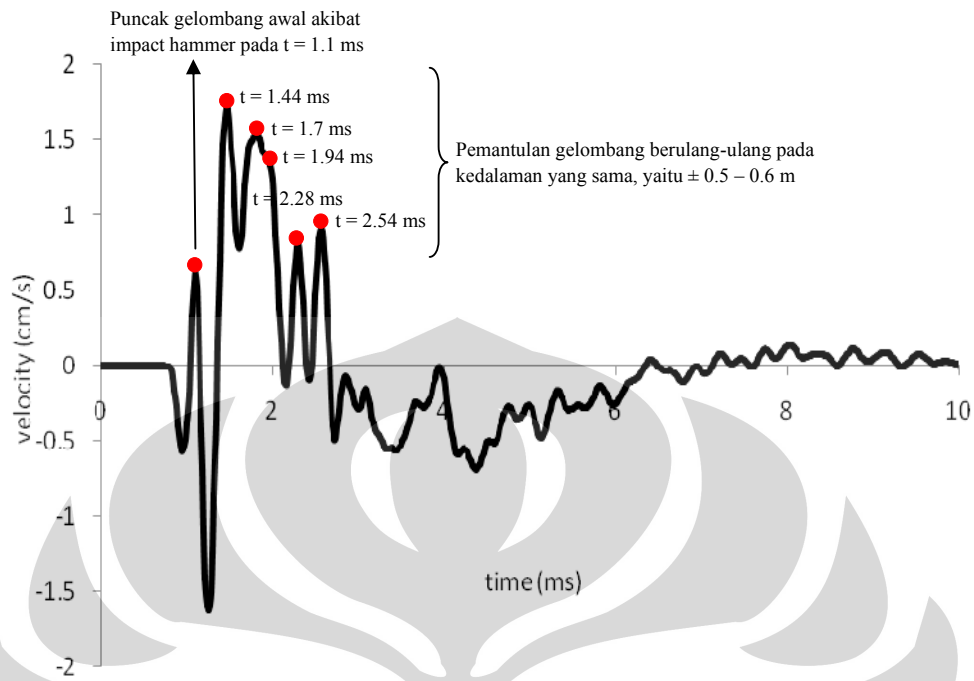
diatas permukaan tanah. Kemudian kembali terjadi tegangan gelombang pada $t = 2.64$ ms yang menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang kembali meningkat dan komponen respon yang sedikit melebar. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 1.64 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 3.28 m dari atas tiang. Respon kecepatan yang meningkat tersebut dapat mengindikasikan terjadi suatu pengurangan impedansi di sekitar bagian atas tiang. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah dan dari suatu perubahan impedansi terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.3 Tiang 3

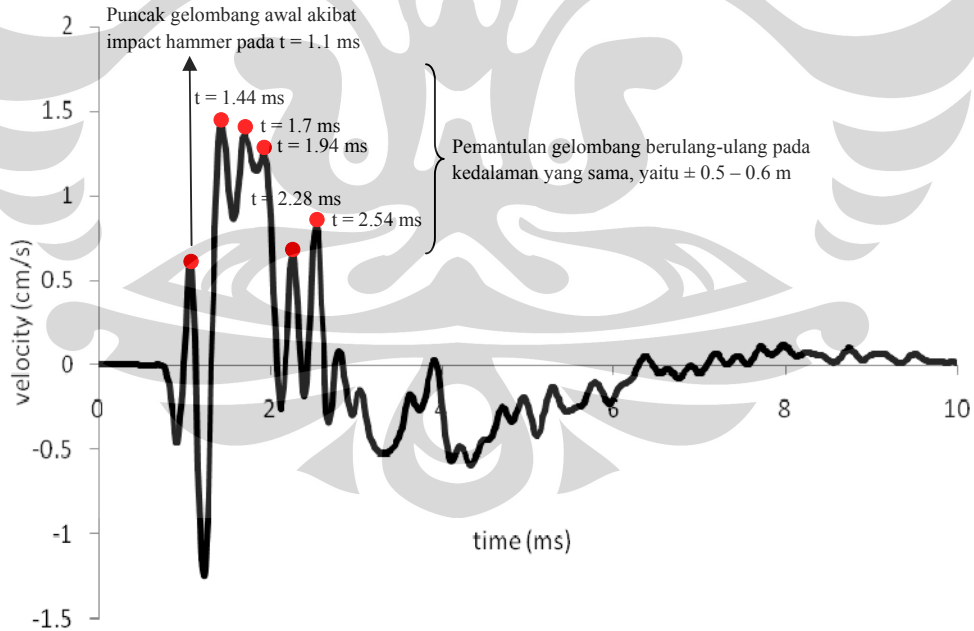
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



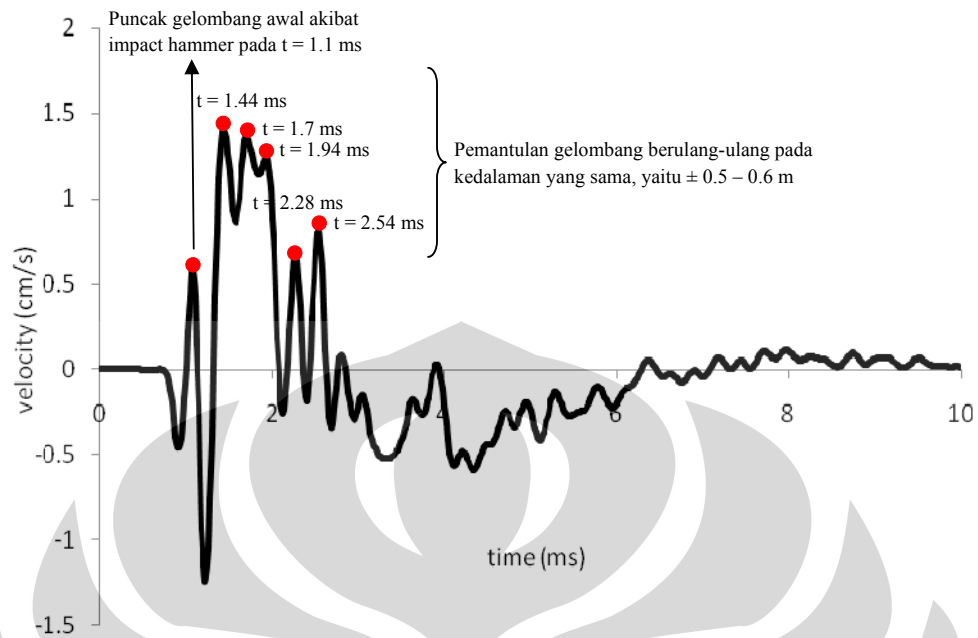
Gambar 4.72 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 1 (Grup A4)



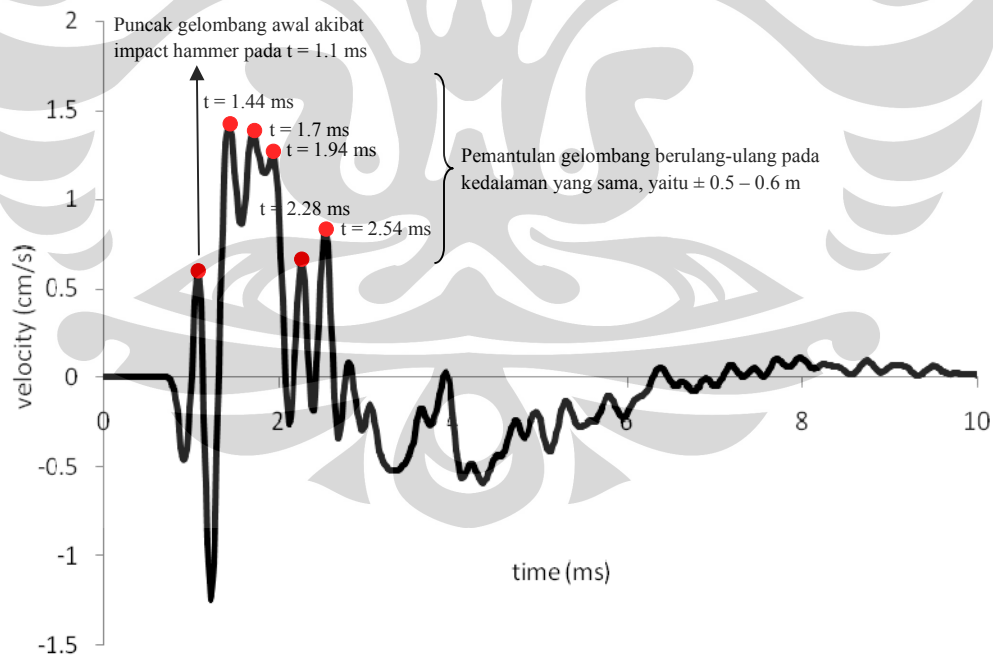
Gambar 4.73 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 2 (Grup A4)



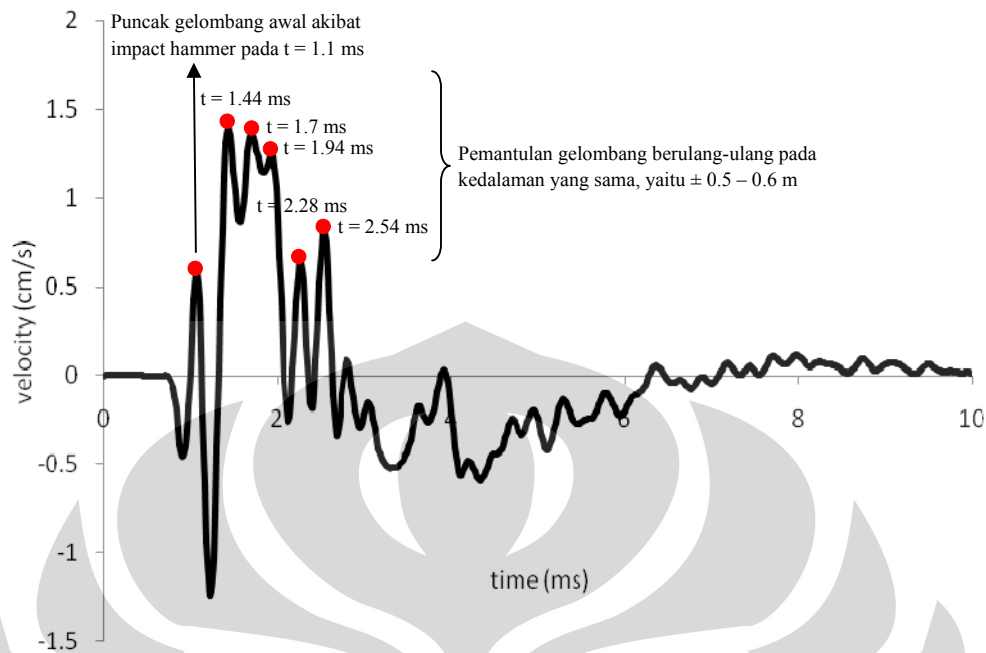
Gambar 4.74 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.75 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.76 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 5 (Grup A4)



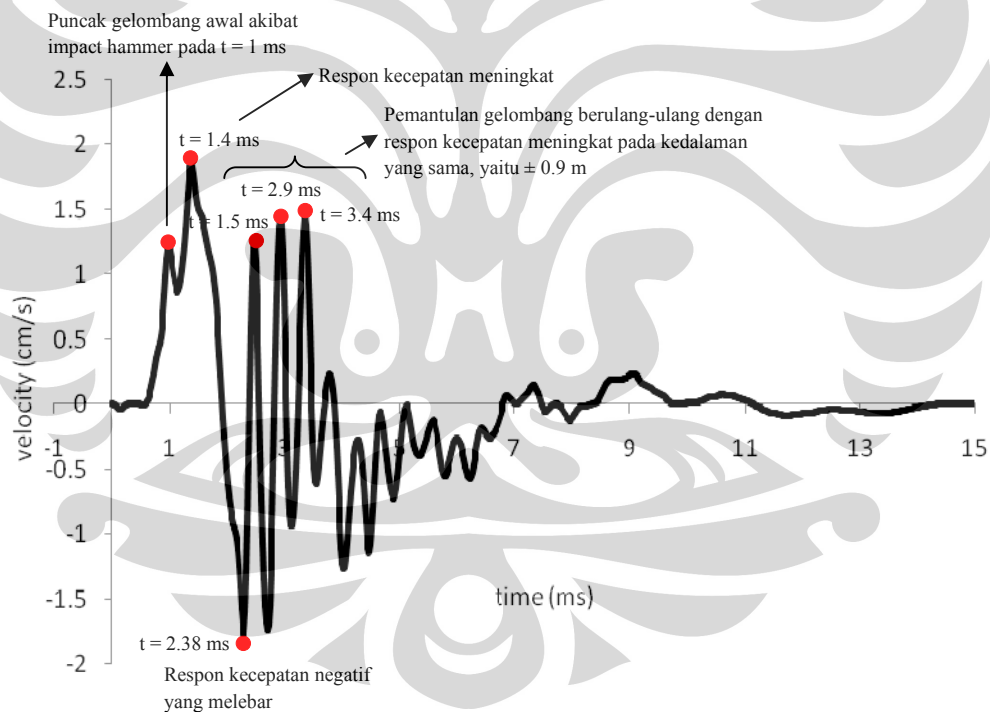
Gambar 4.77 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 3 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.72 – 4.77 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 3 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 3 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.72 – 4.77 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga terjadi puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.44$ ms. Sedangkan empat puncak gelombang setelah $t = 1.44$ ms, yaitu pada $t = 1.7$ ms, $t = 1.94$ ms, $t = 2.28$ dan $t = 2.54$ ms menunjukkan pantulan gelombang terjadi pada titik yang sama, karena terjadi pada interval waktu yang sama, meskipun respon sinyal yang dihasilkan tidak sekuat puncak yang pertama pada $t = 1.44$ ms. Dengan menghubungkan waktu pemantulan gelombang (t) antar puncak-puncak tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.6 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi

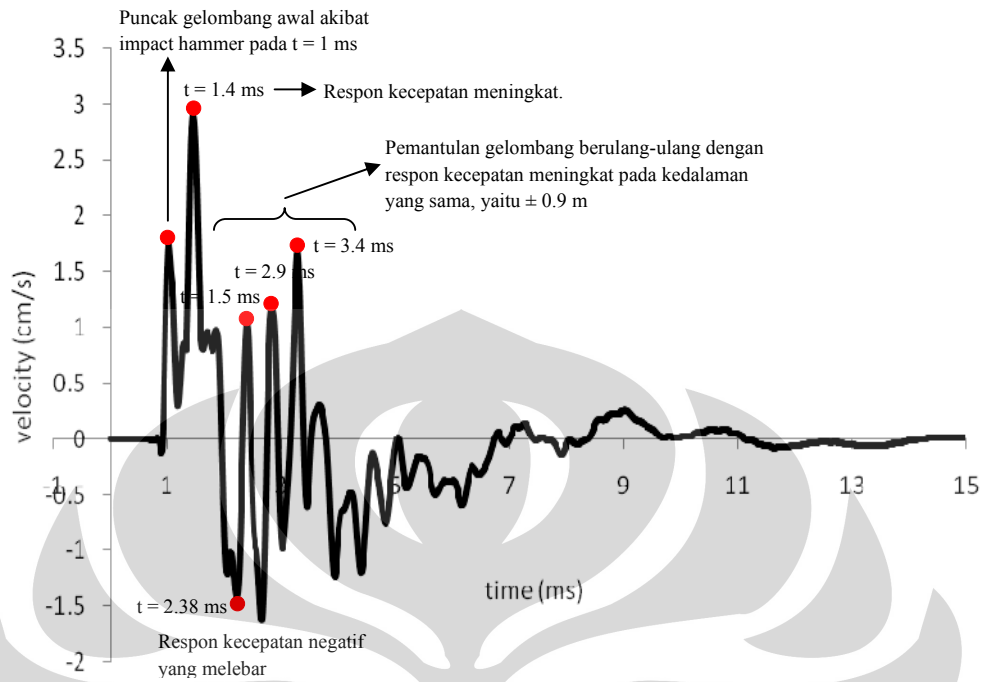
pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.4 Tiang 4

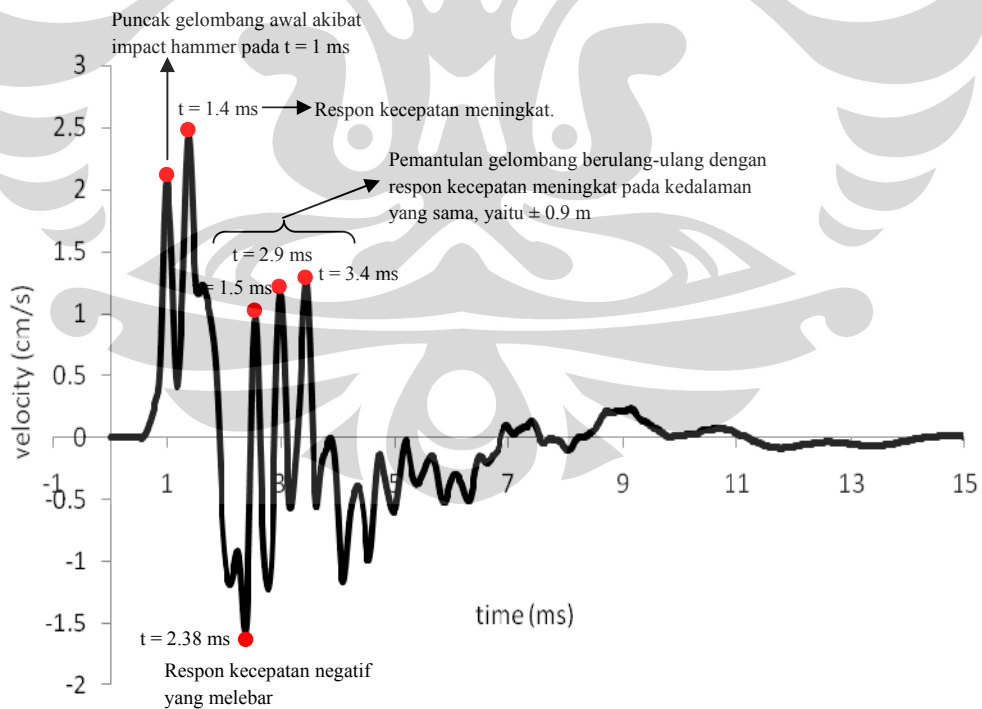
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.9 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



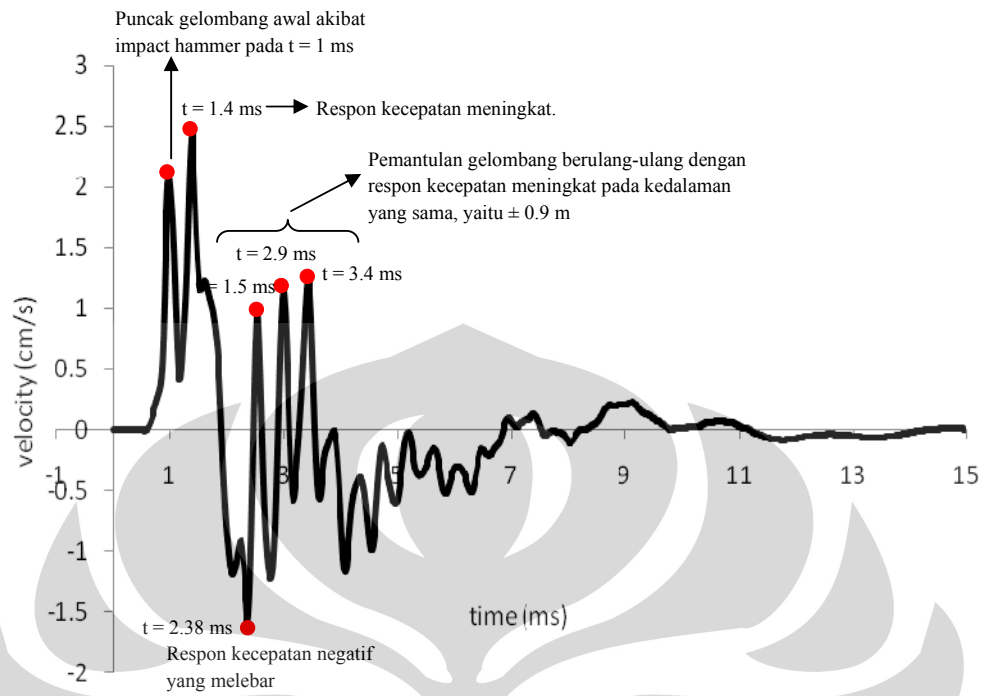
Gambar 4.78 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 1 (Grup A4)



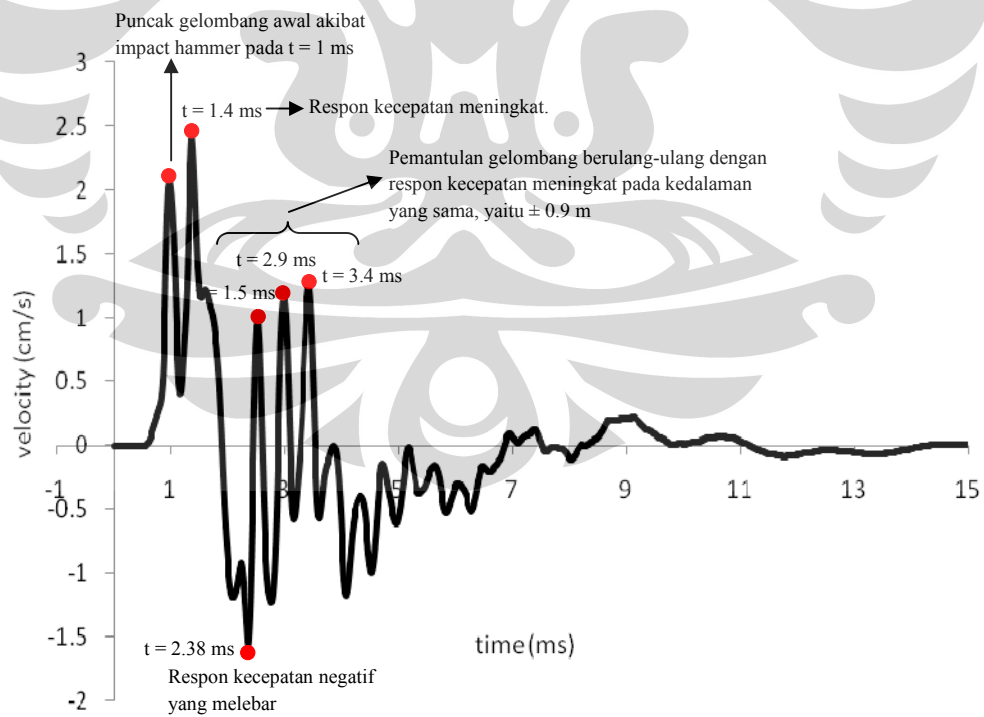
Gambar 4.79 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 2 (Grup A4)



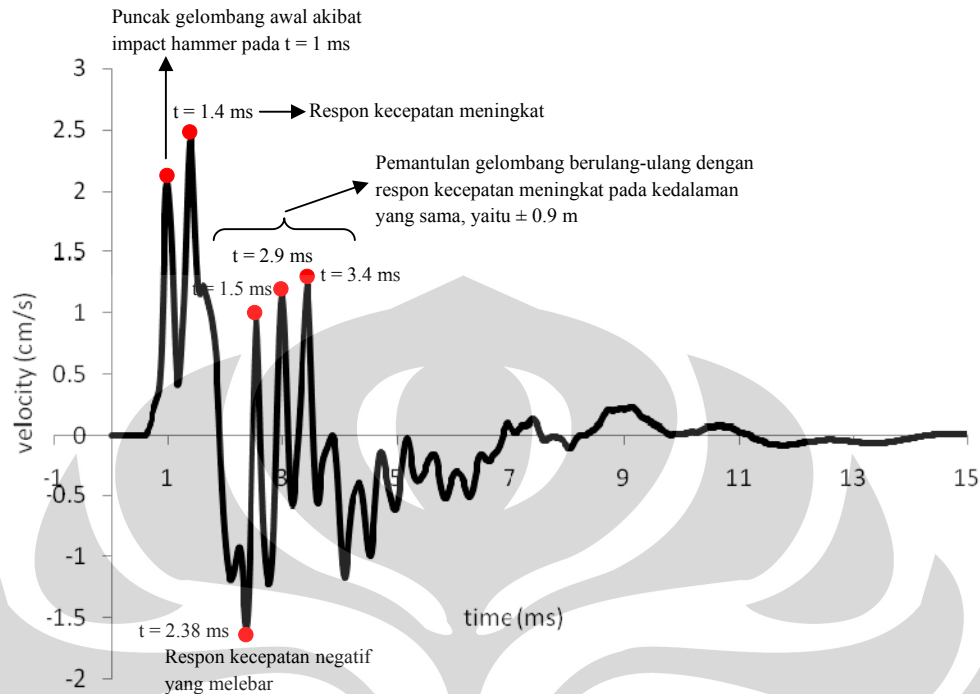
Gambar 4.80 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.81 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.82 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 5 (Grup A4)



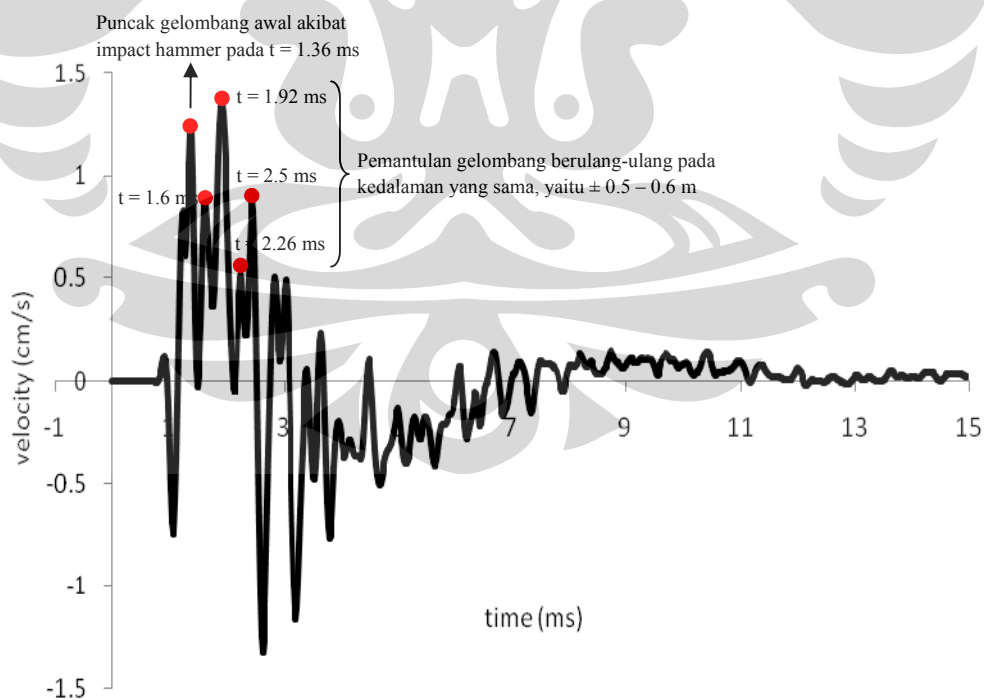
Gambar 4.83 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 4 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.78 – 4.83 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 4 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 4 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.78 – 4.83 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga terjadi puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.4$ ms, diikuti respon kecepatan negatif dengan komponen spektrum yang secara relatif melebar pada $t = 2.38$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 1.38 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 2.76 m dari atas tiang. Hal ini dapat mengindikasikan terjadi suatu perubahan impedansi pada tiang di kedalaman tersebut. Pada grafik terlihat juga adanya pemantulan gelombang yang berulang-ulang pada titik yang sama dengan respon kecepatan positif yang relatif meningkat, yang terjadi mulai dari $t = 1.5$ ms sampai dengan $t = 3.4$ ms.

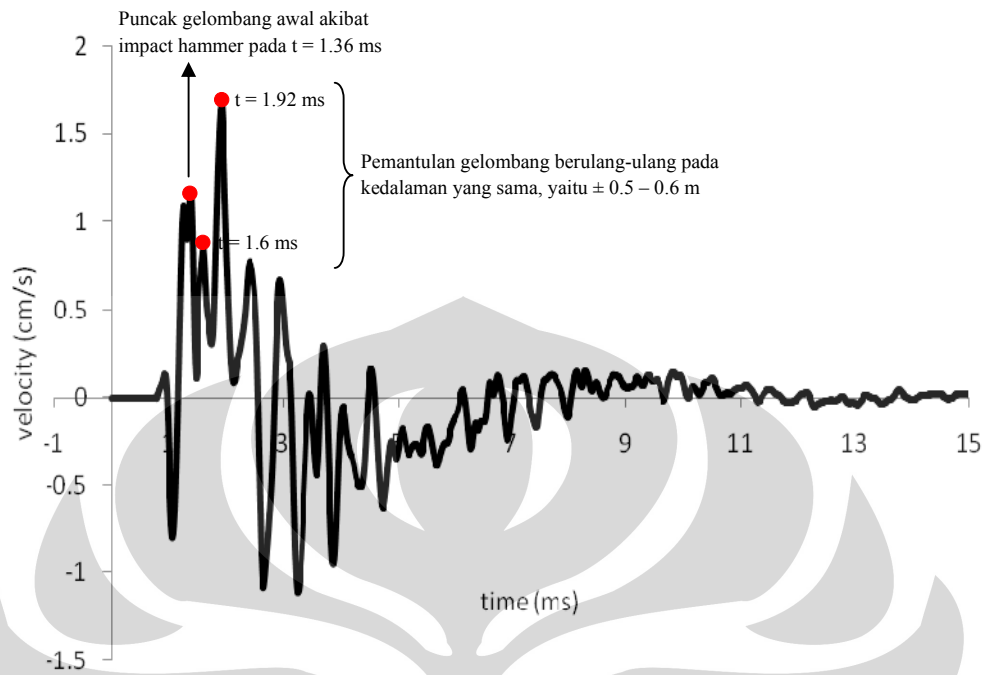
Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antar puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman ± 0.9 m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.9 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah dan dari perubahan impedansi tiang terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.5 Tiang 5

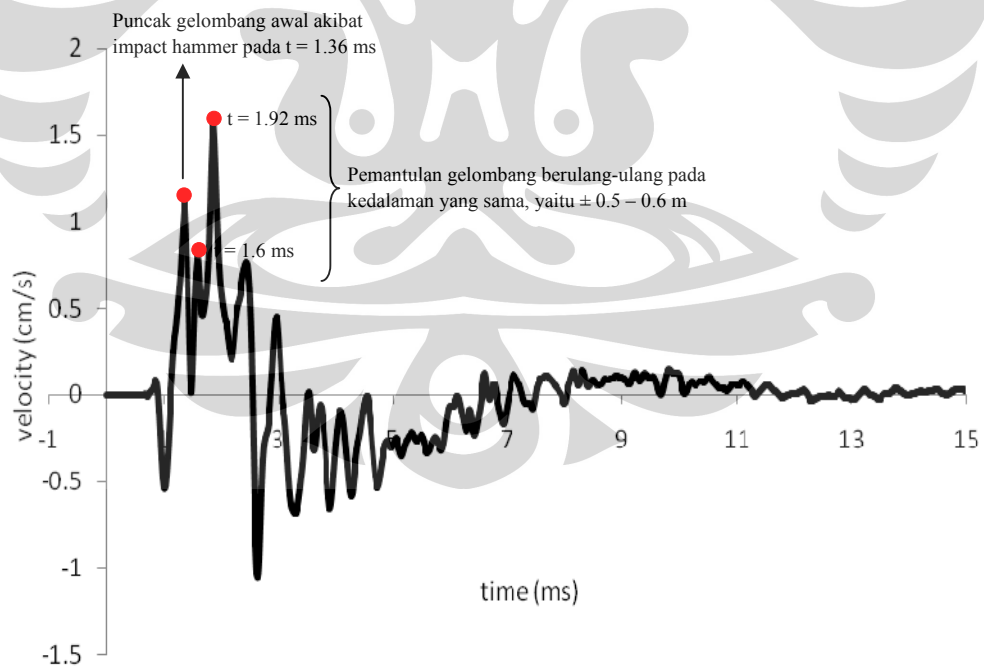
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



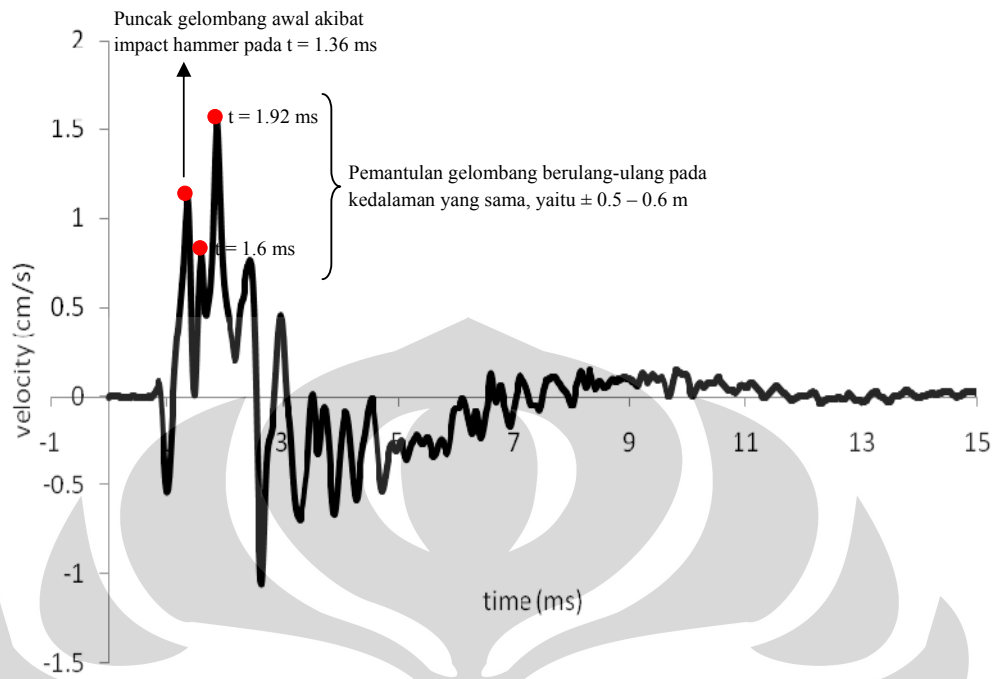
Gambar 4.84 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 1 (Grup A4)



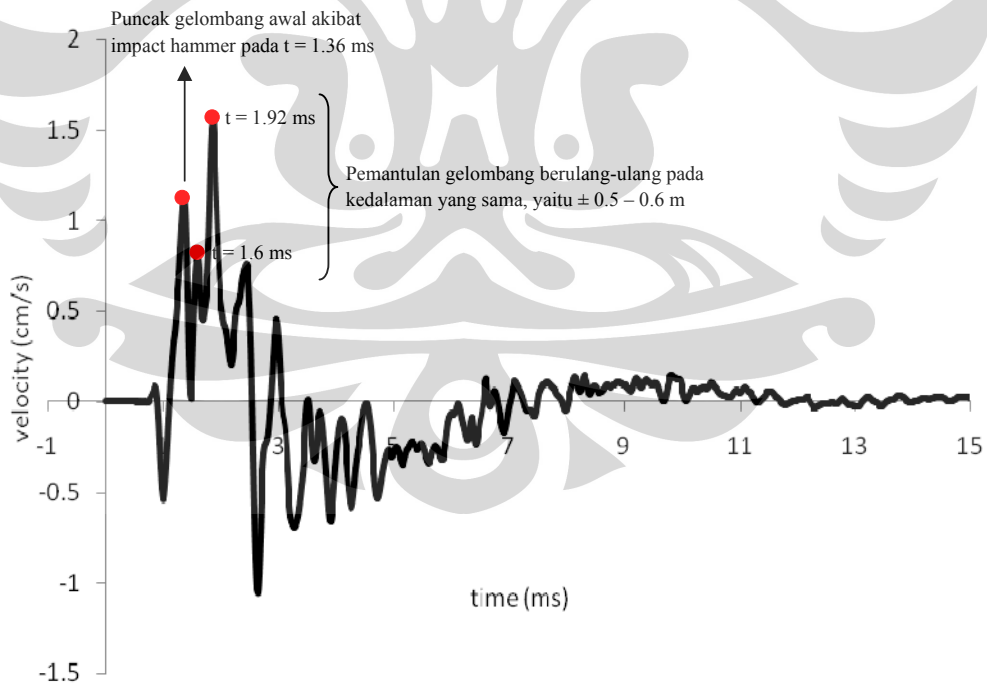
Gambar 4.85 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 2 (Grup A4)



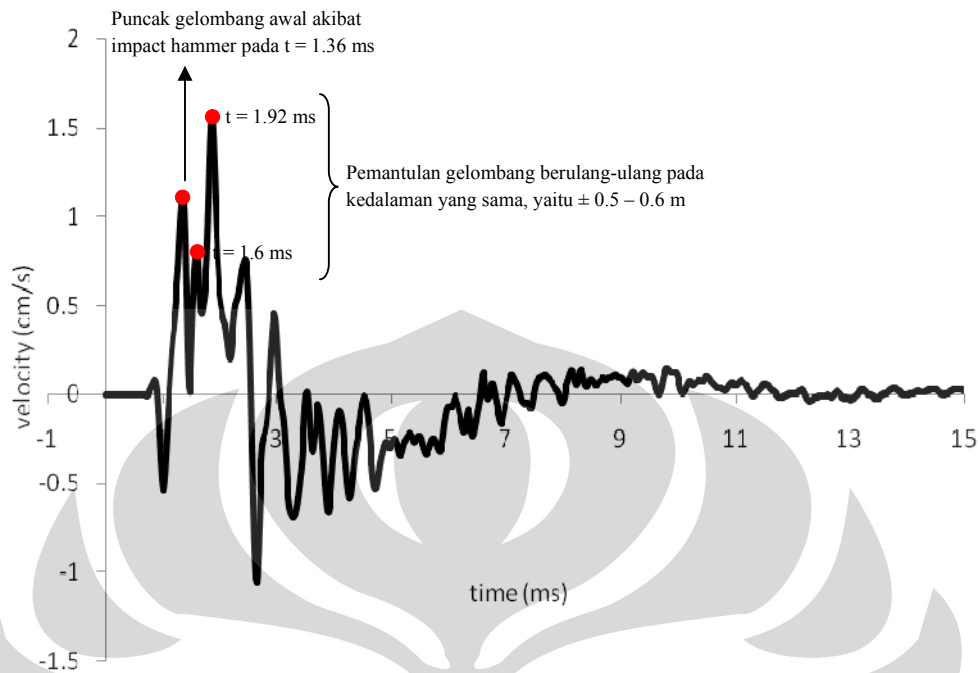
Gambar 4.86 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.87 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.88 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 5 (Grup A4)



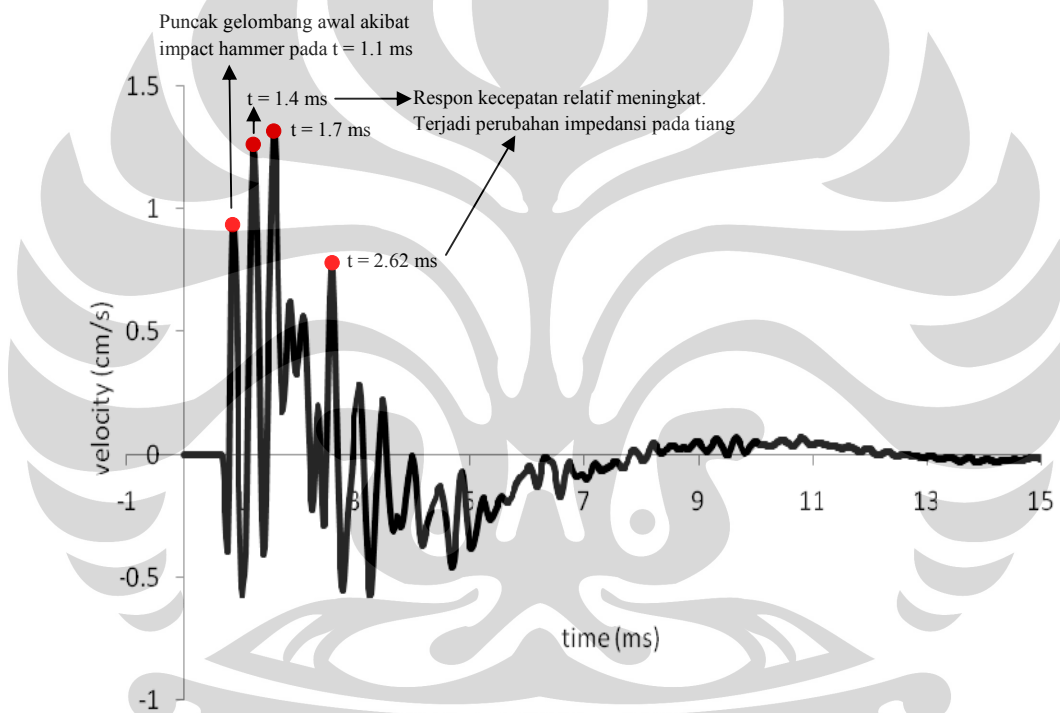
Gambar 4.89 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 5 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.84 – 4.89 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 5 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 5 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.84 – 4.89 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pemantulan sinyal gelombang pada tiang 5 ini memiliki komponen respon yang relatif rapat. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.36$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang pada titik yang sama. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antar puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.6 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan,

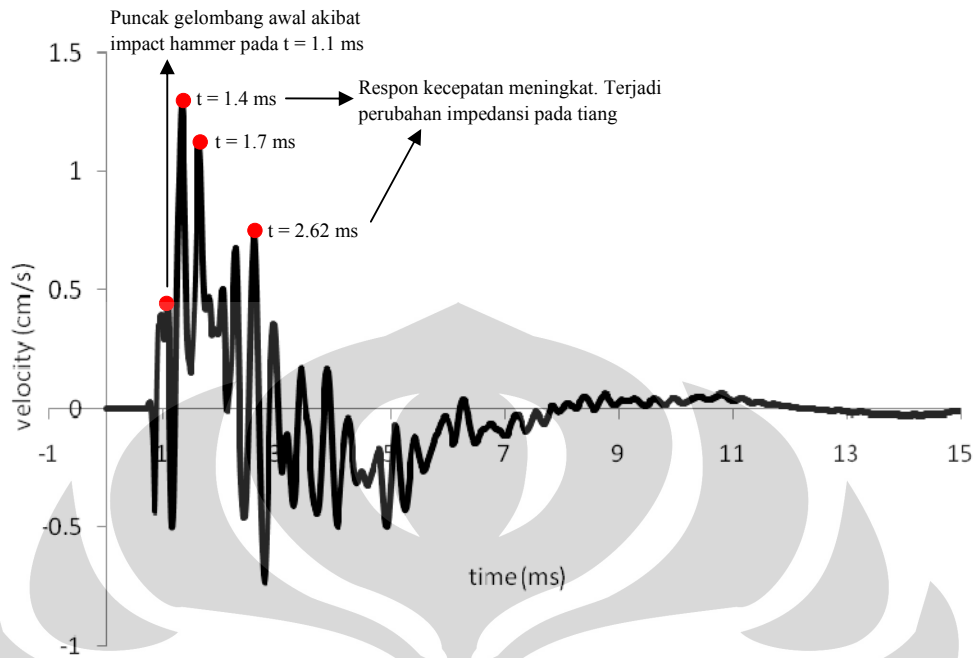
maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.6 Tiang 6

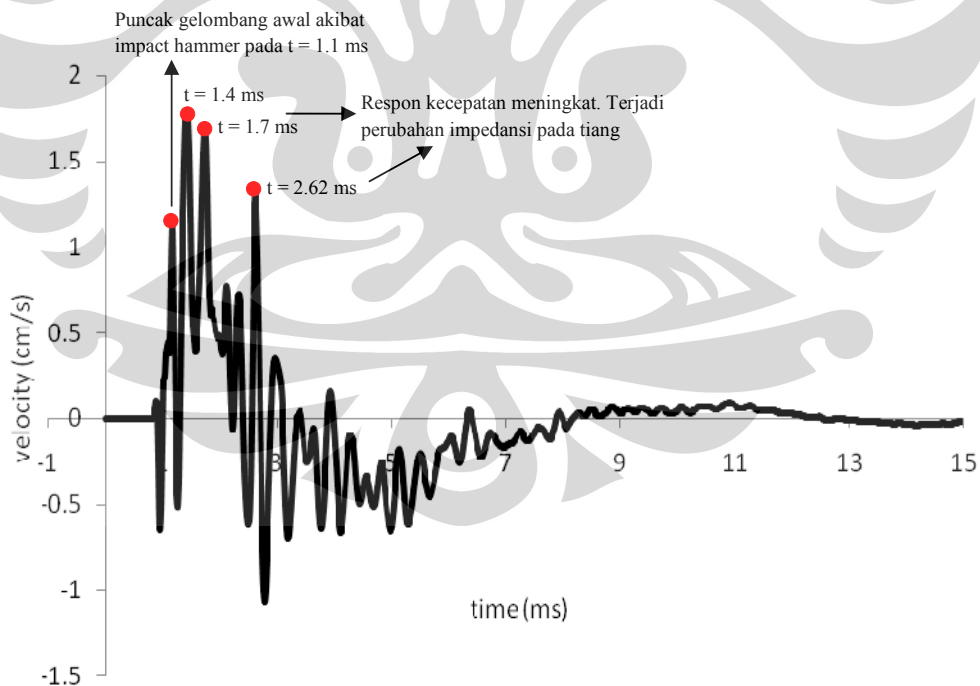
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 1 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



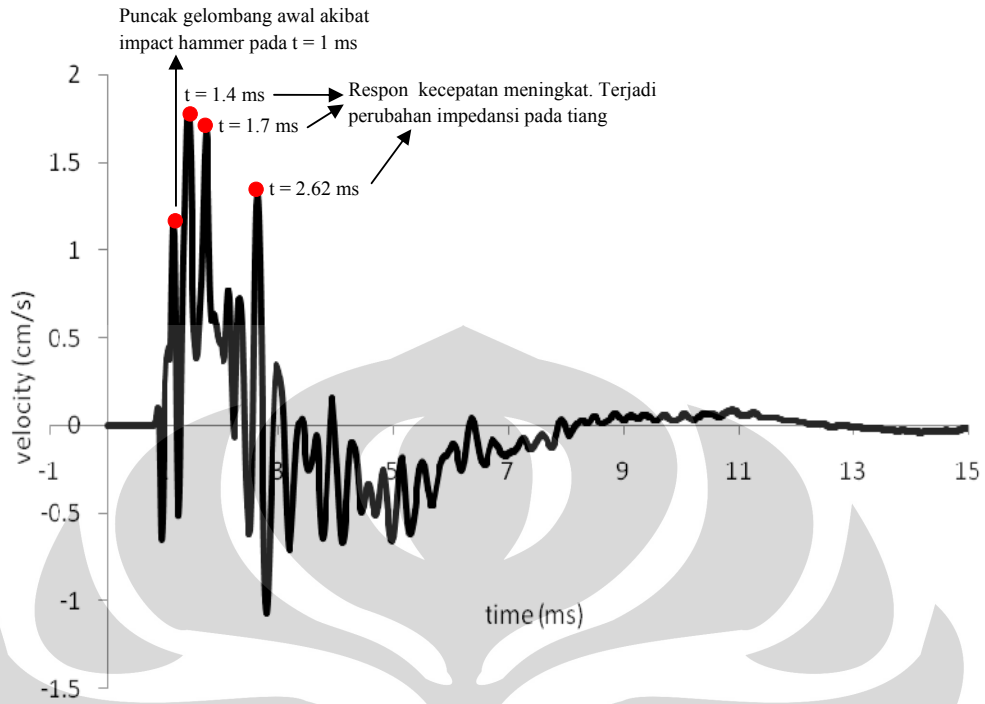
Gambar 4.90 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 1 (Grup A4)



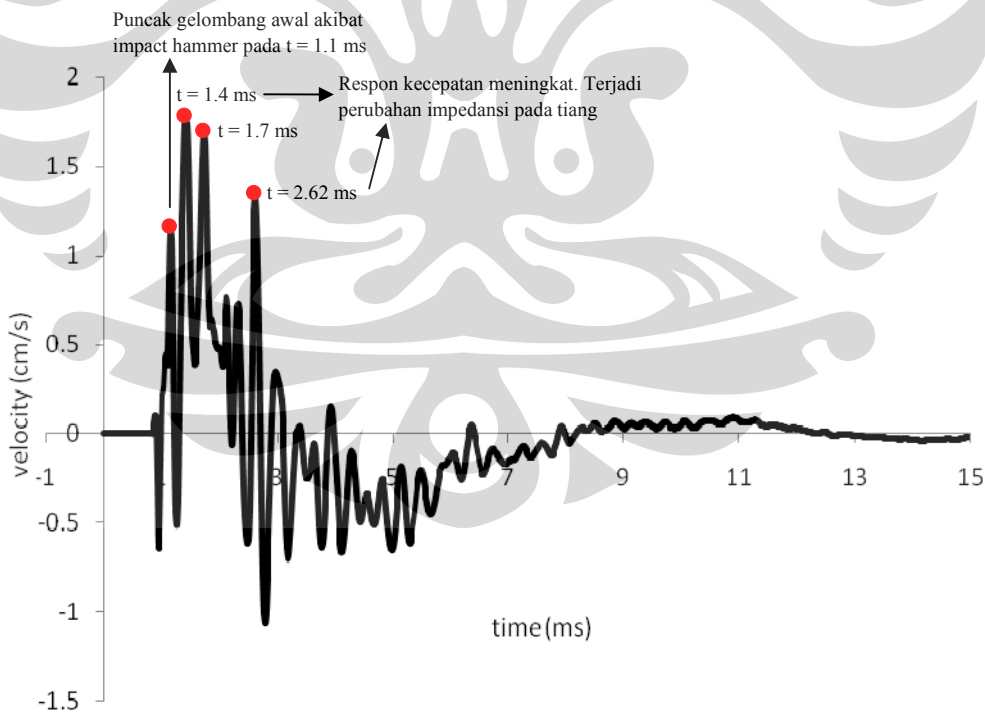
Gambar 4.91 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 2 (Grup A4)



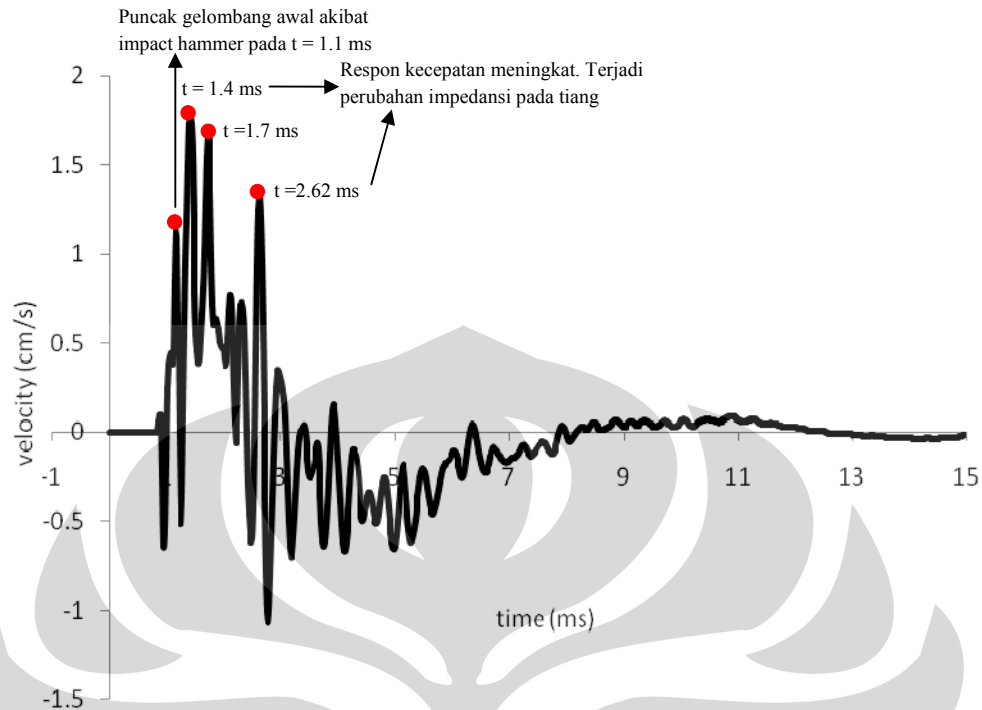
Gambar 4.92 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.93 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.94 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 5 (Grup A4)



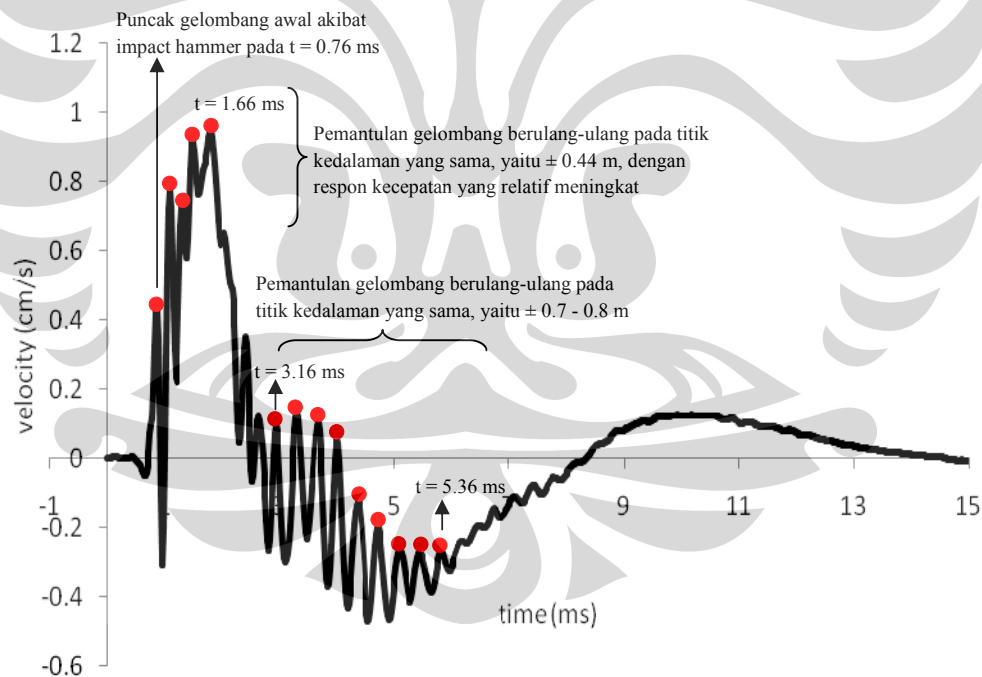
Gambar 4.95 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 6 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.90 – 4.95 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 6 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.90 – 4.95 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pemantulan sinyal gelombang pada tiang 6 ini memiliki komponen respon yang relatif rapat. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi tegangan pada gelombang sehingga terjadi puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat, yang terjadi pada $t = 1.4$ ms. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 0.4 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 0.6 m dari atas tiang. Setelah $t = 1.4$ ms, respon sinyal kehilangan energi dan kemudian pada $t = 2.62$ ms kembali terjadi tegangan pada gelombang yang menghasilkan puncak gelombang dengan respon kecepatan yang meningkat. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 1.52 ms dan berdasarkan analisa perhitungan

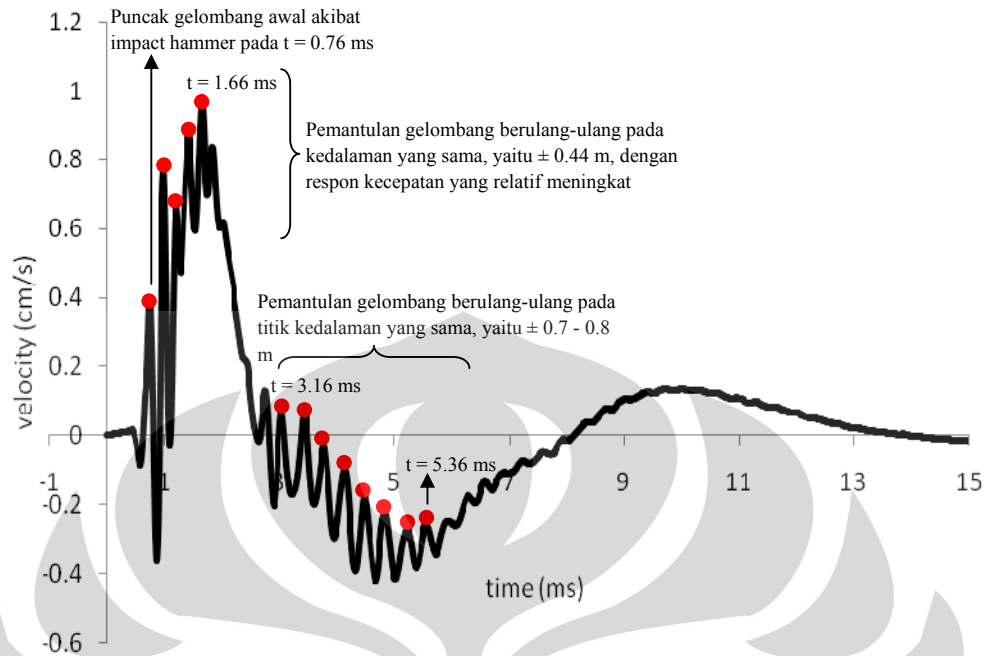
kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 3.04 m dari atas tiang. Respon kecepatan yang meningkat tersebut dapat mengindikasikan terjadi suatu pengurangan impedansi pada tiang. Karena pantulan gelombang yang kuat dari suatu perubahan impedansi tersebut terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.7 Tiang 7

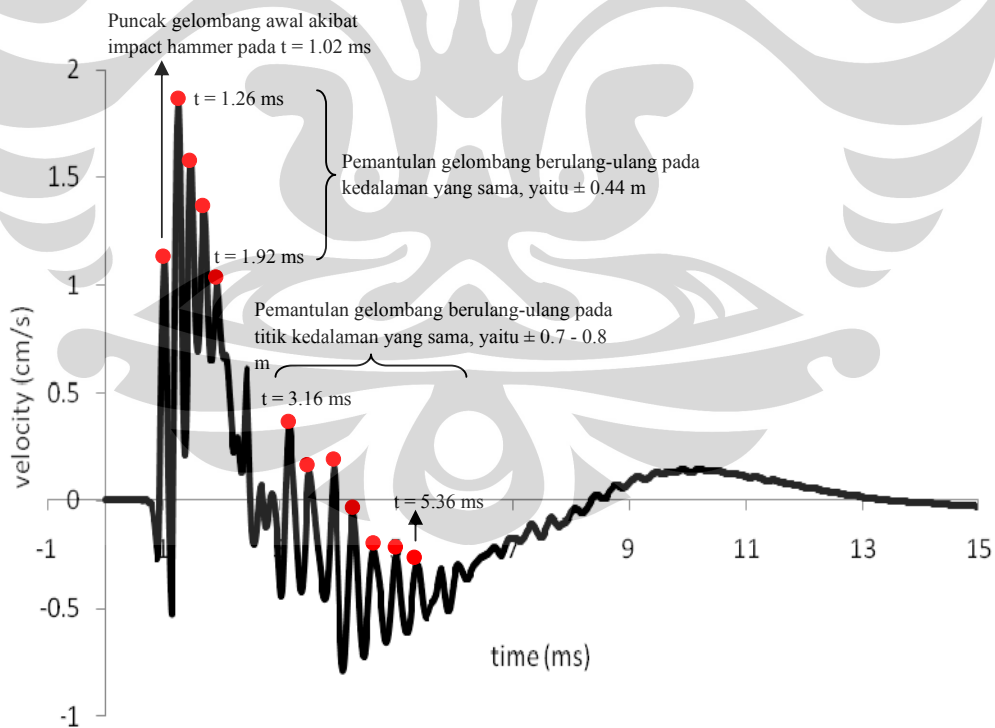
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = 0.8 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



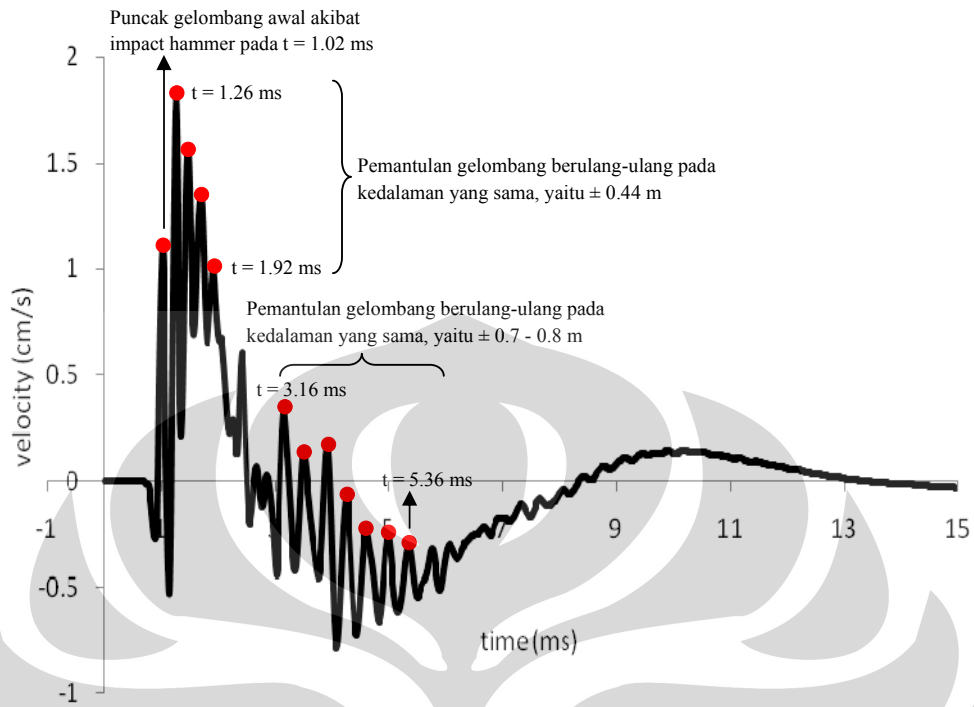
Gambar 4.96 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 1 (Grup A4)



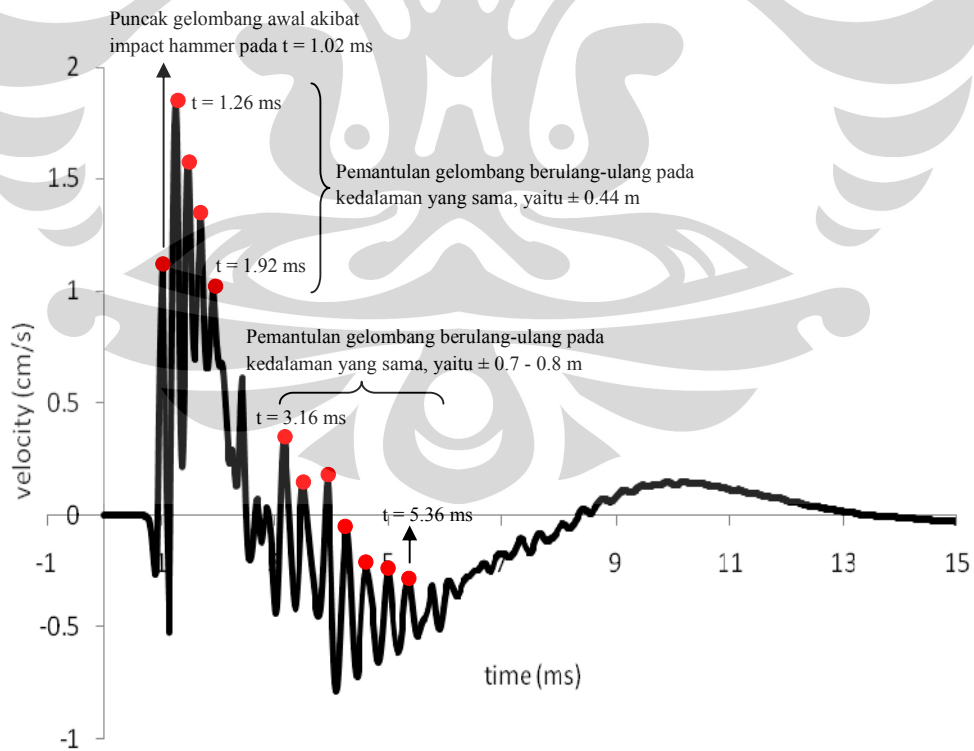
Gambar 4.97 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 2 (Grup A4)



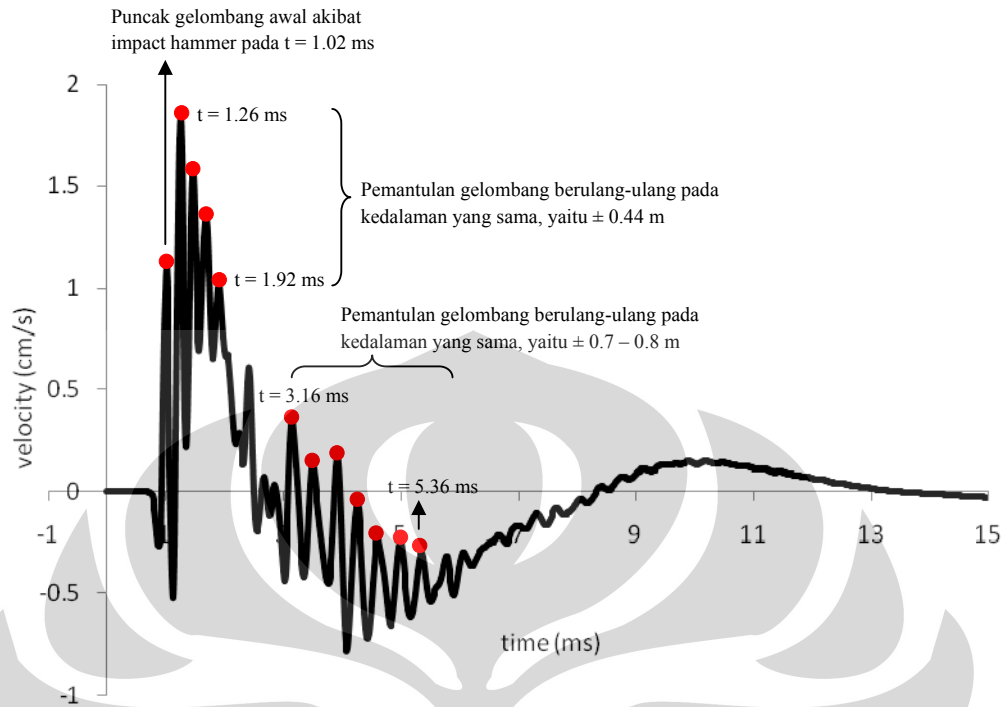
Gambar 4.98 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.99 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.100 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 5 (Grup A4)



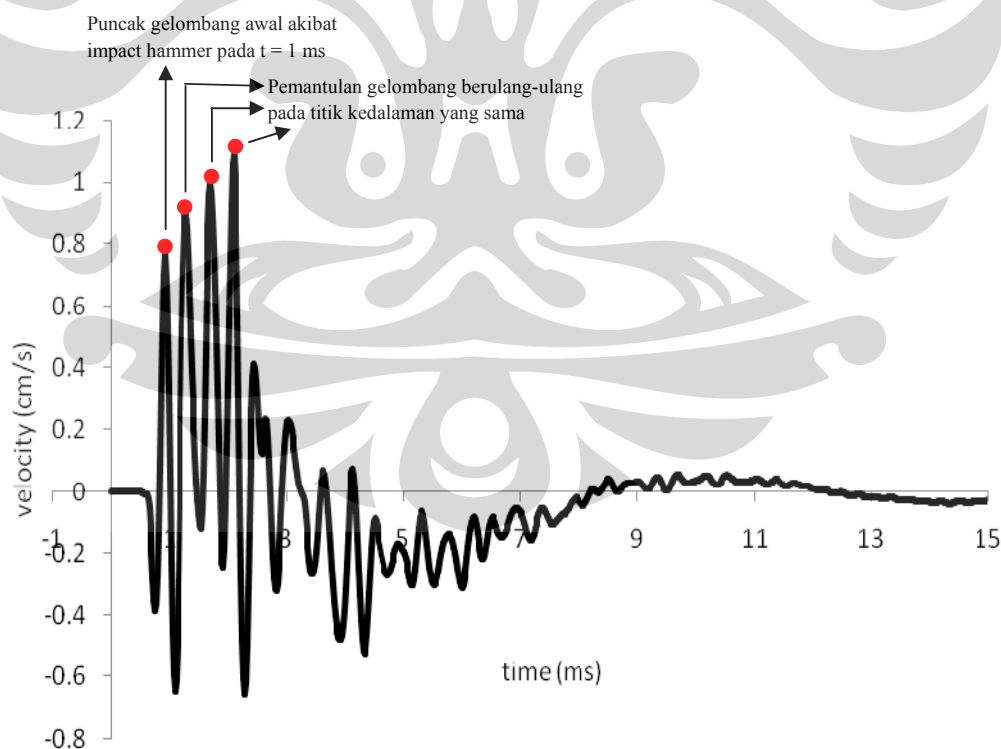
Gambar 4.101 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 7 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.96 – 4.101 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 7 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 7 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.96 – 4.101 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pemantulan sinyal gelombang pada tiang 6 ini memiliki komponen respon yang relatif rapat. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.02$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang pada kedalaman yang sama mulai dari $t = 1.26$ ms sampai $t = 1.92$ ms. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antar puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui gelombang memantul pada kedalaman ± 0.44 m dari atas tiang. Hal ini dapat mengindikasikan terjadi suatu perubahan impedansi pada tiang disekitar kedalaman tersebut. Pada grafik juga terlihat adanya pantulan gelombang yang berulang-ulang terjadi dari $t = 3.16$ ms sampai $t = 5.36$ ms. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antara puncak-puncak

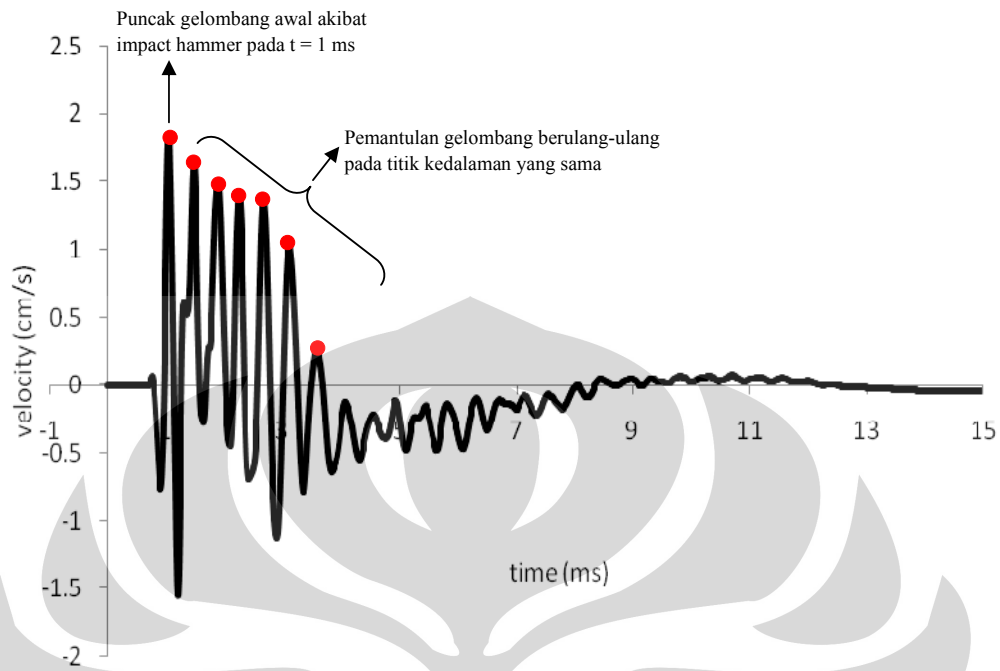
gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman $\pm 0.7 - 0.8$ m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.8 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah dan dari suatu perubahan impedansi terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.8 Tiang 8

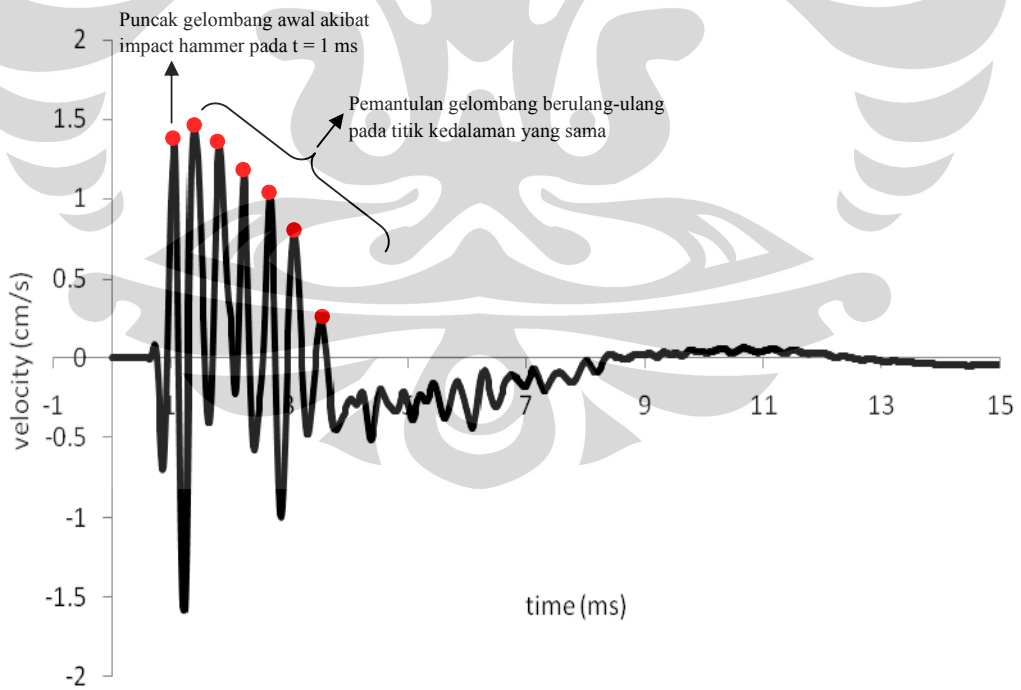
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = 0.8 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



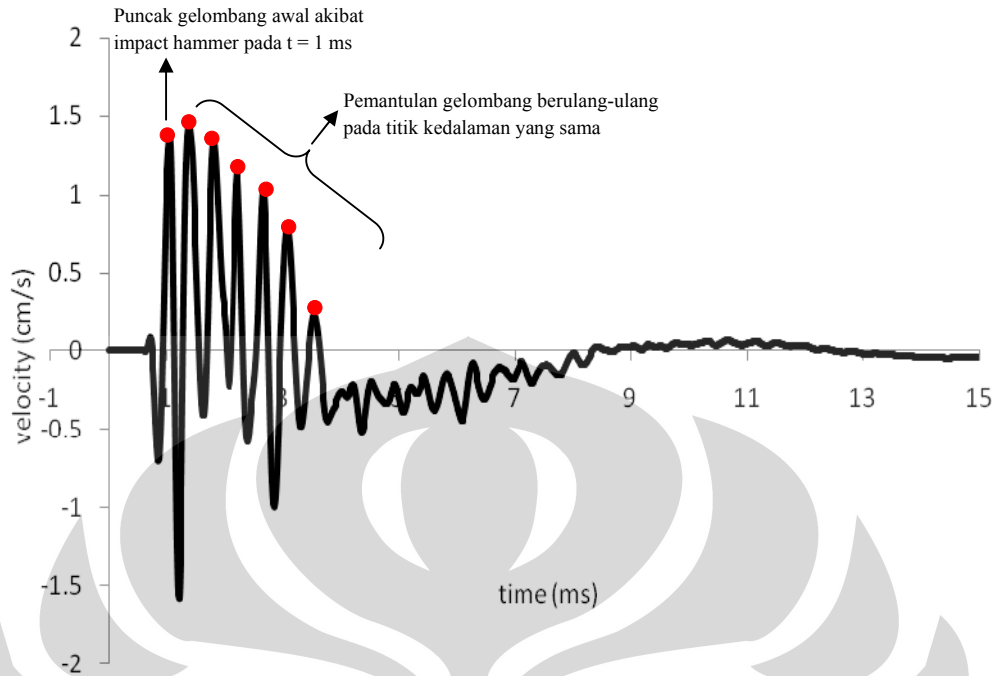
Gambar 4.102 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 1 (Grup A4)



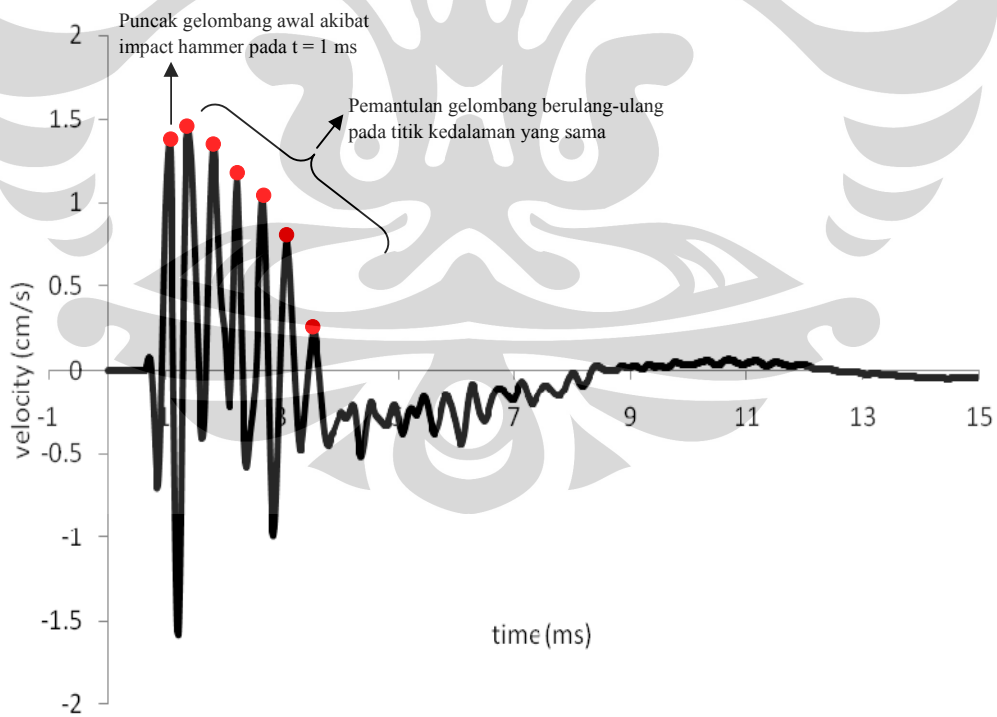
Gambar 4.103 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 2 (Grup A4)



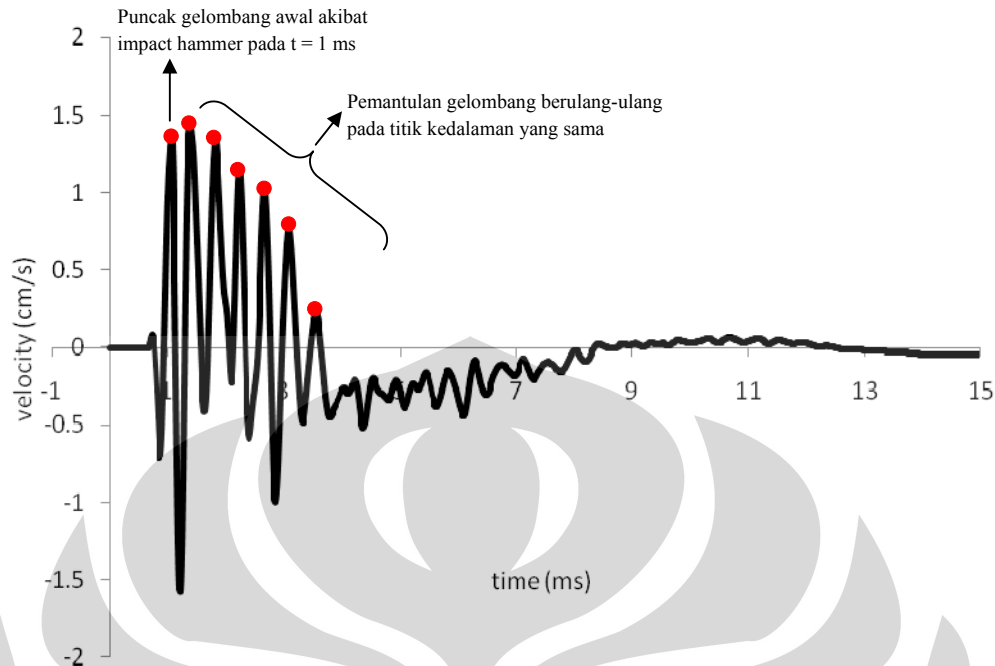
Gambar 4.104 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.105 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.106 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 5 (Grup A4)



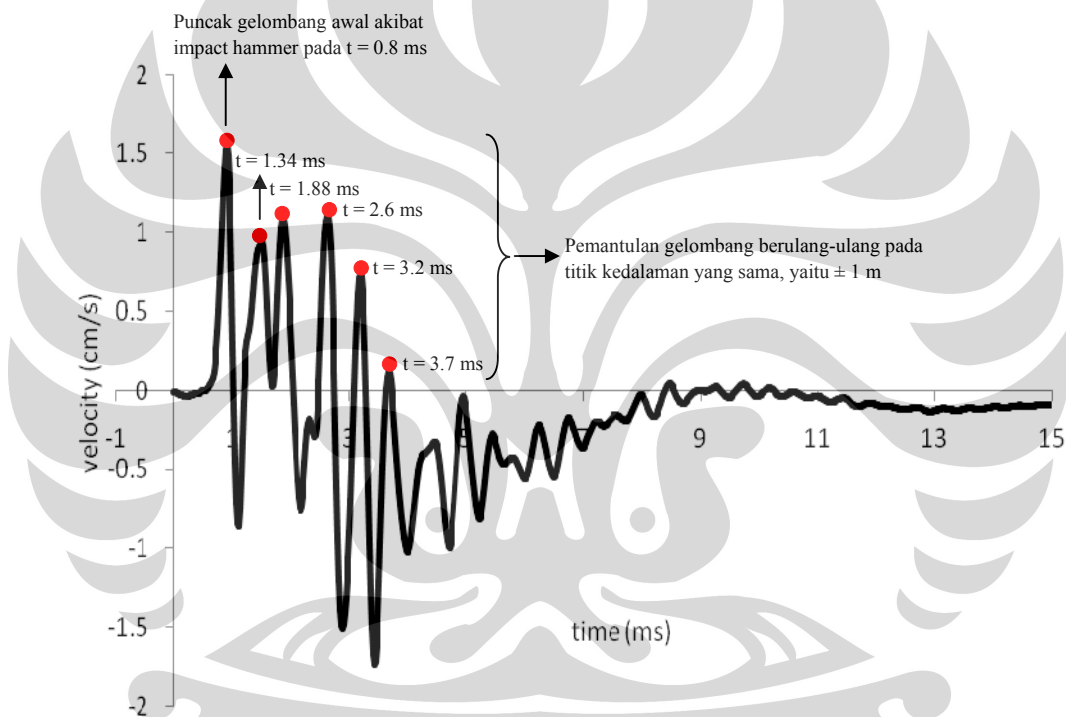
Gambar 4.107 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 8 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.102 – 4.107 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 8 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 8 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.102 – 4.107 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pemantulan sinyal gelombang pada tiang 6 ini memiliki komponen respon yang relatif rapat. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi pemantulan gelombang yang berulang-ulang dengan beda waktu (Δt) yang relatif sama. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antara puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui pemantulan gelombang terjadi pada kedalaman ± 0.8 m dari atas tiang. Karena diketahui adanya sisa panjang tiang diatas permukaan tanah, yaitu berkisar ± 0.8 m, maka dapat disimpulkan bahwa pemantulan gelombang tersebut terjadi pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah. Karena pantulan gelombang yang kuat pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, maka respon sinyal yang

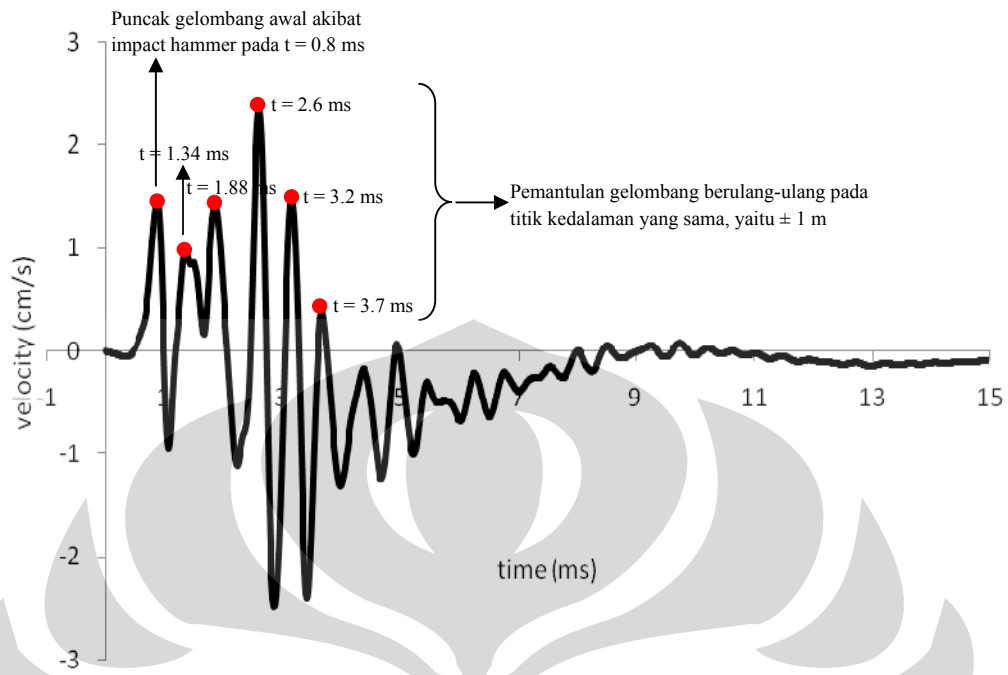
mengindikasikan pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Sehingga Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.9 Tiang 9

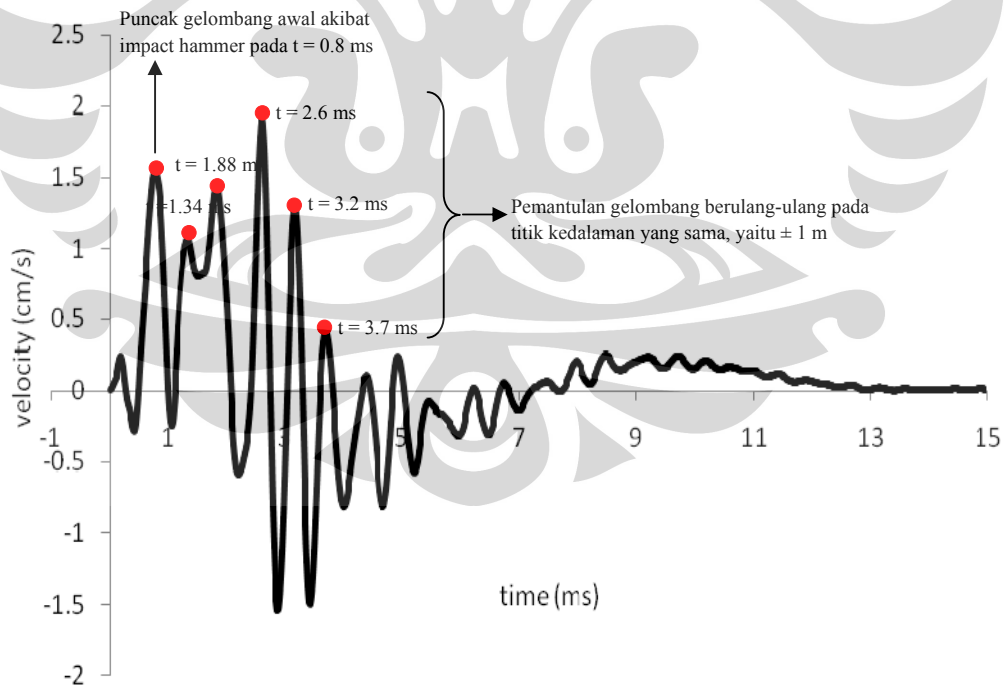
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.9 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



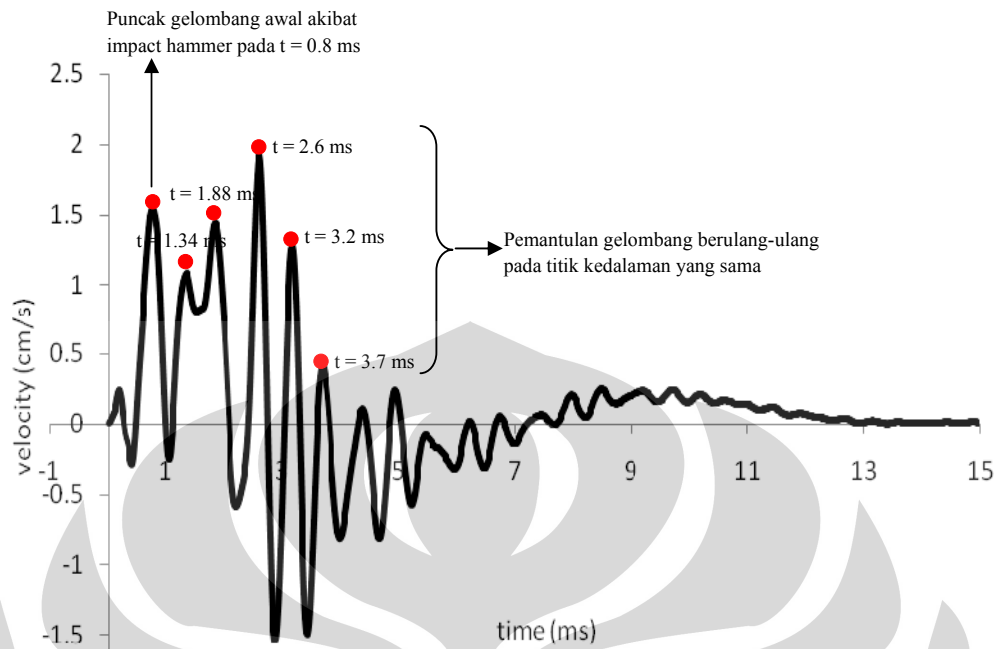
Gambar 4.108 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 1 (Grup A4)



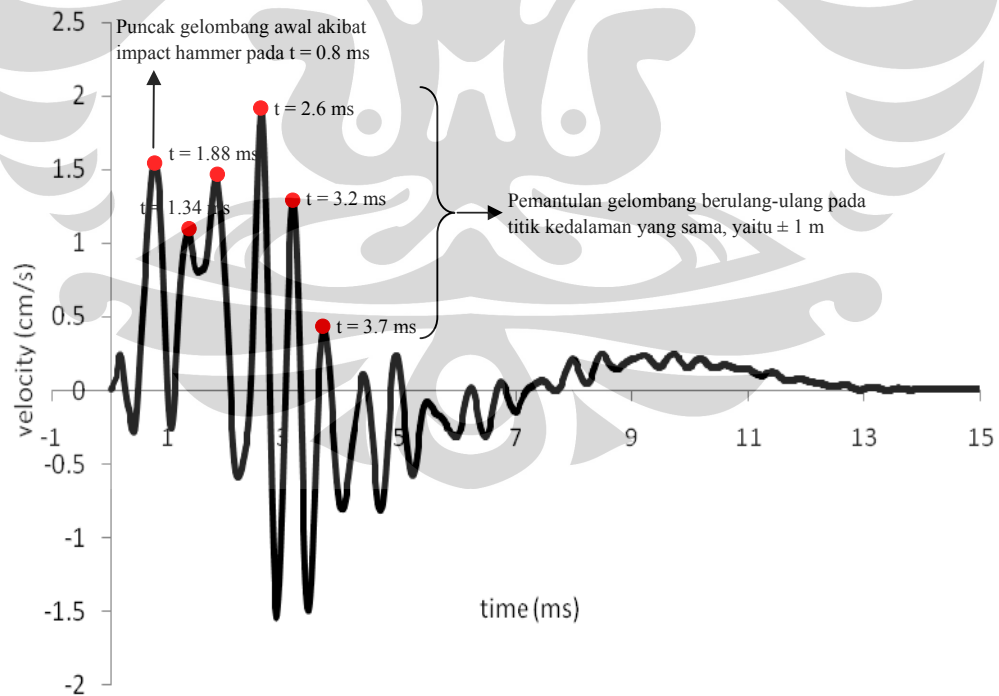
Gambar 4.109 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 2 (Grup A4)



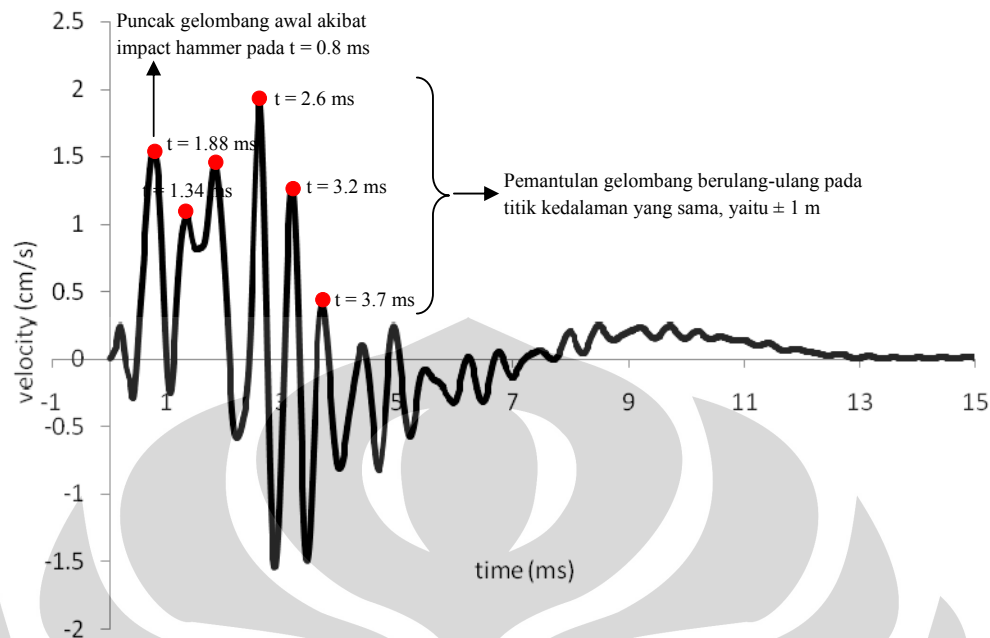
Gambar 4.110 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.111 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.112 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 5 (Grup A4)



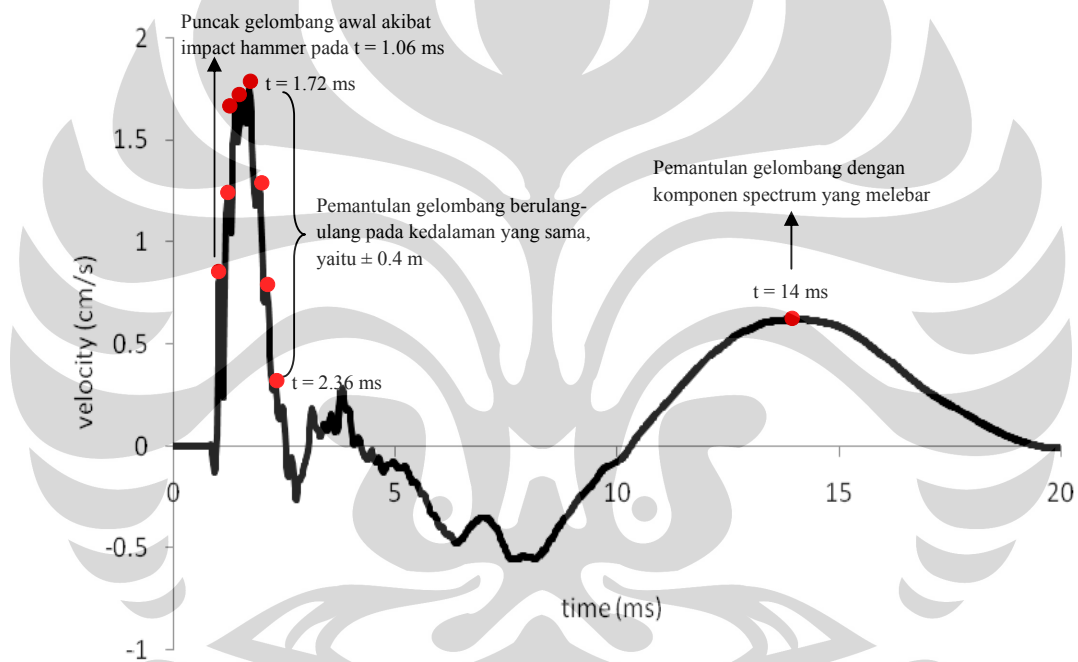
Gambar 4.113 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 9 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.108 – 4.113 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 9 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 9 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.108 – 4.113 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 0.8$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang dengan respon kecepatan yang relatif meningkat di kedalaman yang sama pada $t = 1.34$ ms dan $t = 1.88$ ms, diikuti dengan komponen spektrum yang sedikit melebar, kemudian kembali terjadi pantulan gelombang berulang-ulang dengan respon kecepatan yang relatif menurun pada kedalaman yang sama, mulai dari $t = 2.6$ ms sampai $t = 3.7$ ms. Dengan menghubungkan waktu terjadinya pemantulan (t) antara puncak-puncak gelombang tersebut dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui pemantulan gelombang terjadi pada kedalaman ± 1 m dari atas tiang. Hal ini berarti terdapat suatu cacat atau perubahan impedansi tiang pada kedalaman 1 m. Karena pemantulan gelombang berulang-ulang pada titik tersebut terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan, sehingga mengakibatkan respon sinyal yang mengindikasikan

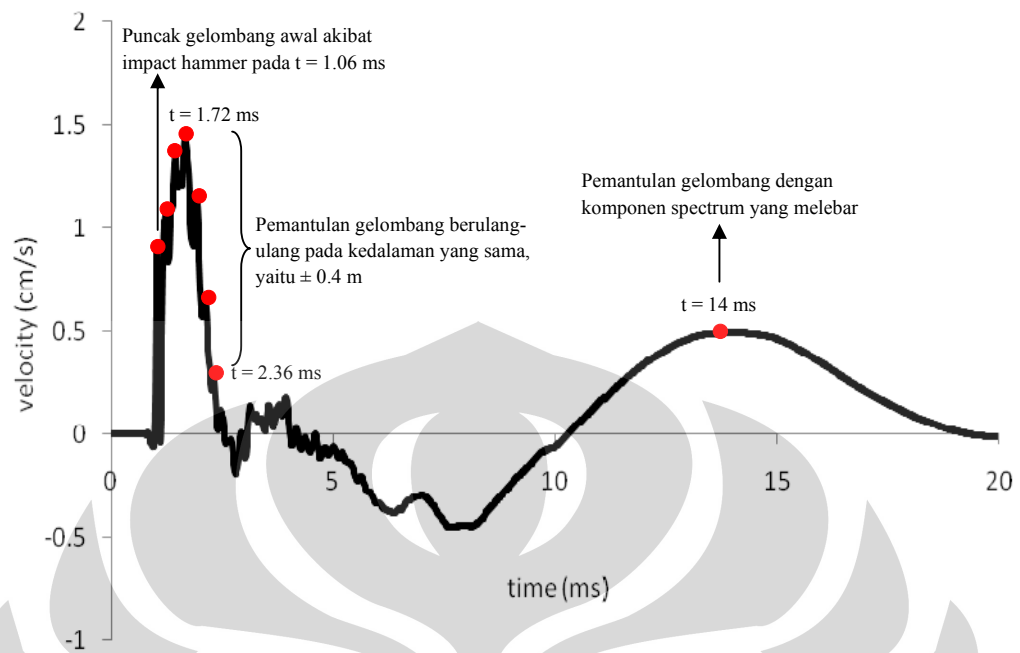
pantulan pada ujung tiang menjadi tidak jelas. Oleh karena itu, Penulis sulit untuk menentukan panjang tiang.

4.2.1.2.10 Tiang 10

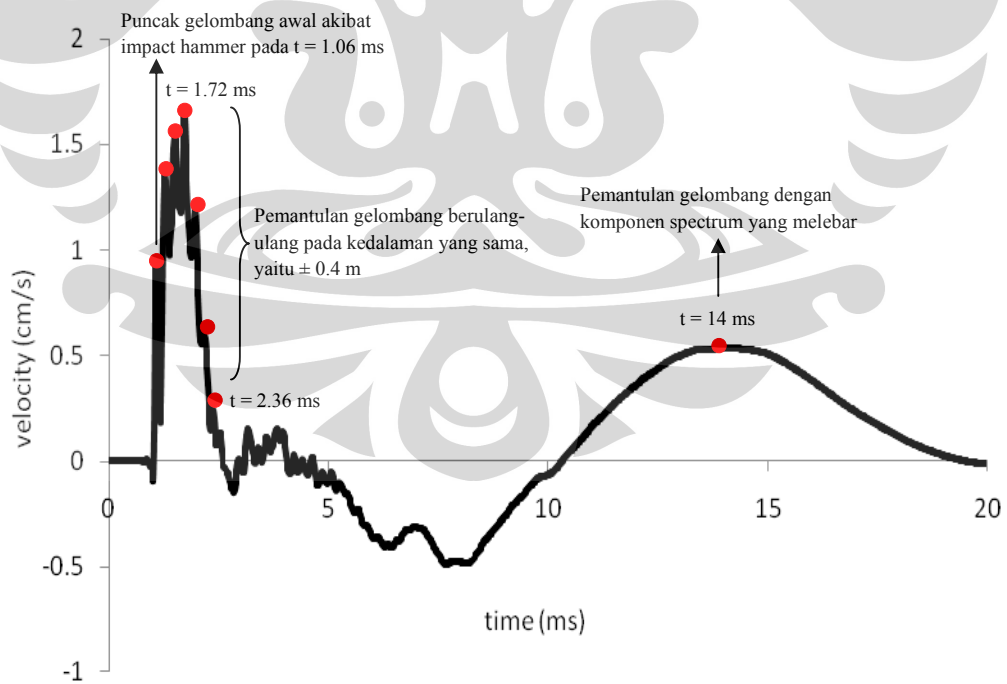
Panjang tiang (L) yang sebenarnya dilapangan = 12 m ; panjang sisa tiang diatas permukaan tanah = ± 0.6 m ; lokasi sambungan di 6 m ; diasumsikan kecepatan rambat gelombang (v_c) = 4000 m/s. Perjalanan gelombang disepanjang tiang yang berubah terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



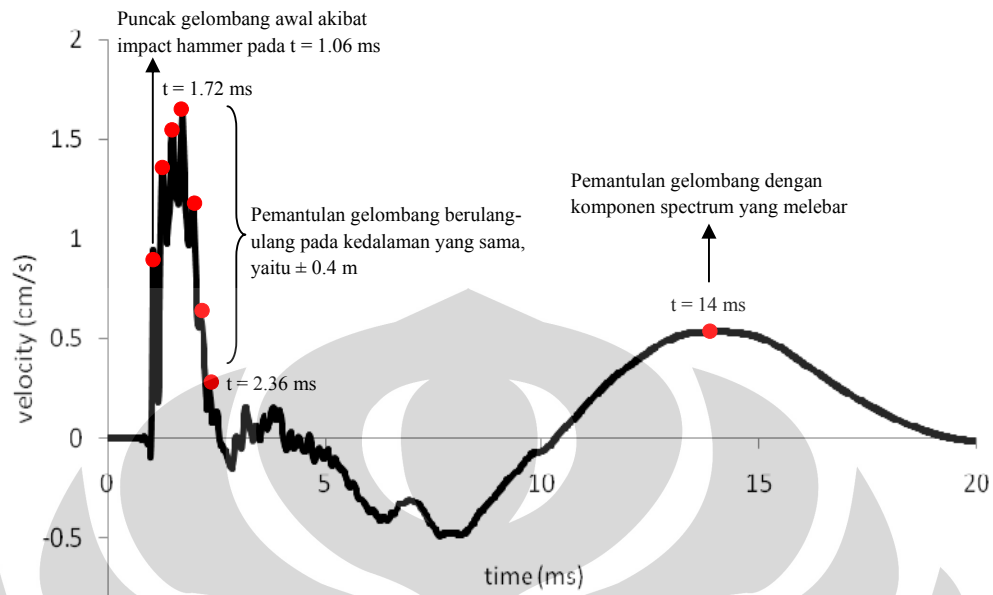
Gambar 4.114 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 1 (Grup A4)



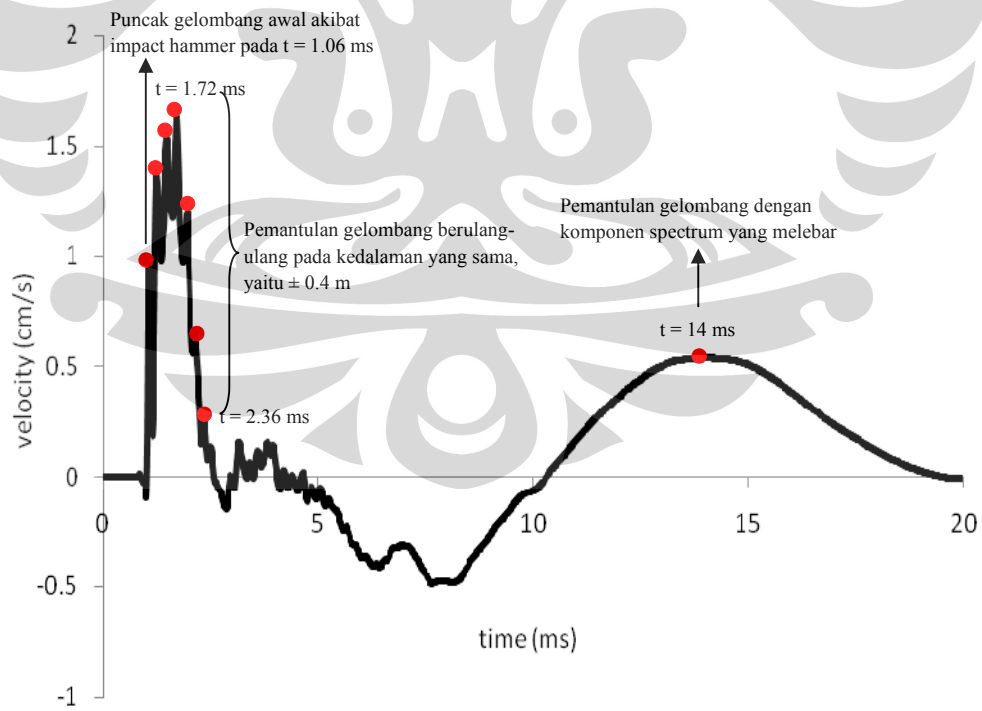
Gambar 4.115 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 2 (Grup A4)



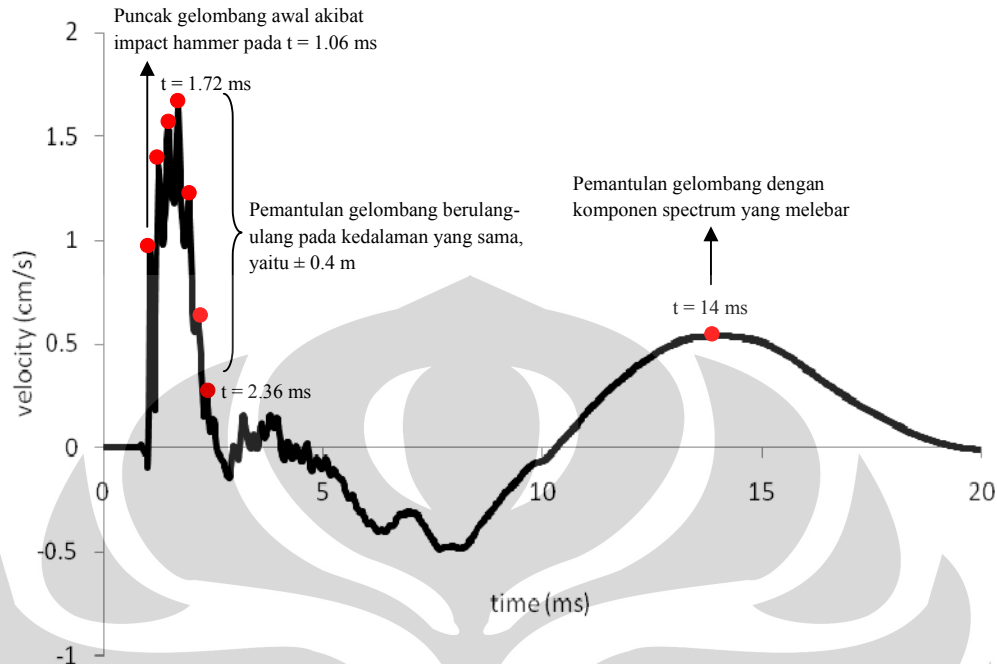
Gambar 4.116 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 3 (Grup A4)



Gambar 4.117 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 4 (Grup A4)



Gambar 4.118 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 5 (Grup A4)



Gambar 4.119 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Tiang 10 Pukulan 6 (Grup A4)

Gambar 4.114 – 4.119 menunjukkan grafik kecepatan terhadap waktu untuk tiang 10 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 10 tersebut menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari Gambar 4.114 – 4.119 tersebut dapat dilihat bagaimana spektrum sinyal gelombang berubah terhadap waktu. Pada grafik menunjukkan di awal rambatan respon sinyal menghasilkan komponen spektrum yang sangat rapat, tetapi kemudian melebar mulai dari $t = 10$ ms sampai $t = 20$ ms. Pada saat *impact* akibat pukulan *hammer*, terjadi puncak gelombang awal sekitar $t = 1.06$ ms. Setelah puncak gelombang awal, terjadi beberapa puncak gelombang dengan respon kecepatan yang relatif meningkat sampai pada $t = 1.72$ ms, lalu sistem vibrasi secara berangsur-angsur kehilangan energinya, sehingga menghasilkan puncak-puncak gelombang dengan respon kecepatan yang menurun sampai pada $t = 2.36$ ms. Puncak-puncak gelombang sejak *impact hammer* sampai pada $t = 2.36$ ms memiliki beda waktu (Δt) yang sama, hal ini berarti terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang pada kedalaman yang sama. Dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, diketahui gelombang memantul

di kedalaman ± 0.4 m. Kemungkinan terdapat perubahan impedansi pada tiang di kedalaman tersebut. Fenomena yang menarik terjadi sekitar $t = 14$ ms dimana menghasilkan puncak gelombang dengan komponen spektrum yang melebar. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) dari sejak *impact hammer*, yaitu 12.3 ms dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman 24.6 m dari atas tiang. Puncak gelombang ini tidak dapat diindikasikan sebagai respon sinyal pada ujung tiang.

Berdasarkan hasil analisa dengan metode *time domain*, dapat Penulis tarik kesimpulan bahwa grafik kecepatan terhadap waktu pada tiap-tiap tiang dalam grup A4 dan A5 tidak dapat menunjukkan respon sinyal pada ujung tiang yang nyata atau jelas. Dari analisa dapat diketahui respon sinyal pada ujung tiang yang lemah ini disebabkan sebagian besar karena pemantulan gelombang terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan. Dimana pemantulan gelombang tersebut selain terjadi pada bagian tiang yang terdapat cacat atau anomali atau perubahan impedansi, juga terjadi pada batas antara sisa tiang diatas permukaan tanah dengan bagian tiang yang sudah tertanam.

Berikut Penulis tampilkan kesimpulan analisa pada tiang-tiang dalam grup A4 dan A5 berdasarkan grafik kecepatan terhadap waktu dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A5 berdasarkan Grafik Kecepatan terhadap Waktu

Grup Tiang A5	Panjang Tiang (<i>L</i>) di Lapangan (m)	Lebar (D) (m)	L/D	Kedalaman Sambungan (m)	Sisa Tiang di Atas Permukaan Tanah * (m)	Respon Sinyal Ujung Tiang		Keterangan
						Jelas	Tidak Jelas	
Tiang 1	12	0.25	48	6	0.6		√	Perubahan impedansi di kedalaman 4 m, terjadi <i>local peak</i> di kedalaman ± 0.6 m dan dicurigai respon sinyal ujung tiang di kedalaman 11.83 m
Tiang 2	12	0.25	48	6	0.6		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman $\pm 0.6 - 0.7$ m
Tiang 3	12	0.25	48	6	0.7		√	Terjadi puncak gelombang dengan respon kecepatan meningkat di kedalaman ± 0.67 m
Tiang 4	15	0.25	60	3 dan 9	0.9		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang pada sambungan di kedalaman 3 m
Tiang 5	12	0.25	48	6	0.9		√	Perubahan impedansi di kedalaman 0.68 m dan terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.8 m
Tiang 6	15	0.25	60	3 dan 9	1.2		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang pada sambungan di kedalaman 3 m dan terjadi <i>local peak</i> di kedalaman ± 1.12 m
Tiang 7	12	0.25	48	6	0.6		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m
Tiang 8 (SPS 50K)	9	0.25	36	3	0.6		√	Perubahan impedansi di kedalaman 0.9 m dan terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m
Tiang 8 (SPS 100K)								

*Berdasarkan skala pada gambar

Tabel 4.2 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A4 berdasarkan Grafik Kecepatan terhadap Waktu

Grup Tiang A4	Panjang Tiang (<i>L</i>) di Lapangan (m)	Lebar (<i>D</i>) (m)	L/D	Kedalaman Sambungan (m)	Sisa Tiang di Atas Permukaan Tanah *	Respon Sinyal Ujung Tiang		Keterangan
						Jelas	Tidak Jelas	
Tiang 1	12	0.25	48	6	0.6		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang dengan respon kecepatan relatif meningkat, di kedalaman ± 0.6 m
Tiang 2	12	0.25	48	6	0.6		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.6 - 0.7 m dan pengurangan impedansi di kedalaman 3.28 m
Tiang 3	12	0.25	48	6	0.6		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.5 - 0.6 m
Tiang 4	12	0.25	48	6	0.9		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.9 m dan perubahan impedansi di kedalaman 2.76 m
Tiang 5	12	0.25	48	6	0.6		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.5 - 0.6 m
Tiang 6	12	0.25	48	6	1		√	Perubahan impedansi di kedalaman 0.6 m dan 3.04 m
Tiang 7	12	0.25	48	6	0.8		√	Perubahan impedansi di kedalaman 0.44 m dan terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.7 - 0.8 m
Tiang 8	12	0.25	48	6	0.8		√	Terjadi pemantulan gelombang berulang-ulang di kedalaman ± 0.8 m
Tiang 9	12	0.25	48	6	0.9		√	Perubahan impedansi di kedalaman 1 m
Tiang 10	12	0.25	48	6	0.6		√	Perubahan impedansi di kedalaman ± 0.4 m

*Berdasarkan skala pada gambar

4.2.2 Metode *Frequency Domain*

Selain berdasarkan metode *time domain*, kedalaman atau panjang tiang juga dapat ditentukan berdasarkan metode *frequency domain*. Metode ini merupakan hasil *Fast Fourier Transform* (FFT) dari sinyal gaya dan kecepatan, dimana spectrum kecepatan dibagi dengan spectrum gaya menghasilkan *mobility* sebagai suatu fungsi frekuensi. Grafik *frequency domain* yang dihasilkan terdiri dari grafik frekuensi terhadap *mobility* yang diubah dari grafik *time domain* dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

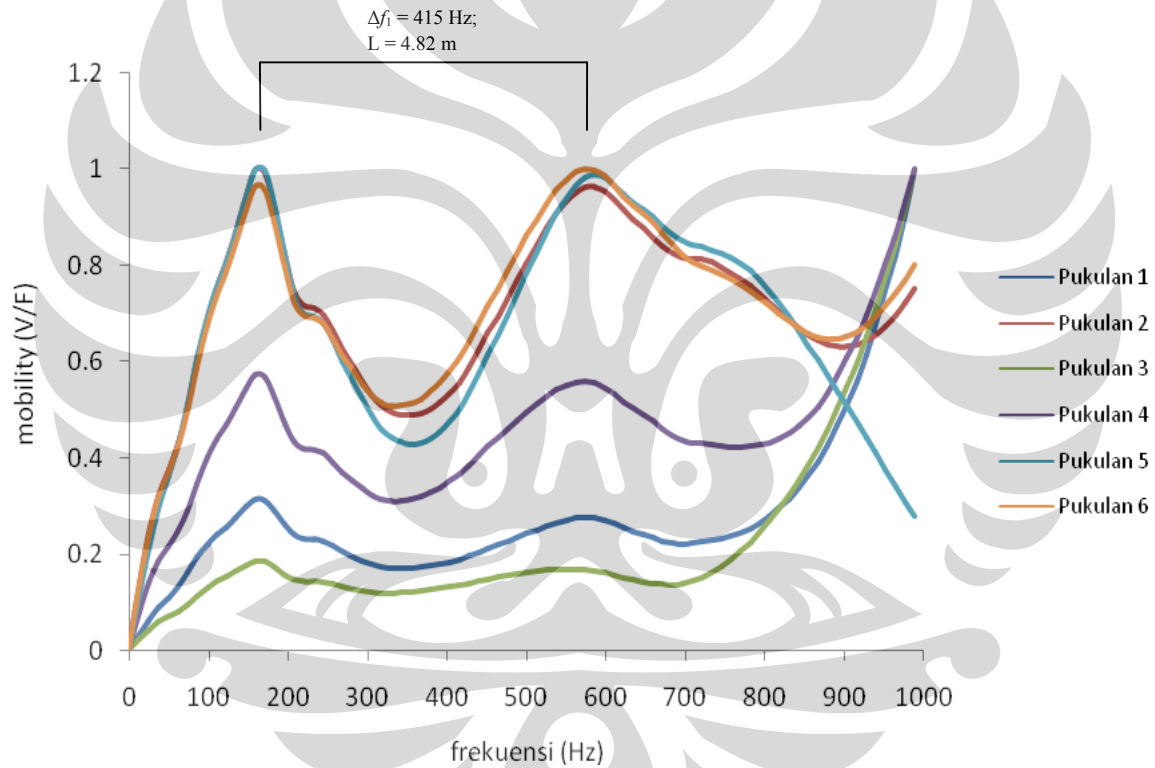
Teori perambatan gelombang elastis mengindikasikan bahwa suatu tiang/pondasi seharusnya menghasilkan jarak frekuensi yang konsisten pada puncak-puncak resonansi yang merupakan fungsi dari panjang tiang dan kecepatan rambat gelombang. Sehingga dapat dikatakan bahwa puncak *mobility* terjadi pada suatu frekuensi yang menandakan atau mengindikasikan waktu ketika terjadi perubahan kecepatan yang disebabkan oleh pemantulan dari ujung bawah tiang atau reduksi impedansi. Puncak *mobility* berlangsung selama interval reguler yang menandakan suatu frekuensi maksimum Δf . Jadi secara teoritis, untuk mendapatkan panjang tiang pada grafik frekuensi terhadap *mobility*, ditentukan dari puncak-puncak resonansi awal yang memiliki beda frekuensi (Δf) yang sama karena merupakan resonansi dari pemantulan kaki tiang. Sedangkan untuk mengetahui kedalaman lokasi cacat pada tiang ditentukan dari puncak-puncak resonansi yang mengalami perkuatan frekuensi setelah beberapa puncak resonansi awal. Untuk mengetahui kedalaman lokasi cacat dan panjang tiang secara teoritis dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut : $(L) = \frac{v_c}{2 \times \Delta f}$. Dimana $L =$

panjang tiang, $v_c =$ kecepatan rambat gelombang pada beton, yang diasumsikan 4000 m/s berdasarkan kecepatan rambat gelombang pada beton yang berkualitas baik. Dan $\Delta f =$ beda frekuensi. Berikut hasil grafik *frequency domain* yang telah diproses dengan bantuan *software* PIT-W dan *Excel*, yaitu sebagai berikut :

4.2.2.1 Grup Tiang A5

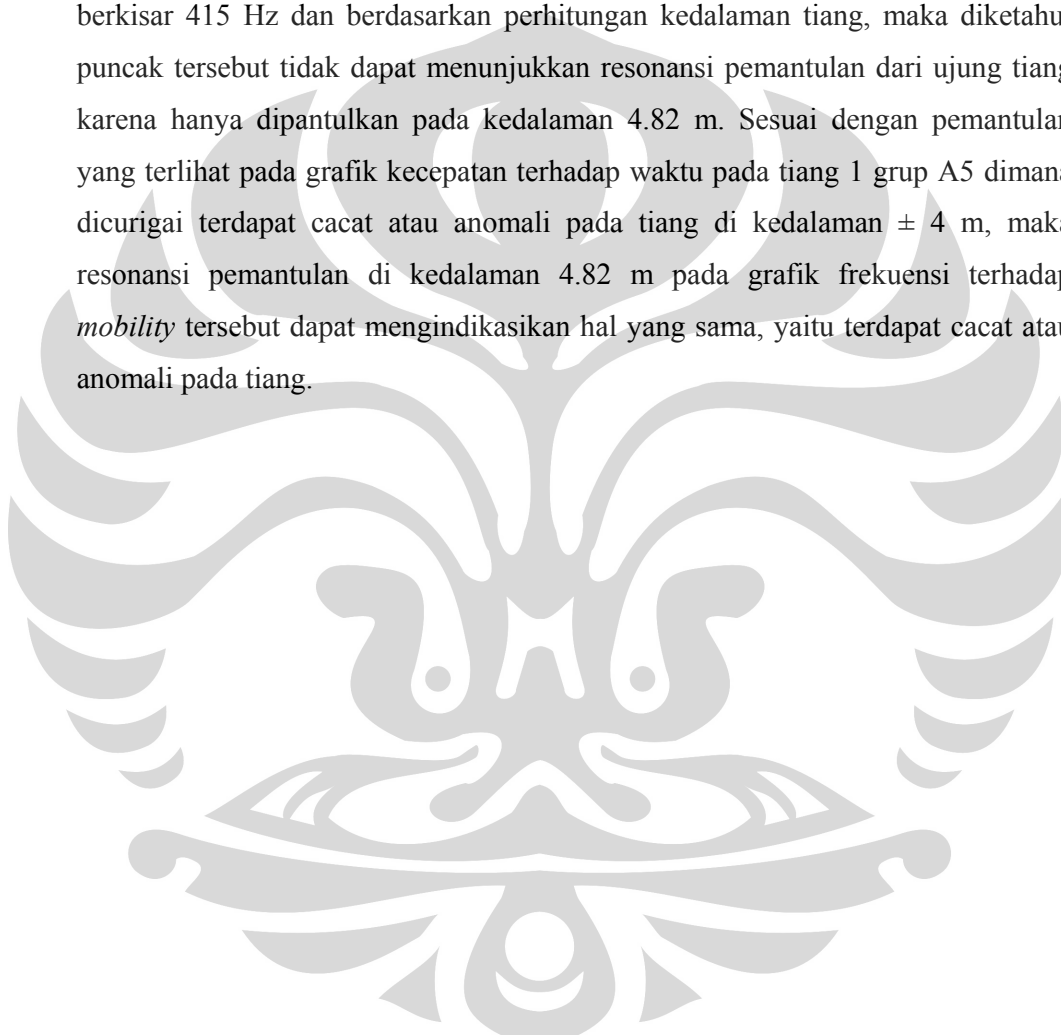
4.2.2.1.1 Tiang 1

Panjang Tiang (L) = 12 m



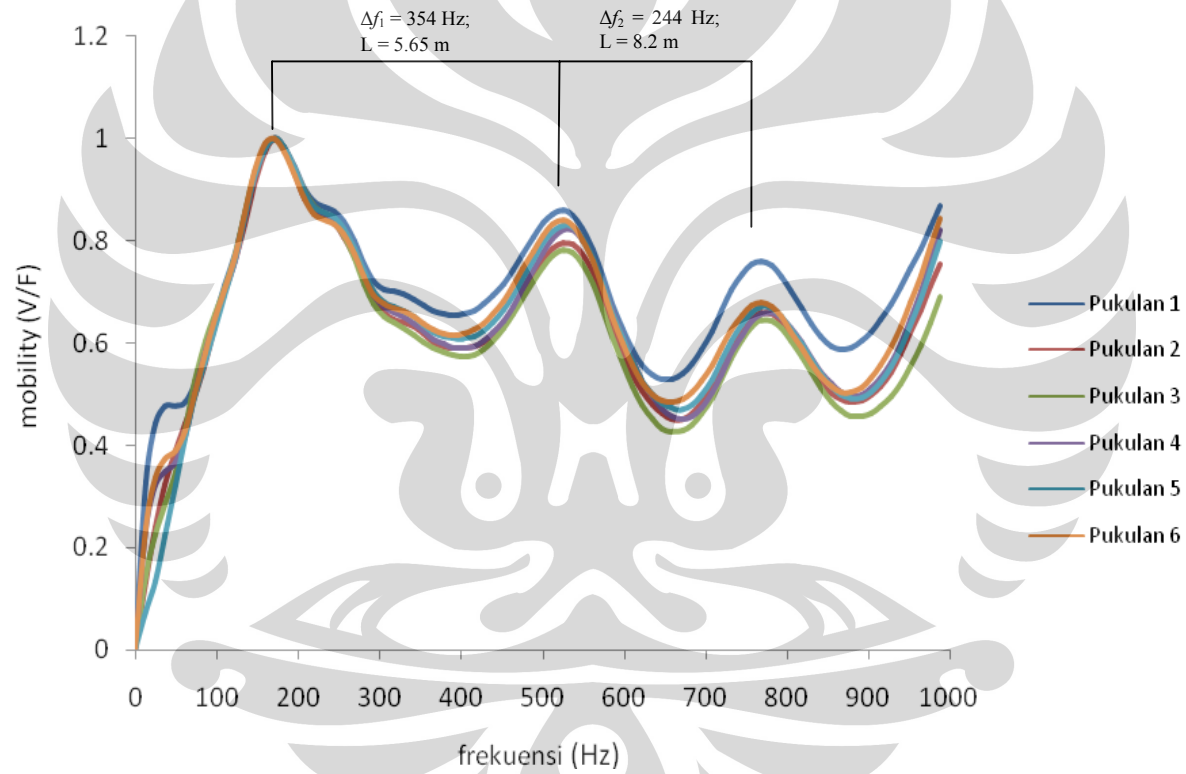
Gambar 4.120 Grafik *Mobility* untuk Tiang 1 (Grup A5)

Gambar 4.120 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 1 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 1 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama tetapi memiliki *mobility* yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.120 menunjukkan hanya dua puncak resonansi yang jelas dibawah 600 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) berkisar 415 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang karena hanya dipantulkan pada kedalaman 4.82 m. Sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 1 grup A5 dimana dicurigai terdapat cacat atau anomali pada tiang di kedalaman ± 4 m, maka resonansi pemantulan di kedalaman 4.82 m pada grafik frekuensi terhadap *mobility* tersebut dapat mengindikasikan hal yang sama, yaitu terdapat cacat atau anomali pada tiang.



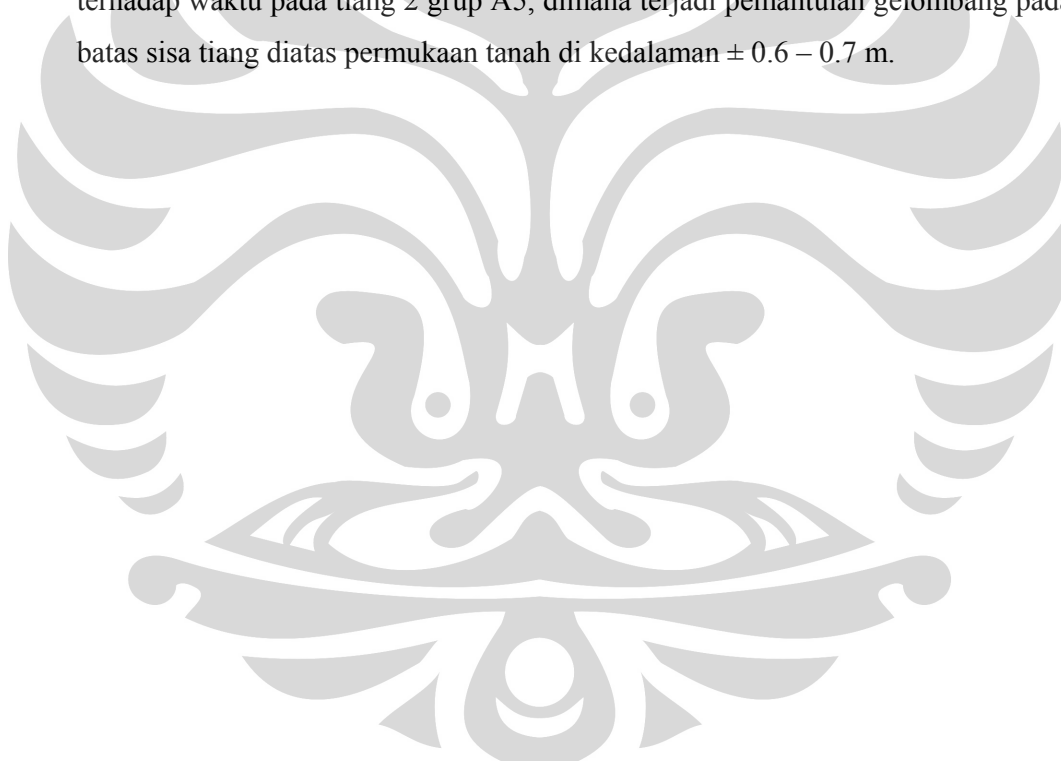
4.2.2.1.2 Tiang 2

Panjang Tiang (L) = 12 m



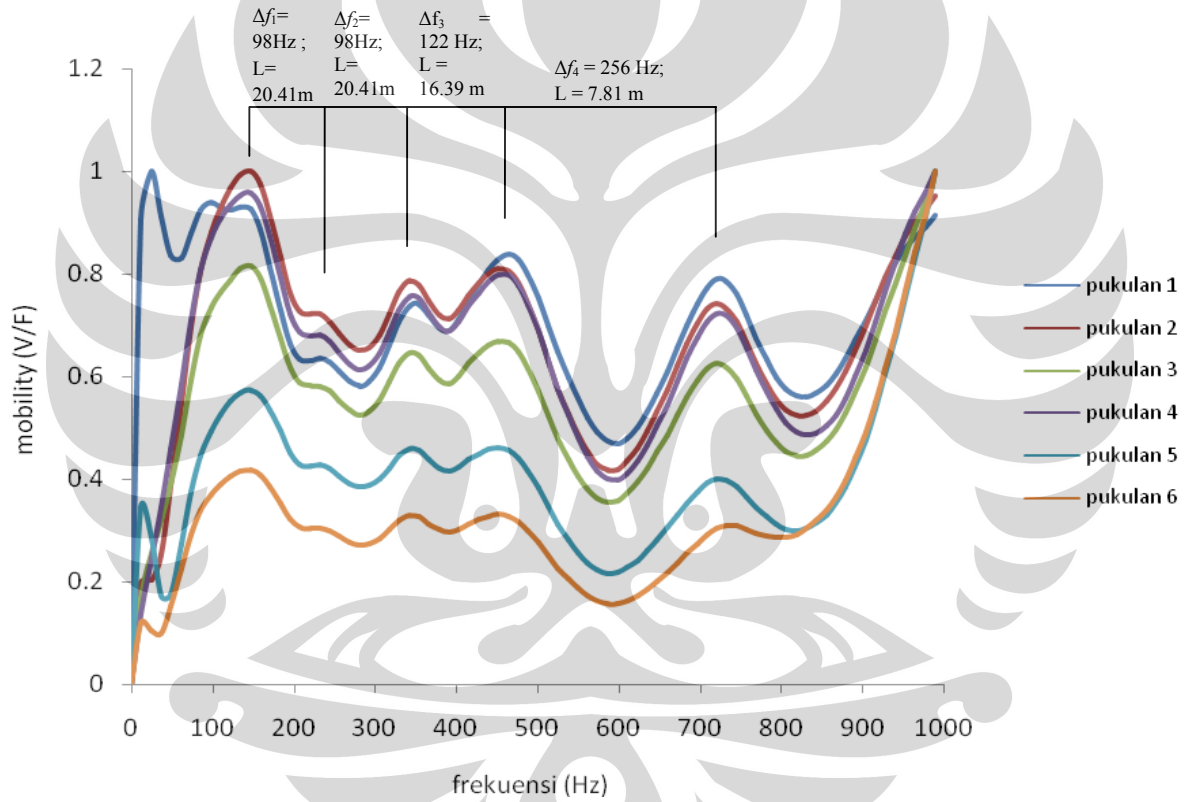
Gambar 4.121 Grafik *Mobility* untuk Tiang 2 (Grup A5)

Gambar 4.121 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 2 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 2 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama dan rata-rata *mobility* yang hampir sama. Pada Gambar 4.121 menunjukkan tiga puncak resonansi yang jelas dibawah 800 Hz. Ketiga puncak resonansi ini memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang tidak sama, sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) berkisar 354 Hz dan 244 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak-puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 5.65 m dan 8.2 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 2 grup A5, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.6 - 0.7$ m.



4.2.2.1.3 Tiang 3

Panjang Tiang (L) = 12 m

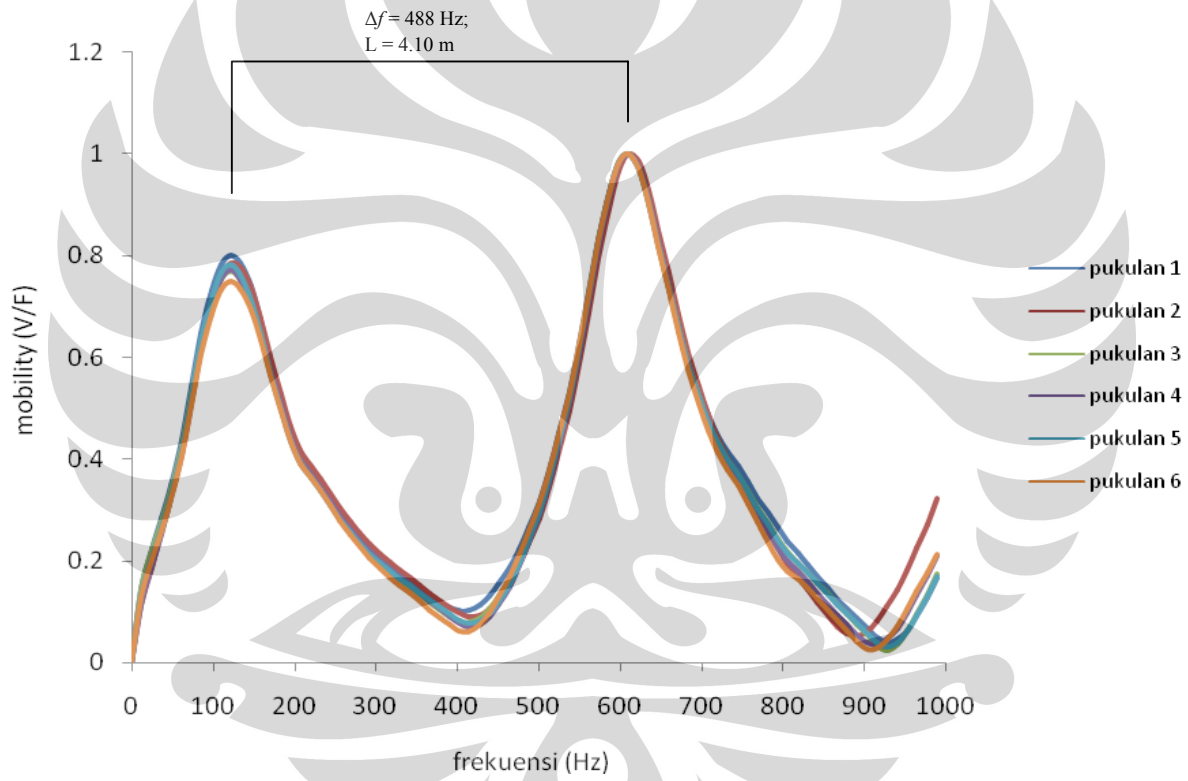


Gambar 4.122 Grafik *Mobility* untuk Tiang 3 (Grup A5)

Gambar 4.122 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 3 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 3 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama tetapi dengan *mobility* yang berbeda-beda. Grafik frekuensi terhadap *mobility* pada pukulan 1 dan pukulan 2 memiliki karakteristik yang sedikit berbeda, yaitu pada frekuensi dibawah 100 Hz terjadi puncak resonansi dengan frekuensi yang berbeda. Dari Gambar 4.122 menunjukkan lima puncak resonansi yang jelas dibawah 800 Hz. Dari kelima puncak resonansi ini, hanya dua yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang sama, yaitu berkisar 98 Hz. Sedangkan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) lainnya yang berbeda, yaitu berkisar 122 Hz dan 256 Hz. Puncak resonansi yang memiliki beda frekuensi (Δf) sama tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang, karena bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) 98 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 20.41 m. sedangkan untuk puncak lainnya yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang berbeda, terjadi pada kedalaman 16.39 m dan 7.81 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 3 grup A5, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.67 m.

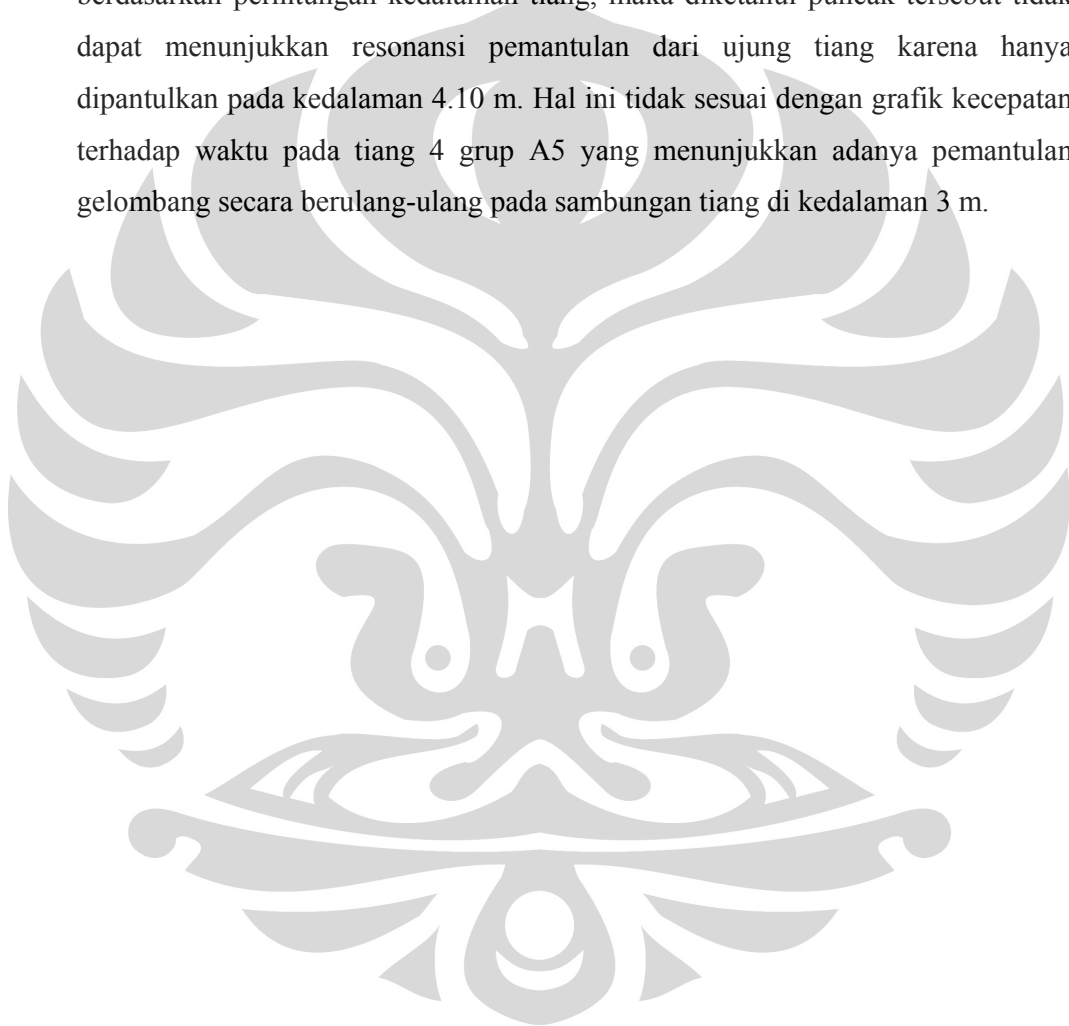
4.2.2.1.4 Tiang 4

Panjang Tiang (L) = 15 m



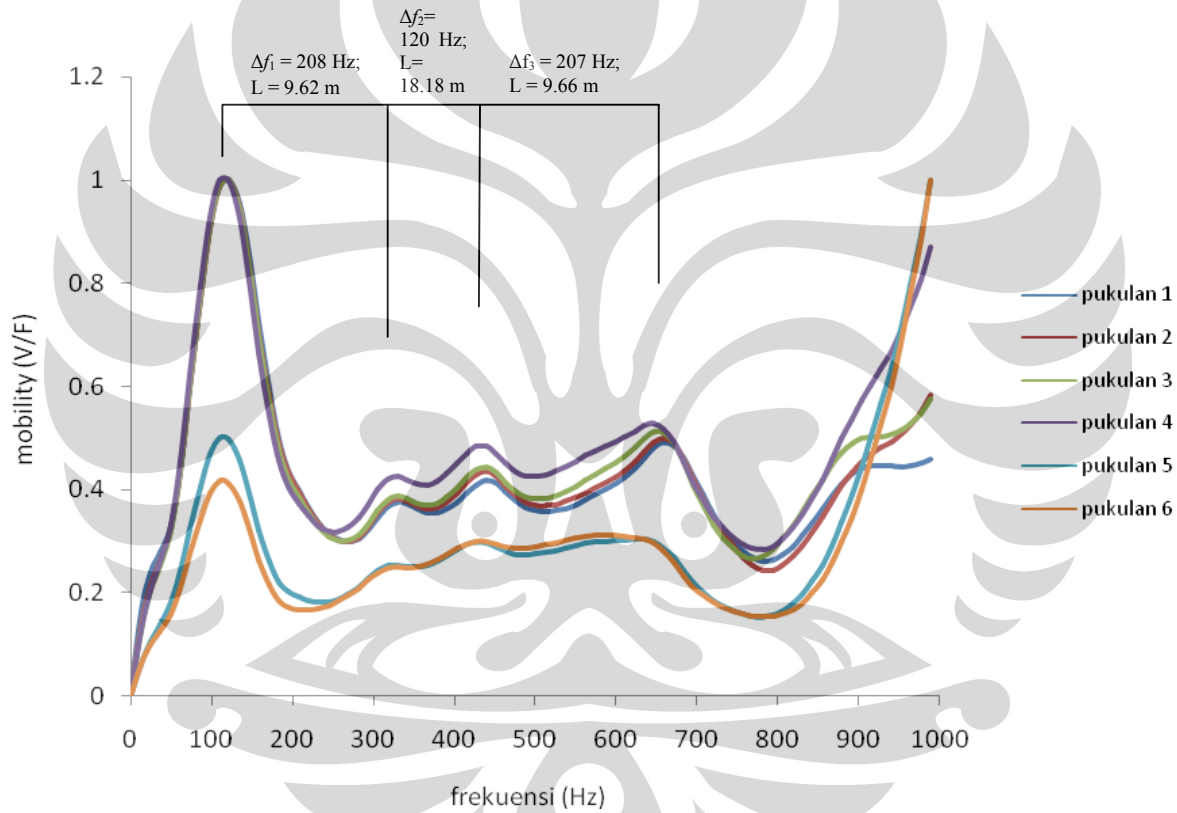
Gambar 4.123 Grafik *Mobility* untuk Tiang 4 (Grup A5)

Gambar 4.123 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 4 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 4 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Dari Gambar 4.123 hanya menunjukkan dua puncak resonansi yang jelas dibawah 700 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) berkisar 488 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang karena hanya dipantulkan pada kedalaman 4.10 m. Hal ini tidak sesuai dengan grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 4 grup A5 yang menunjukkan adanya pemantulan gelombang secara berulang-ulang pada sambungan tiang di kedalaman 3 m.



4.2.2.1.5 Tiang 5

Panjang Tiang (L) = 12 m

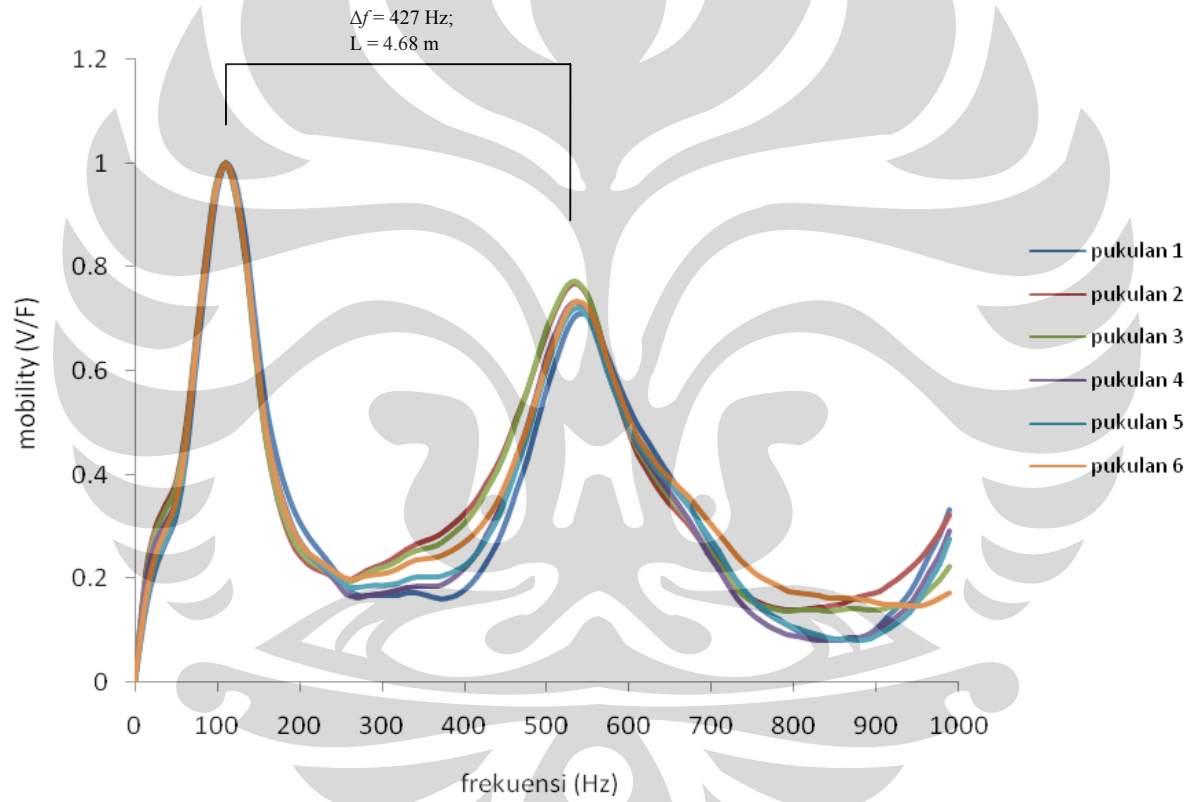


Gambar 4.124 Grafik *Mobility* untuk Tiang 5 (Grup A5)

Gambar 4.124 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 5 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 5 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama tetapi dengan *mobility* yang sedikit berbeda untuk grafik frekuensi terhadap *mobility* pada pukulan 5 dan pukulan 6, dimana memiliki rata-rata *mobility* yang lebih rendah. Dari Gambar 4.124 menunjukkan empat puncak resonansi yang jelas dibawah 700 Hz. Keempat puncak resonansi ini memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang berbeda-beda, yaitu 208 Hz, 120 Hz dan 207 Hz, sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak-puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 9.62 m, 18.18 m dan 9.66 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 5 grup A5, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.8 m.

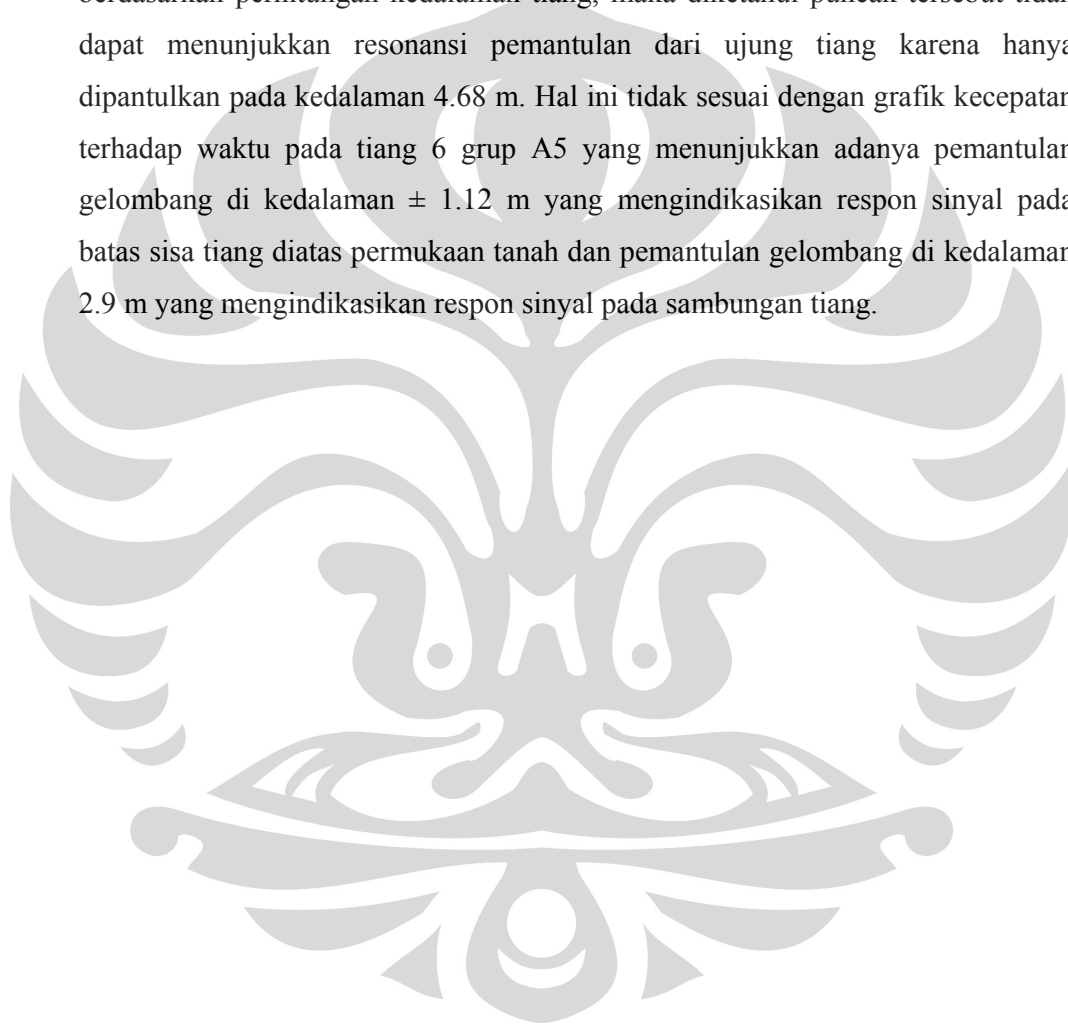
4.2.2.1.6 Tiang 6

Panjang Tiang (L) = 15 m



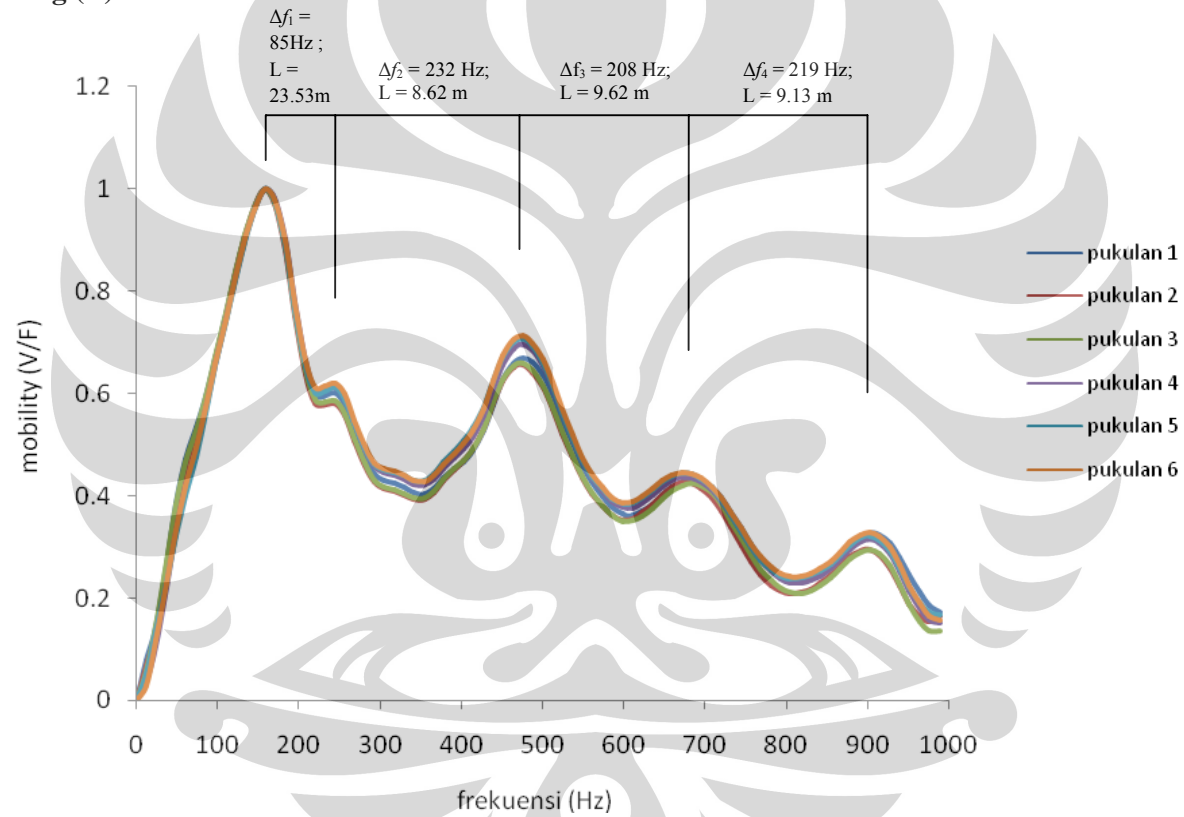
Gambar 4.125 Grafik *Mobility* untuk Tiang 6 (Grup A5)

Gambar 4.125 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 6 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Dari Gambar 4.125 hanya menunjukkan dua puncak resonansi yang jelas dibawah 600 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) berkisar 427 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang karena hanya dipantulkan pada kedalaman 4.68 m. Hal ini tidak sesuai dengan grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 6 grup A5 yang menunjukkan adanya pemantulan gelombang di kedalaman ± 1.12 m yang mengindikasikan respon sinyal pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah dan pemantulan gelombang di kedalaman 2.9 m yang mengindikasikan respon sinyal pada sambungan tiang.



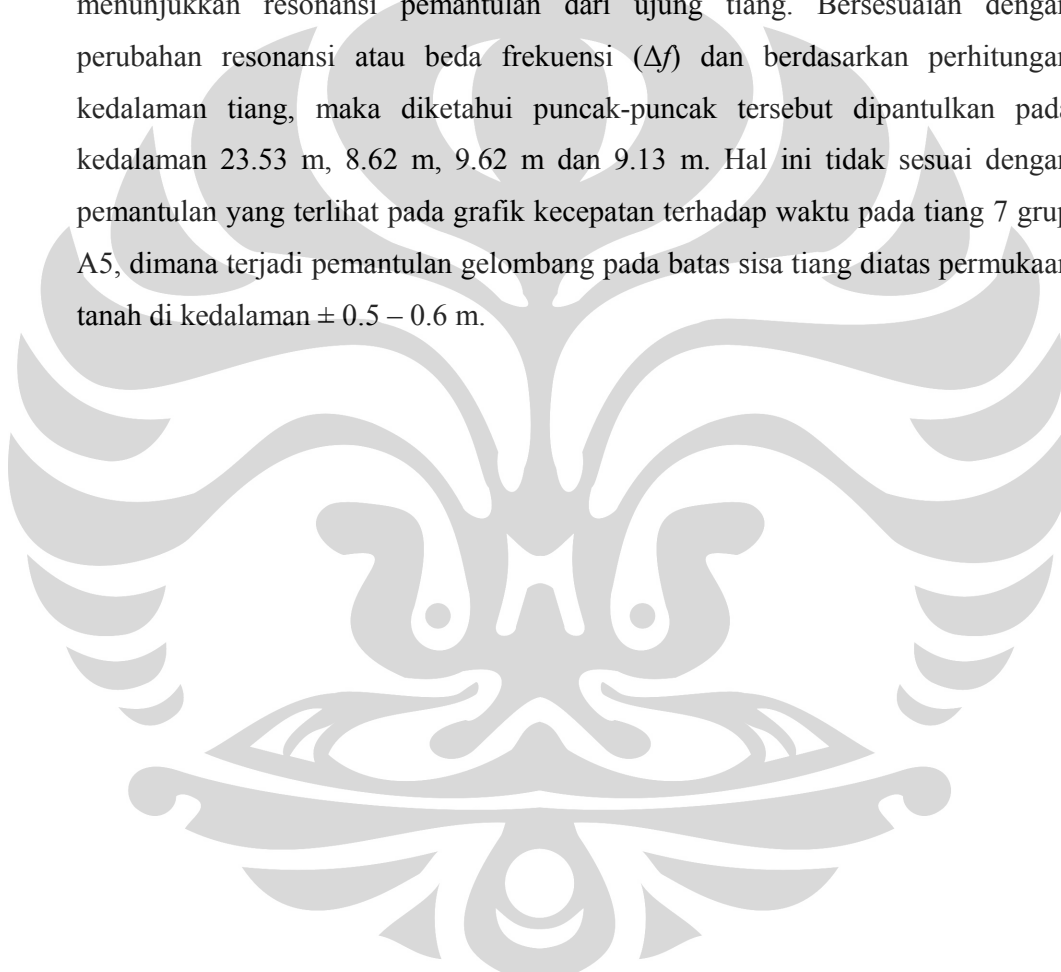
4.2.2.1.7 Tiang 7

Panjang Tiang (L) = 12 m



Gambar 4.126 Grafik *Mobility* untuk Tiang 7 (Grup A5)

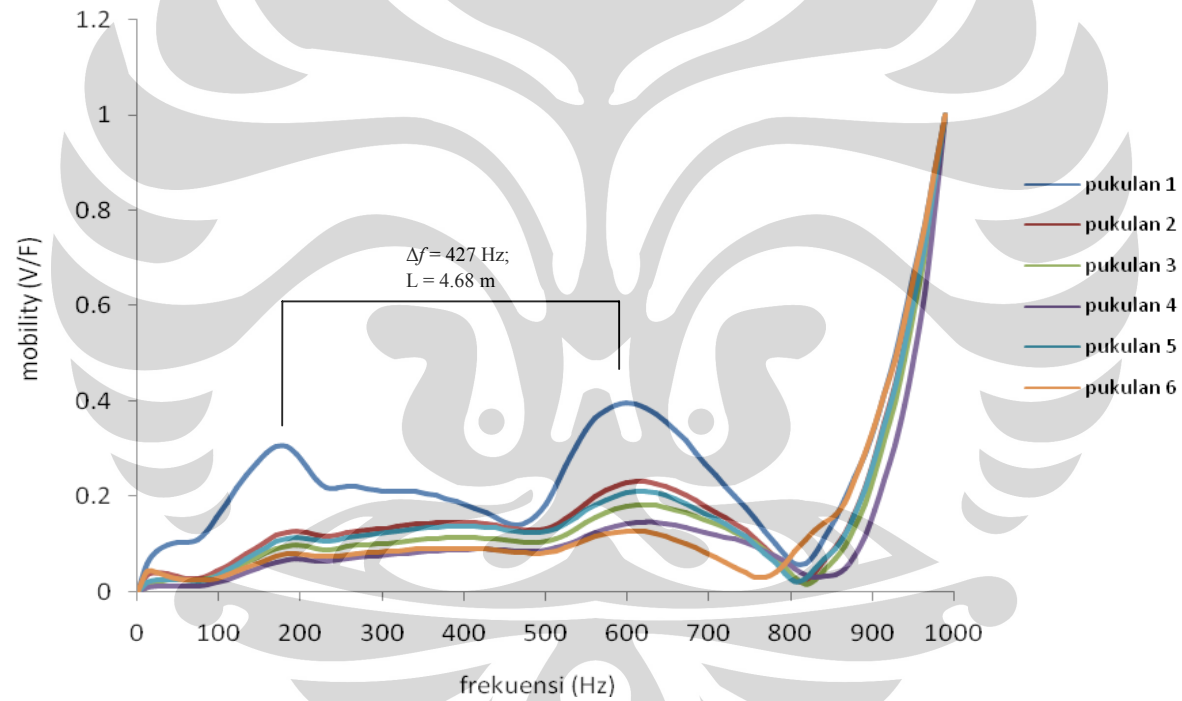
Gambar 4.126 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 5 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 7 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Dari Gambar 4.126 menunjukkan lima puncak resonansi yang jelas dibawah 900 Hz. Kelima puncak resonansi ini memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang berbeda-beda, yaitu 85 Hz, 232 Hz, 208 Hz dan 219 Hz, sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak-puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 23.53 m, 8.62 m, 9.62 m dan 9.13 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 7 grup A5, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m.



4.2.2.1.8 Tiang 8

(SPS 50K)

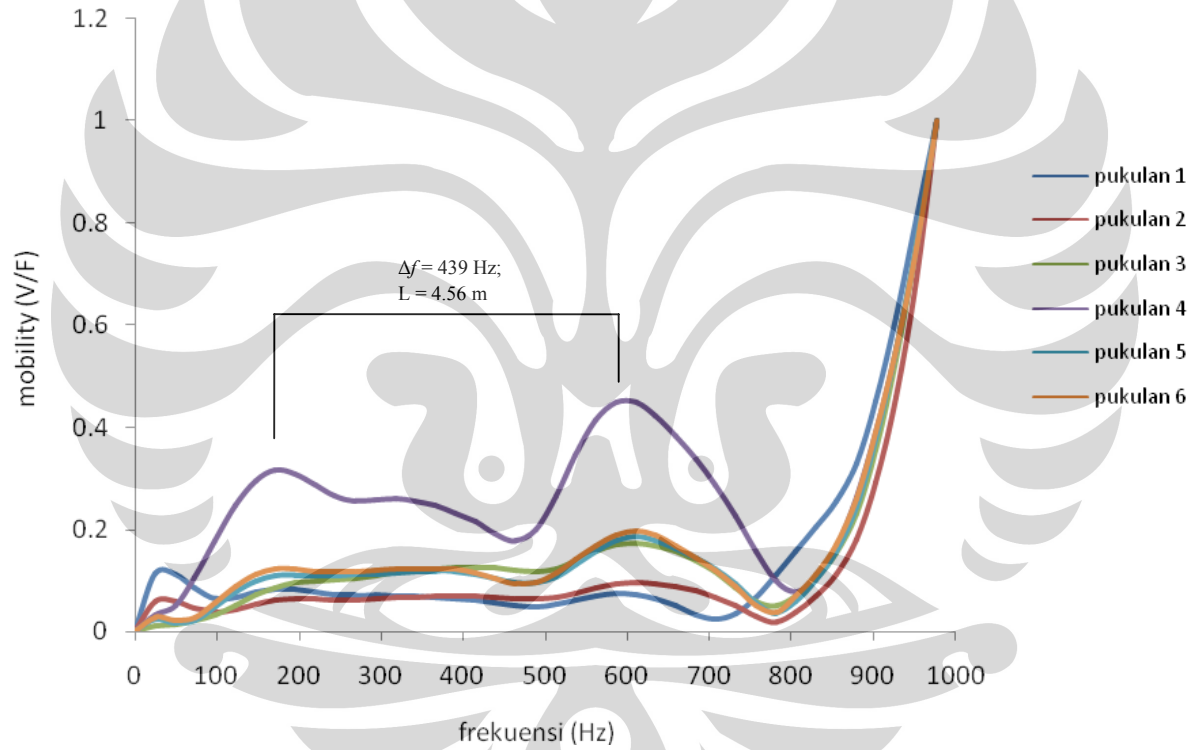
Panjang Tiang (L) = 9 m



Gambar 4.127 Grafik *Mobility* untuk Tiang 8 (SPS 50K) (Grup A5)

(SPS 100K)

Panjang Tiang (L) = 9 m



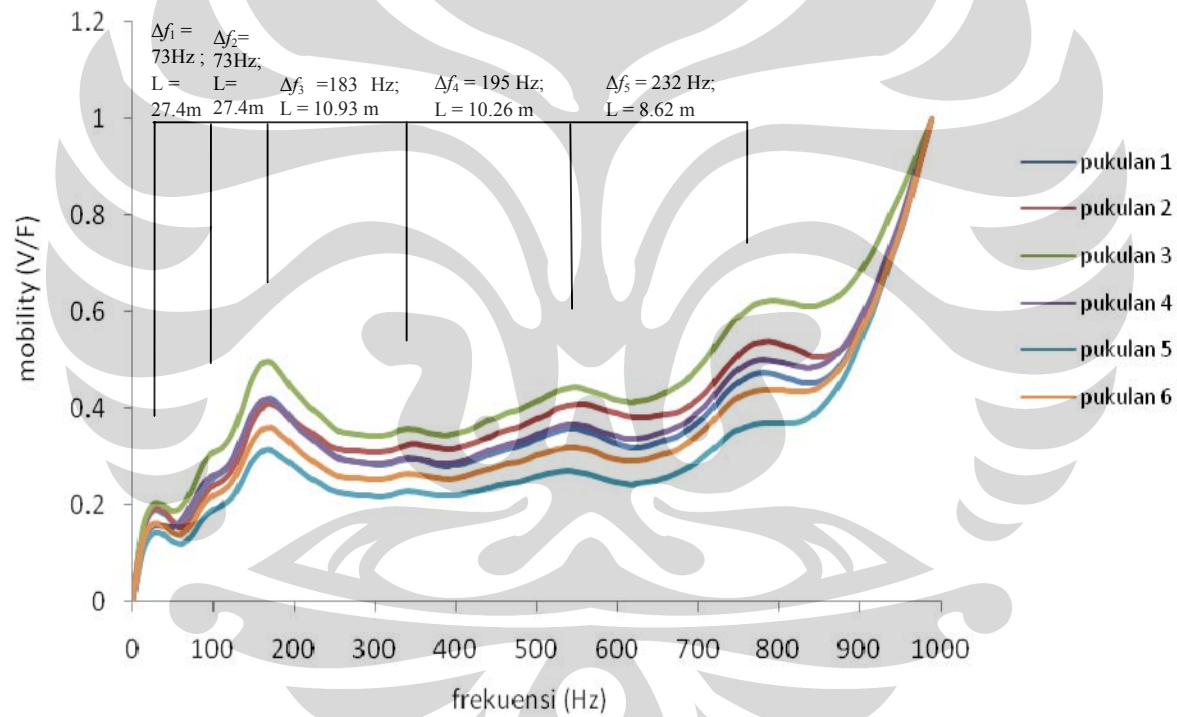
Gambar 4.128 Grafik *Mobility* untuk Tiang 8 (SPS 100K) (Grup A5)

Gambar 4.127 dan 4.128 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 8 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Untuk tiang 8 ini Penulis menggunakan data *acquisition rate* 50.000 *point/second* dan 100.000 *point/second* sebagai bahan perbandingan, karena panjang tiang 8 di lapangan diketahui adalah 9 m sehingga dalam pembacaan yang dilakukan oleh alat P.I.T dapat menggunakan data rekaman *acquisition rate* 50.000 *point/second* dan 100.000 *point/second*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 8 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama tetapi memiliki *mobility* yang berbeda, baik untuk data *acquisition rate* 50.000 *point/second* maupun data *acquisition rate* 100.000 *point/second*. Dari Gambar 4.127 dan 4.128 hanya menunjukkan dua puncak resonansi yang jelas dibawah 600 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) berkisar 427 Hz dan 439 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang karena hanya dipantulkan pada kedalaman 4.68 m dan 4.56 m. Hal ini tidak sesuai dengan grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 8 grup A5, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.6 m dan terjadi pemantulan gelombang di kedalaman ± 0.9 m yang mengindikasikan adanya pengurangan impedansi tiang atau karena lapisan tanah yang lembek.

4.2.2.2 Grup Tiang A4

4.2.2.2.1 Tiang 1

Panjang Tiang (L) = 12 m

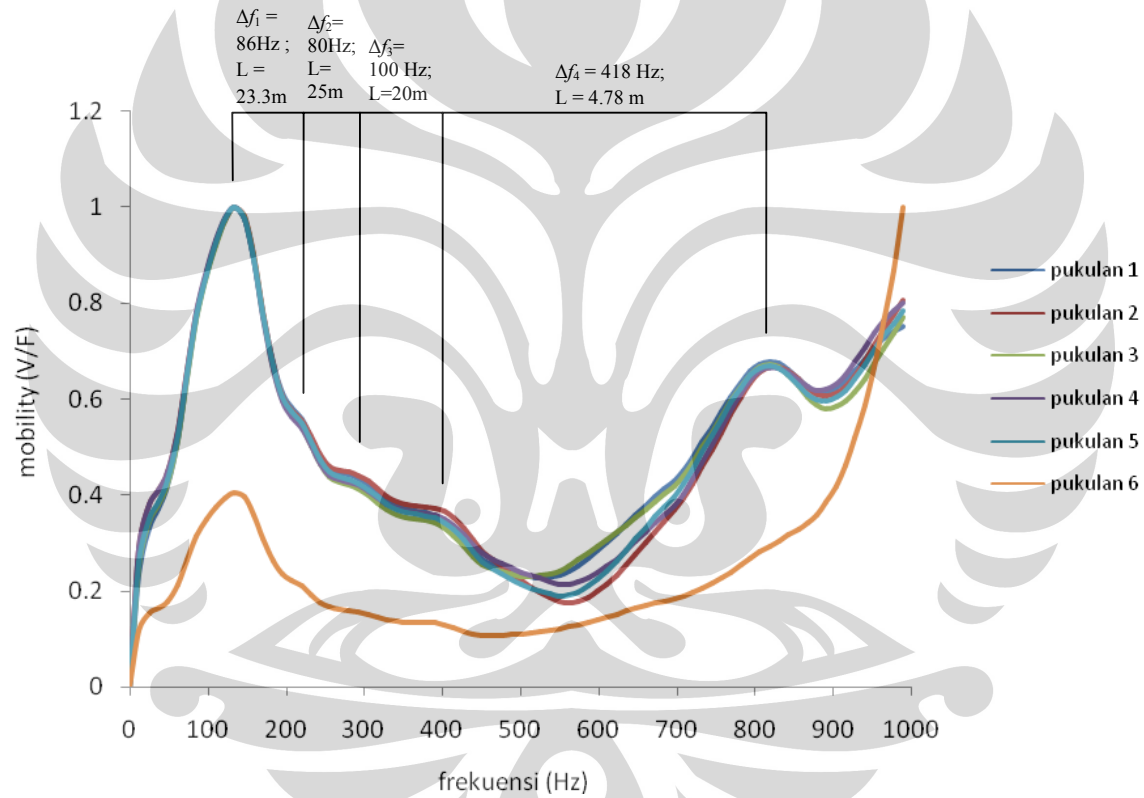


Gambar 4.129 Grafik *Mobility* untuk Tiang 1 (Grup A4)

Gambar 4.129 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 1 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 1 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama tetapi dengan *mobility* yang berbeda. Dari Gambar 4.129 menunjukkan enam puncak resonansi yang jelas dibawah 800 Hz. Dari keenam puncak resonansi ini, hanya dua yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang sama, yaitu berkisar 73 Hz. Sedangkan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) lainnya yang berbeda, yaitu 183 Hz, 195 Hz dan 232 Hz. Puncak resonansi yang memiliki beda frekuensi (Δf) sama tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang, karena bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) 73 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 27.40 m. Sedangkan untuk perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang berbeda, terjadi pada kedalaman 10.93 m, 10.26 m dan 8.62 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 1 grup A4, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m.

4.2.2.2.2 Tiang 2

Panjang Tiang (L) = 12 m

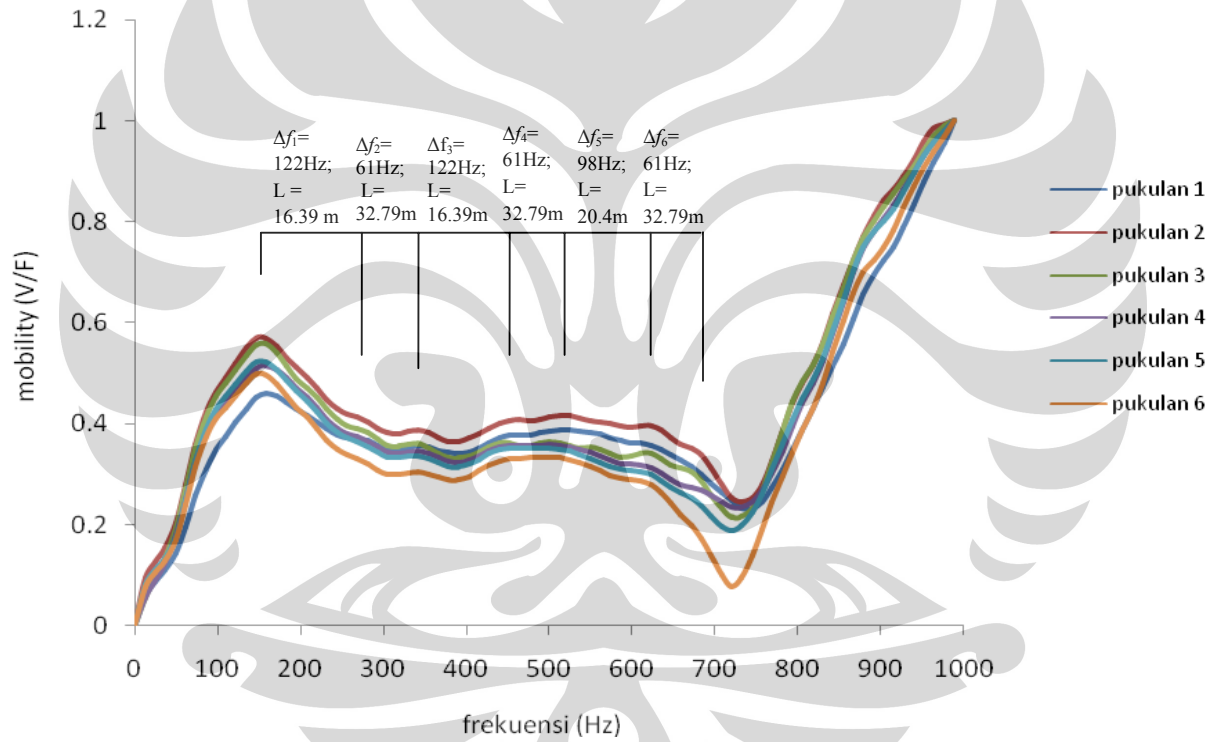


Gambar 4.130 Grafik *Mobility* untuk Tiang 2 (Grup A4)

Gambar 4.130 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 2 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 2 tersebut menghasilkan 5 grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Grafik frekuensi terhadap *mobility* pada pukulan 6 memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu hanya terjadi satu puncak resonansi yang jelas pada frekuensi dibawah 200 Hz, dengan *mobility* yang lebih rendah. Dari 5 grafik frekuensi terhadap *mobility* (dari pukulan 1 – 5) pada Gambar 4.130 menunjukkan lima puncak resonansi yang jelas dibawah 900 Hz. Dari kelima puncak resonansi ini memiliki perubahan resonansi yang berbeda-beda, yaitu 86 Hz, 80 Hz, 100 Hz dan 418 Hz. Sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui kelima puncak resonansi tersebut dipantulkan pada kedalaman 23.30 m, 25 m, 20 m dan 4,78 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 2 grup A4, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.6 - 0.7$ m dan terjadi pemantulan gelombang di kedalaman 3.28 m yang mengindikasikan adanya pengurangan impedansi pada tiang .

4.2.2.2.3 Tiang 3

Panjang Tiang (L) = 12 m

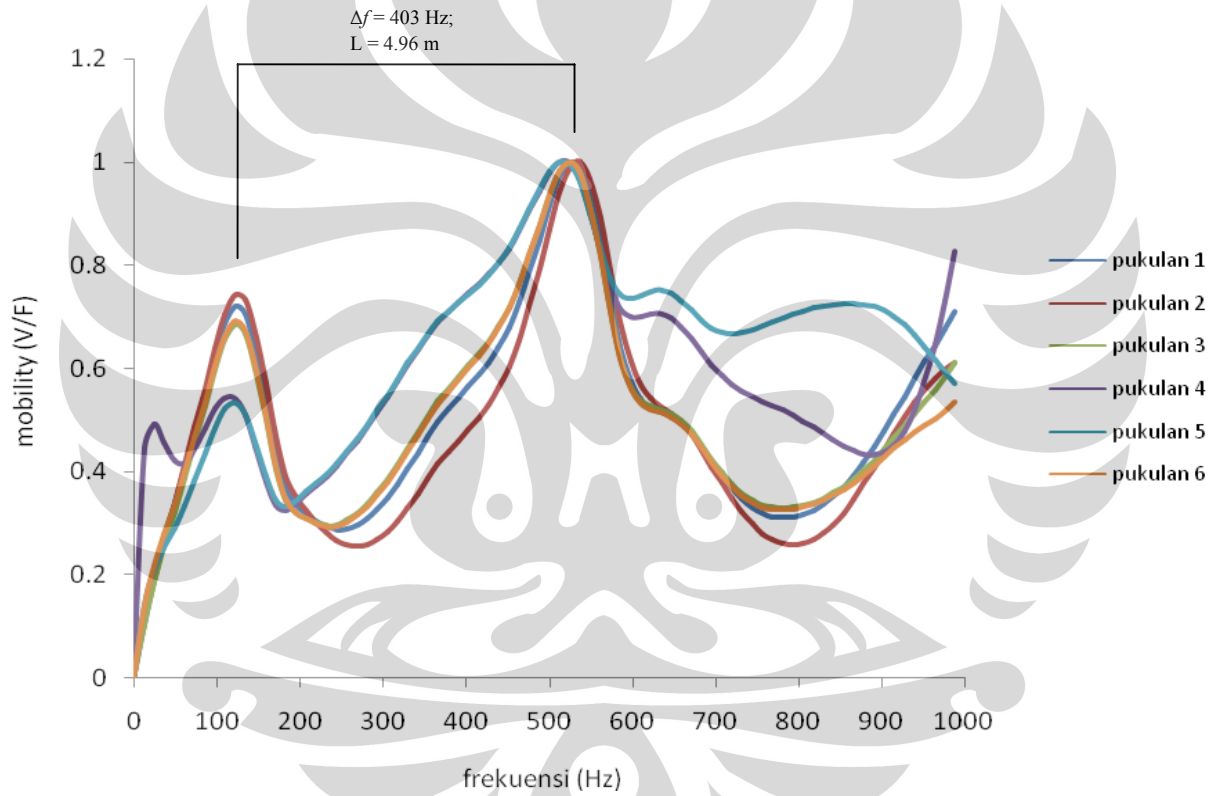


Gambar 4.131 Grafik *Mobility* untuk Tiang 3 (Grup A4)

Gambar 4.131 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 3 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 3 tersebut menghasilkan 6 grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.131 menunjukkan tujuh puncak resonansi yang jelas dibawah 700 Hz. Dari ketujuh puncak resonansi tersebut, memiliki tiga perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang sama, yaitu berkisar 61 Hz dan dua beda frekuensi (Δf) yang sama berkisar 122 Hz. Sedangkan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) lainnya yang berbeda, yaitu 98 Hz. Puncak resonansi yang memiliki beda frekuensi (Δf) sama tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang, karena bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) 61 Hz dan 122 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 32.79 m dan 16.39 m. Sedangkan untuk perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang berbeda, terjadi pada kedalaman 20.41 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 3 grup A4, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m.

4.2.2.2.4 Tiang 4

Panjang Tiang (L) = 12 m

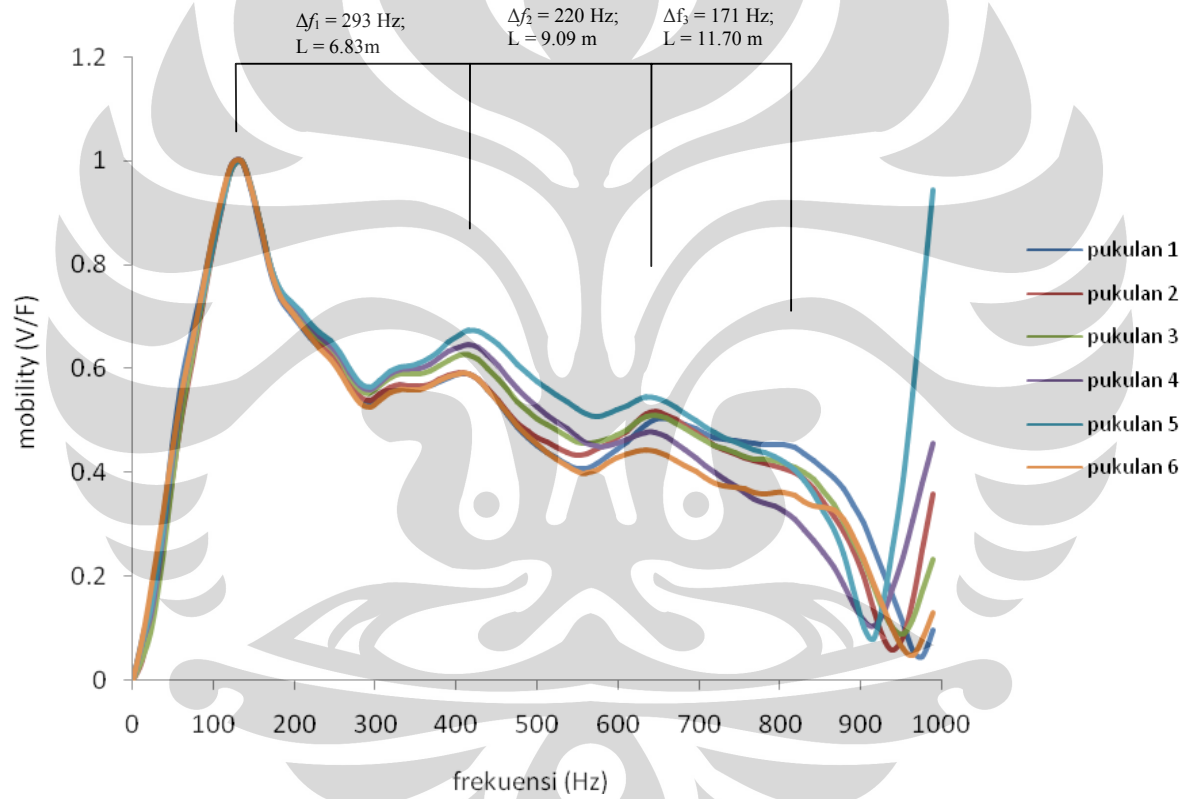


Gambar 4.132 Grafik *Mobility* untuk Tiang 4 (Grup A4)

Gambar 4.132 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 4 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 4 tersebut menghasilkan 4 grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Grafik frekuensi terhadap *mobility* pada pukulan 4 dan 5 memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu memiliki *mobility* yang lebih rendah pada frekuensi 122 Hz dan *mobility* yang lebih tinggi diantara frekuensi 600 Hz – 900 Hz. Dari 4 grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.132 hanya menunjukkan dua puncak resonansi yang jelas dibawah 600 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) berkisar 403 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang karena hanya dipantulkan pada kedalaman 4.96 m. Hal ini tidak sesuai dengan grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 4 grup A4 yang menunjukkan terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.9 m.

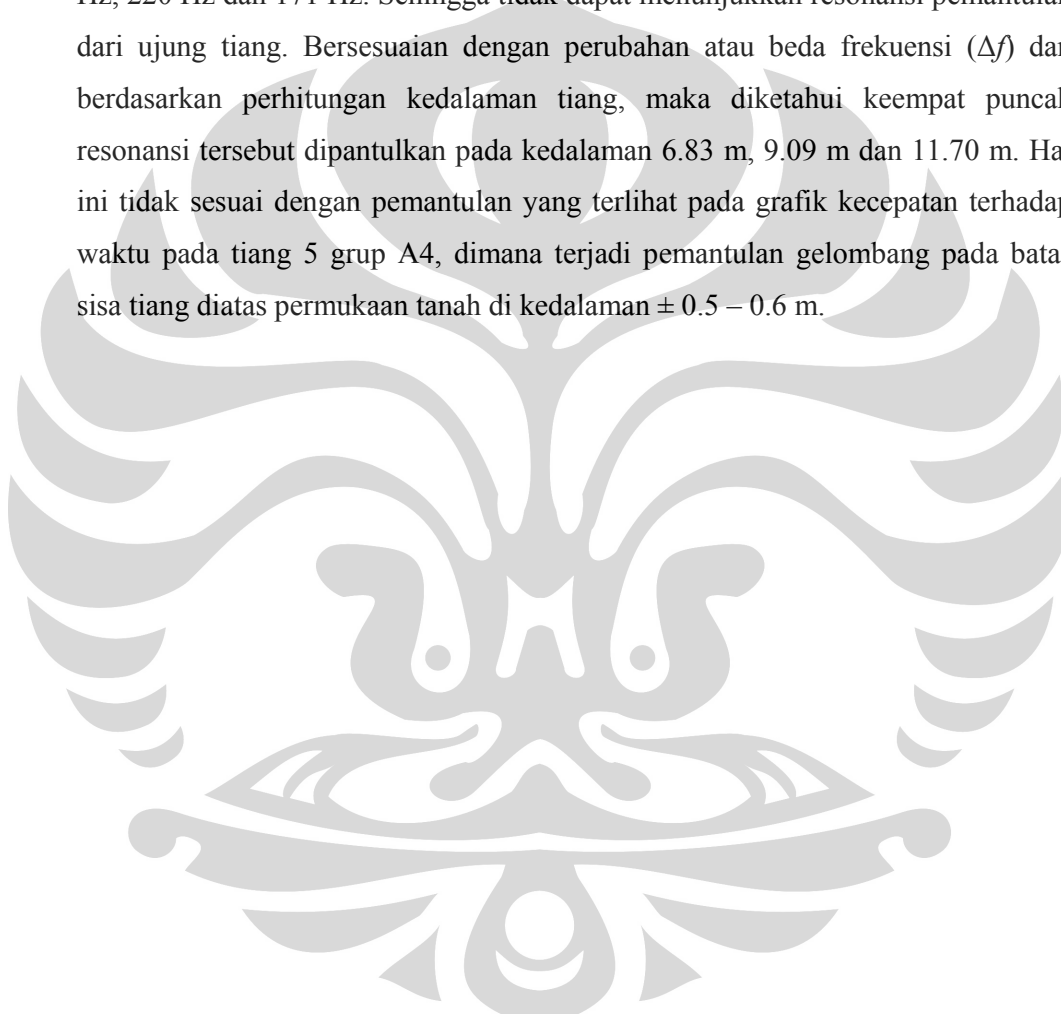
4.2.2.2.5 Tiang 5

Panjang Tiang (L) = 12 m



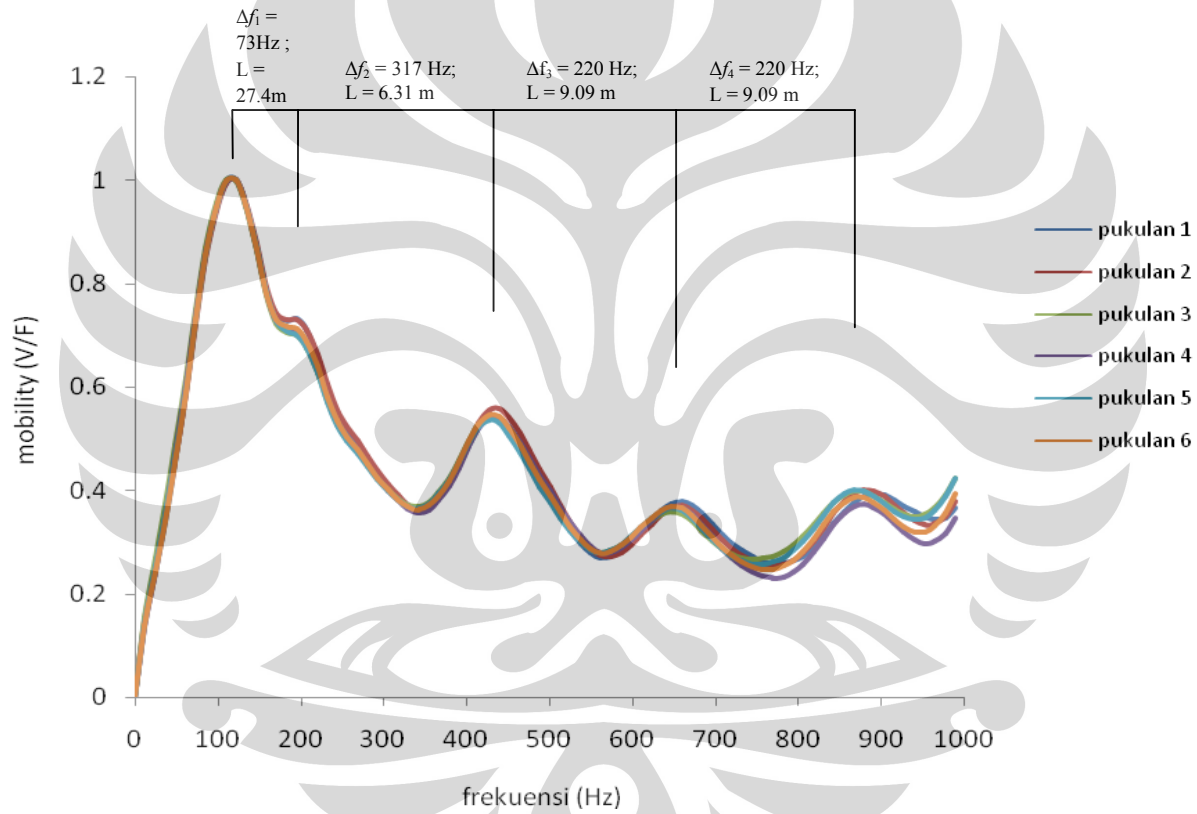
Gambar 4.133 Grafik *Mobility* untuk Tiang 5 (Grup A4)

Gambar 4.133 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 5 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 5 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan rata-rata *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.133 menunjukkan empat puncak resonansi yang jelas dibawah 900 Hz. Dari keempat puncak resonansi ini memiliki perubahan resonansi yang berbeda-beda, yaitu 293 Hz, 220 Hz dan 171 Hz. Sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui keempat puncak resonansi tersebut dipantulkan pada kedalaman 6.83 m, 9.09 m dan 11.70 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 5 grup A4, dimana terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.5 - 0.6$ m.



4.2.2.2.6 Tiang 6

Panjang Tiang (L) = 12 m

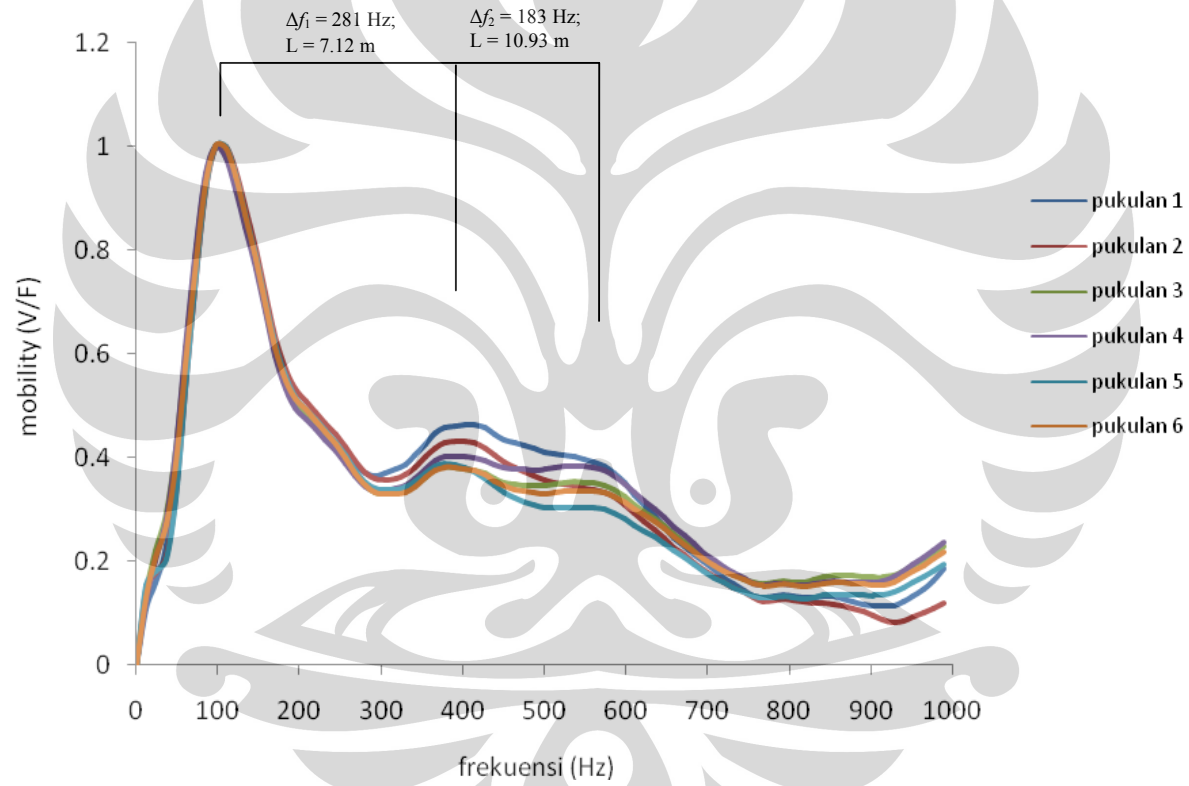


Gambar 4.134 Grafik *Mobility* untuk Tiang 6 (Grup A4)

Gambar 4.134 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 6 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.134 menunjukkan lima puncak resonansi yang jelas dibawah 900 Hz. Dari kelima puncak resonansi ini, hanya dua yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang sama, yaitu berkisar 220 Hz. Sedangkan dua perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) lainnya yang berbeda, yaitu 73 Hz dan 317 Hz. Puncak resonansi yang memiliki beda frekuensi (Δf) sama tersebut tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang, karena bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) 220 Hz dan berdasarkan perhitungan kedalaman atau panjang tiang, maka diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 9.09 m. Sedangkan puncak lainnya yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang berbeda, terjadi pada kedalaman 27.4 m dan 6.31 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 6 grup A4, dimana cacat atau anomali atau perubahan impedansi pada tiang terjadi di kedalaman ± 0.6 m dan 3.04 m.

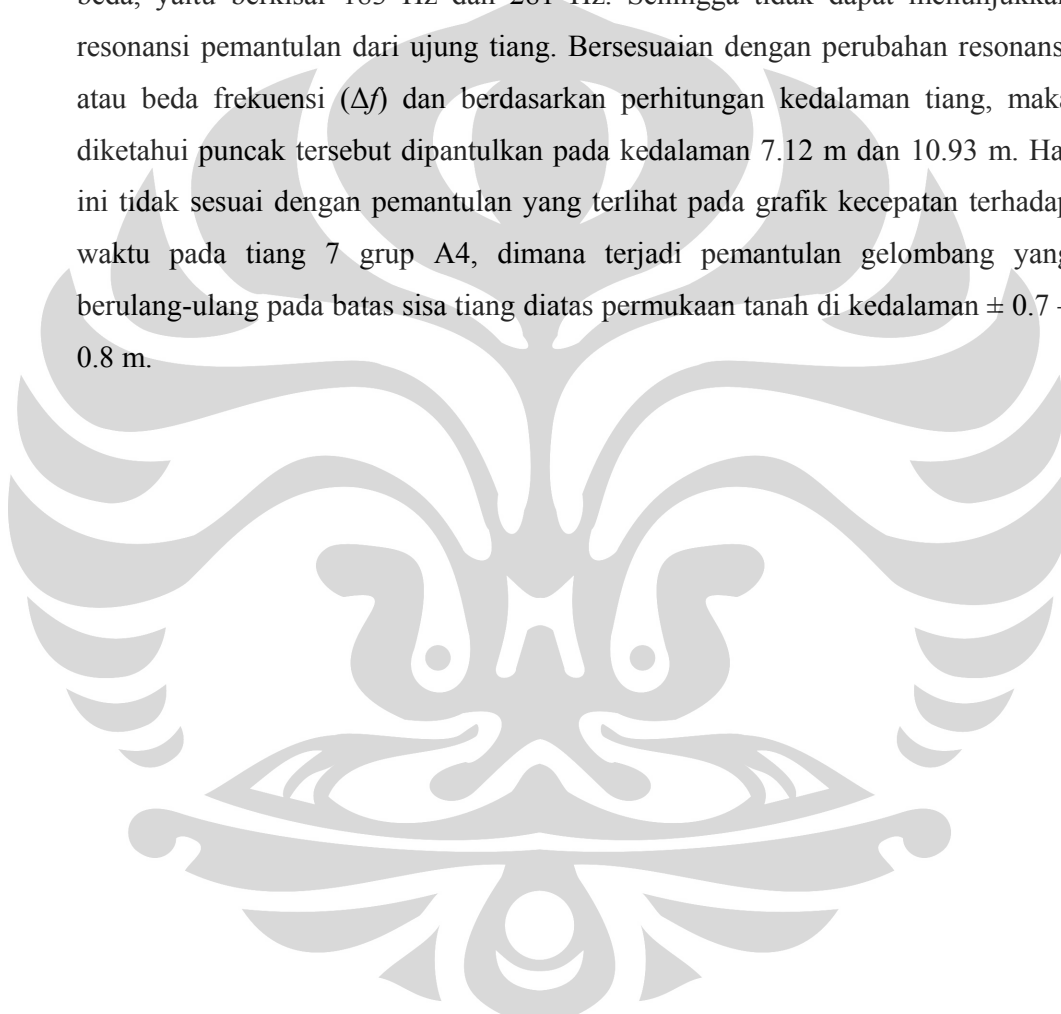
4.2.2.2.7 Tiang 7

Panjang Tiang (L) = 12 m



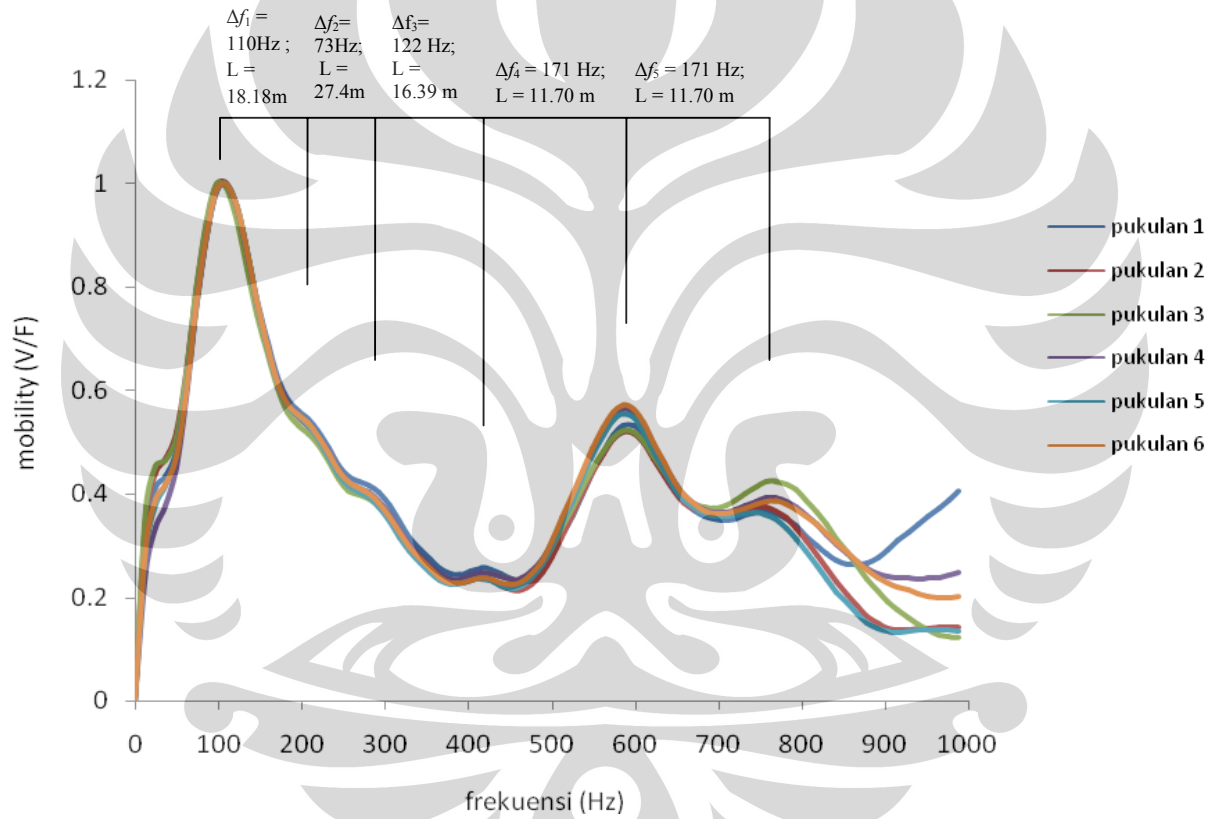
Gambar 4.135 Grafik *Mobility* untuk Tiang 7 (Grup A4)

Gambar 4.135 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 6 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.135 menunjukkan tiga puncak resonansi yang jelas dibawah 600 Hz. Ketiga puncak resonansi ini memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang erbeda-beda, yaitu berkisar 183 Hz dan 281 Hz. Sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 7.12 m dan 10.93 m. Hal ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 7 grup A4, dimana terjadi pemantulan gelombang yang berulang-ulang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman $\pm 0.7 - 0.8$ m.



4.2.2.2.8 Tiang 8

Panjang Tiang (L) = 12 m

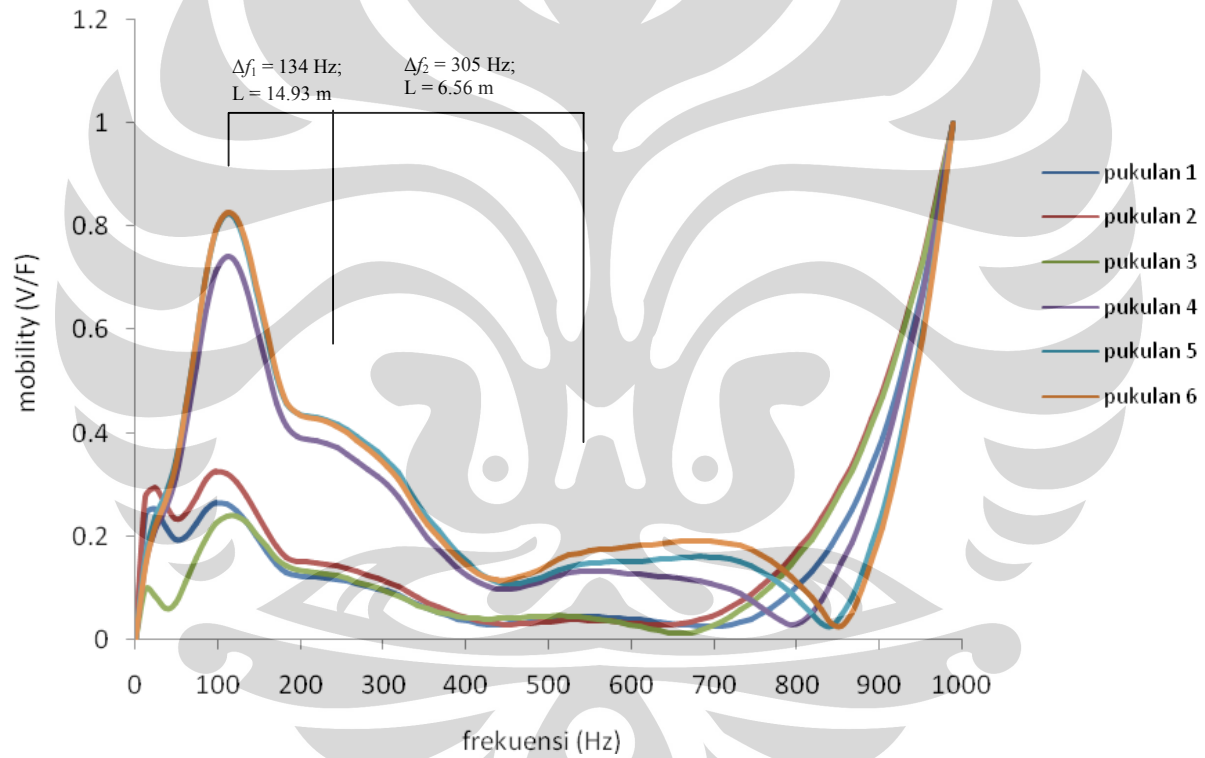


Gambar 4.136 Grafik *Mobility* untuk Tiang 8 (Grup A4)

Gambar 4.136 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 6 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.136 menunjukkan enam puncak resonansi yang jelas dibawah 800 Hz. Dari keenam puncak resonansi tersebut, terdapat tiga puncak diantara 400 Hz dan 800 Hz yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang sama, yaitu berkisar 171 Hz. Tiga puncak tersebut dapat diindikasikan sebagai resonansi pemantulan dari ujung tiang, karena bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 11.70 m, yang mana hampir mendekati kedalaman tiang di lapangan yaitu 12 m. Sedangkan tiga perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) lainnya yang berbeda, yaitu 110 Hz, 73 Hz dan 122 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak-puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 18.18 m, 27.40 m dan 16.93 m. Hasil analisa pada grafik frekuensi terhadap *mobility* ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 8 grup A4, dimana respon sinyal ujung tiang tidak jelas karena terjadi pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.8 m.

4.2.2.2.9 Tiang 9

Panjang Tiang (L) = 12 m

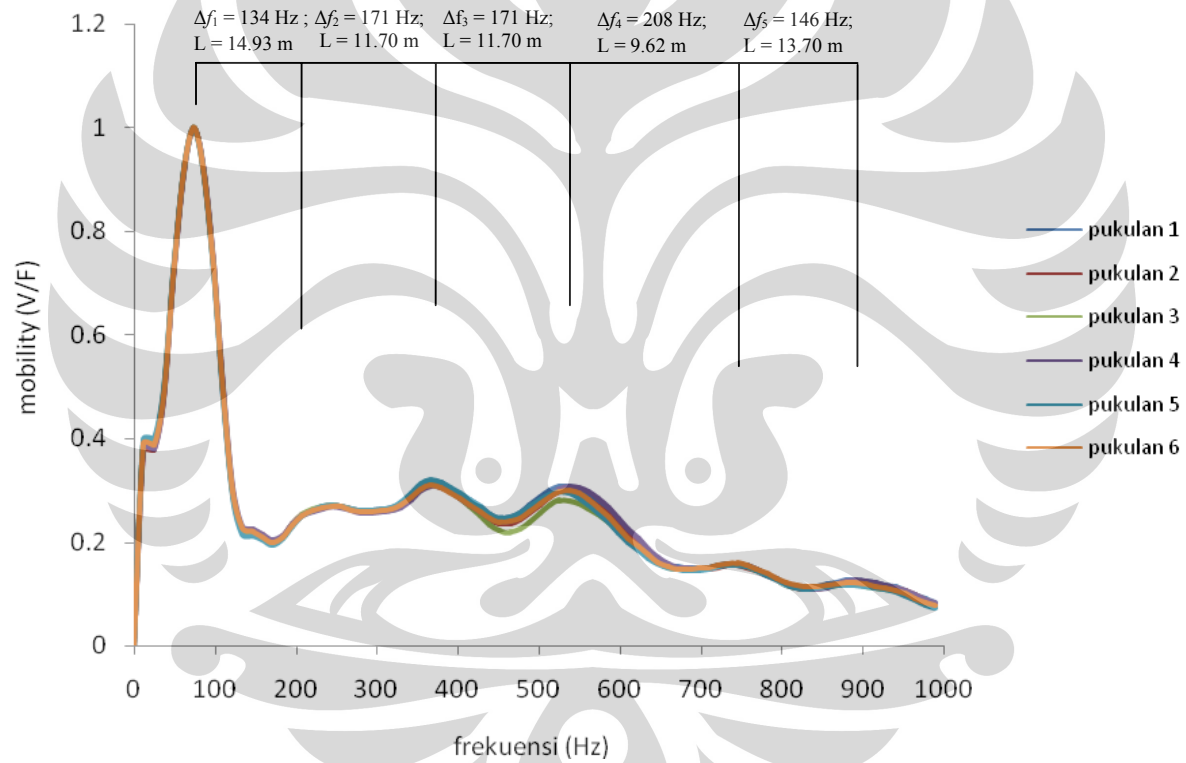


Gambar 4.137 Grafik *Mobility* untuk Tiang 9 (Grup A4)

Gambar 4.137 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 9 pada grup tiang A4 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 9 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi yang relatif sama tetapi dengan *mobility* yang berbeda-beda. Grafik frekuensi terhadap *mobility* pada pukulan 1, 2 dan 3 memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu memiliki *mobility* yang lebih rendah pada frekuensi 110 Hz. Pada Gambar 4.137 menunjukkan tiga puncak resonansi yang jelas dibawah 700 Hz. Ketiga puncak resonansi tersebut memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang erbeda-beda, yaitu berkisar 134 Hz dan 305 Hz. Sehingga tidak dapat menunjukkan resonansi pemantulan dari ujung tiang. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 14.93 m dan 6.56 m. Hal ini tidak sesuai dengan grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 9 grup A4 yang menunjukkan terjadi pemantulan gelombang pada kedalaman ± 1 m yang mengindikasikan adanya perubahan impedansi pada tiang.

4.2.2.2.10 Tiang 10

Panjang Tiang (L) = 12 m



Gambar 4.138 Grafik *Mobility* untuk Tiang 10 (Grup A4)

Gambar 4.138 menunjukkan grafik frekuensi terhadap *mobility* untuk tiang 6 pada grup tiang A5 yang dihasilkan dari 6 kali pukulan *hammer*. Dari 6 kali pukulan *hammer* pada tiang 6 tersebut menghasilkan grafik frekuensi terhadap *mobility* dengan frekuensi dan *mobility* yang relatif sama. Pada Gambar 4.138 menunjukkan enam puncak resonansi yang jelas dibawah 900 Hz. Dari keenam puncak resonansi tersebut, terdapat tiga puncak diantara 200 Hz dan 600 Hz yang memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang sama, yaitu berkisar 171 Hz. Tiga puncak tersebut dapat diindikasikan sebagai resonansi pemantulan dari ujung tiang, karena bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang diketahui puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 11.70 m, yang mana hampir mendekati kedalaman tiang di lapangan yaitu 12 m. Sedangkan tiga perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) lainnya yang berbeda, yaitu 134 Hz, 208 Hz dan 146 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui puncak-puncak tersebut dipantulkan pada kedalaman 14.93 m, 9.62 m dan 13.70 m. Hasil analisa pada grafik frekuensi terhadap *mobility* ini tidak sesuai dengan pemantulan yang terlihat pada grafik kecepatan terhadap waktu pada tiang 10 grup A4, dimana respon sinyal ujung tiang tidak jelas karena terjadi pemantulan gelombang di kedalaman ± 0.4 m yang mengindikasikan adanya perubahan impedansi pada tiang dan terjadi pemantulan gelombang dengan komponen spektrum yang melebar pada kedalaman ± 24.6 m.

Dari hasil analisa keseluruhan pada grafik frekuensi terhadap *mobility*, maka dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian *Pile Integrity Test* (P.I.T) terhadap tiang pancang yang telah Penulis laksanakan, metode frekuensi domain yang terdiri dari grafik frekuensi terhadap *mobility* tidak dapat mengidentifikasi karakteristik sinyal gelombang dari ujung tiang sehingga panjang tiang sulit untuk ditentukan. Berikut Penulis tampilkan kesimpulan analisa pada tiang-tiang dalam grup A4 dan A5 berdasarkan grafik frekuensi terhadap *mobility* serta perbandingan antara hasil analisa *time domain* dan *frequency domain* dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A5 berdasarkan Grafik Frekuensi terhadap *Mobility*

Grup Tiang A5	Panjang Tiang (<i>L</i>) di Lapangan (m)	Lebar (<i>D</i>) (m)	<i>L/D</i>	Kedalaman Sambungan (m)	Sisa Tiang di Atas Permukaan Tanah * (m)	Resonansi pemanjulan ujung tiang		Keterangan
						Jelas	Tidak Jelas	
Tiang 1	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 4.82 m.
Tiang 2	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 5.65 m dan 8.2 m.
Tiang 3	12	0.25	48	6	± 0.7		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 16.39 m dan 7.81 m.
Tiang 4	15	0.25	60	3 dan 9	± 0.9		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 4.10 m.
Tiang 5	12	0.25	48	6	± 0.9		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 9.62 m, 18.18 m dan 9.66 m.
Tiang 6	15	0.25	60	3 dan 9	± 1.2		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 4.68 m.
Tiang 7	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman 23.53 m, 8.62 m, 9.62 m dan 9.13 m.
Tiang 8 (SPS 50K)	9	0.25	36	3	± 0.6		√	Resonansi pemanjulan di kedalaman ± 4.6 m.
Tiang 8 (SPS 100K)								

*Berdasarkan skala pada gambar

Tabel 4.4 Kesimpulan Analisa Tiang pada Grup A4 berdasarkan Grafik Frekuensi terhadap *Mobility*

Grup Tiang A4	Panjang Tiang (<i>L</i>) di Lapangan (m)	Lebar (D) (m)	L/D	Kedalaman Sambungan (m)	Sisa Tiang di Atas Permukaan Tanah * (m)	Resonansi pemantulan ujung tiang		Keterangan
						Jelas	Tidak Jelas	
Tiang 1	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 10.93 m, 10.26 m dan 8.62 m
Tiang 2	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 23.30 m, 25 m, 20 m dan 4,78 m
Tiang 3	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 32.79 m, 20.41 m dan 16.39 m.
Tiang 4	12	0.25	48	6	± 0.9		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 4.96 m
Tiang 5	12	0.25	48	6	± 0.6		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 6.83 m, 9.09 m dan 11.70 m
Tiang 6	12	0.25	48	6	± 1		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 27.4 m dan 6.31 m
Tiang 7	12	0.25	48	6	± 0.8		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 7.12 m dan 10.93 m
Tiang 8	12	0.25	48	6	± 0.8	√		Resonansi pemantulan di kedalaman 18.18 m, 27.40 m, 16.93 m dan 11.70 m (terjadi tiga puncak yang menunjukkan resonansi dari pemantulan di ujung tiang, hampir mendekati panjang tiang di lapangan)
Tiang 9	12	0.25	48	6	± 0.9		√	Resonansi pemantulan di kedalaman 14.93 m dan 6.56 m
Tiang 10	12	0.25	48	6	± 0.6	√		Resonansi pemantulan di kedalaman 14.93 m, 11.70 m (terjadi tiga puncak yang menunjukkan resonansi dari pemantulan di ujung tiang, hampir mendekati panjang tiang di lapangan), 9.62 m dan 13.70 m

*Berdasarkan skala pada gambar

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Analisa Time Domain (Grafik Kecepatan vs Waktu) dan Frekuensi Domain (Grafik Frekuensi vs *Mobility*) pada Grup Tiang A5

Grup Tiang A5	Panjang Tiang (<i>L</i>) di Lapangan (m)	Lebar (<i>D</i>) (m)	L/ <i>D</i>	Kedalaman Sambungan (m)	Sisa Tiang di Atas Permukaan Tanah * (m)	<i>Time Domain</i>	<i>Frequency Domain</i>
						Grafik Kecepatan terhadap Waktu	Grafik Frekuensi terhadap <i>Mobility</i>
Tiang 1	12	0.25	48	6	± 0.6	Perubahan impedansi di kedalaman 4 m, terjadi <i>local peak</i> di kedalaman ± 0.6 m dan dicurigai respon sinyal ujung tiang di kedalaman 11.83 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 4.82 m
Tiang 2	12	0.25	48	6	± 0.6	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.6 – 0.7 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 5.65 m dan 8.2 m
Tiang 3	12	0.25	48	6	± 0.7	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.67 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 16.39 m dan 7.81 m
Tiang 4	15	0.25	60	3 dan 9	± 0.9	Pemantulan gelombang secara berulang-ulang pada sambungan tiang di kedalaman 3 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 4.10 m
Tiang 5	12	0.25	48	6	± 0.9	Perubahan impedansi di kedalaman 0.68 m dan pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.8 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 9.62 m, 18.18 m dan 9.66 m
Tiang 6	15	0.25	60	3 dan 9	± 1.2	Pemantulan gelombang pada sambungan di kedalaman 3 m dan pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 1.12 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 4.68 m
Tiang 7	12	0.25	48	6	± 0.6	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.5 – 0.6 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 23.53 m, 8.62 m, 9.62 m dan 9.13 m
Tiang 8 (SPS 50K) Tiang 8 (SPS 100K)	9	0.25	36	3	± 0.6	Perubahan impedansi di kedalaman 0.9 m dan pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.5 – 0.6 m	Resonansi pemantulan di kedalaman ± 4.6 m

*Berdasarkan skala pada gambar

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Analisa *Time Domain* (Grafik Kecepatan vs Waktu) dan *Frequency Domain* (Grafik *Mobility*) pada Grup Tiang A4

Grup Tiang A4	Panjang Tiang (L) di Lapangan (m)	Lebar (D) (m)	L/D	Kedalaman Sambungan (m)	Sisa Tiang di Atas Permukaan Tanah * (m)	<i>Time Domain</i>	<i>Frequency Domain</i>
						Grafik Kecepatan terhadap Waktu	Grafik Frekuensi terhadap <i>Mobility</i>
Tiang 1	12	0.25	48	6	± 0.6	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.6 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 10.93 m, 10.26 m dan 8.62 m
Tiang 2	12	0.25	48	6	± 0.6	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.6 – 0.7 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 23.30 m, 25 m, 20 m dan 4,78 m
Tiang 3	12	0.25	48	6	± 0.6	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.5 – 0.6 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 32.79 m, 20.41 m, dan 16.39 m
Tiang 4	12	0.25	48	6	± 0.9	Perubahan impedansi di kedalaman 2.76 m dan pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.9 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 4.96 m
Tiang 5	12	0.25	48	6	± 0.6	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.5 – 0.6 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 6.83 m, 9.09 m dan 11.70 m
Tiang 6	12	0.25	48	6	± 1	Perubahan impedansi di kedalaman 0.6 m dan 3,04 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 27.4 m dan 6.31 m
Tiang 7	12	0.25	48	6	± 0.8	Perubahan impedansi di kedalaman 0.44 m dan pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.7 – 0.8 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 7.12 m dan 10.93 m
Tiang 8	12	0.25	48	6	± 0.8	Pemantulan gelombang pada batas sisa tiang diatas permukaan tanah di kedalaman ± 0.8 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 18.18 m, 27.40 m, 16.93 m dan 11.70 m (terjadi tiga puncak yang menunjukkan resonansi dari pemantulan di ujung tiang hampir mendekati panjang tiang di lapangan)
Tiang 9	12	0.25	48	6	± 0.9	Perubahan impedansi di kedalaman 1 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 14.93 m dan 6.56 m
Tiang 10	12	0.25	48	6	± 0.6	Perubahan impedansi di kedalaman ± 0.4 m	Resonansi pemantulan di kedalaman 14.93 m, 11.70 m (terjadi tiga puncak yang menunjukkan resonansi dari pemantulan di ujung tiang, hampir mendekati panjang tiang di lapangan), 9.62 m dan 13.70 m

*Berdasarkan skala pada gambar

4.3 Kondisi pada Saat Pengujian

Pengujian integritas tiang (*Pile Integrity Test*) ini dilaksanakan pada pondasi tiang yang baru terpancang dalam tanah, pada proyek pembangunan gedung perkuliahan di Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Ada beberapa kondisi pada saat pengujian yang mungkin dapat mempengaruhi proses perekaman respon sinyal oleh *P.I.T^m Collector*. Kondisi-kondisi tersebut adalah :

- Lokasi pemasangan *acceleremoter* tidak tetap atau tidak konstan untuk tiap tiang. Hal ini karena kondisi plat baja yang melapisi permukaan atas tiang ada yang tidak rata dan atau beton dibawah plat baja tersebut mengalami pecah-pecah, sehingga *acceleremoter* dipasang di lokasi yang memungkinkan untuk merekam respon sinyal, baik itu di tengah maupun di bagian tepi. Lokasi terbaik untuk menempatkan *acceleremoter* adalah sekitar $\frac{1}{2}$ radius dari bagian tengah tiang atau 2 – 3 inch dari diameter tiang, untuk mengurangi efek tepi.

Pecah di bagian atas tiang



Pecah di bagian atas tiang, sehingga plat pada kepala tiang melengkung/tidak rata



Pecah di bagian atas tiang



- Pengujian P.I.T dilakukan pada saat proses pemancangan pondasi masih berlangsung di lapangan, sehingga memberikan getaran di sekelilingnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan beberapa tahap penelitian, yaitu mengumpulkan data dengan melakukan pengujian langsung di lapangan, mengolah data, menginterpretasi data dan menganalisis data, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil seperti berikut.

Pertama, kedalaman atau panjang tiang pada pengujian ini sulit ditentukan. Ada beberapa faktor penyebab kesulitan tersebut, yaitu :

1. Sulitnya menentukan panjang total tiang dapat disebabkan kemungkinan adanya beberapa zona cacat atau terjadi perubahan impedansi yang bervariasi pada tiang-tiang tersebut. Cacat atau terjadi perubahan impedansi pada tiang menghasilkan respon sinyal yang tidak jelas sehingga sulit untuk menentukan respon sinyal pada ujung tiang.
2. Pemantulan gelombang berulang-ulang pada lokasi yang sama dapat menyembunyikan pemantulan dari ujung tiang.
3. Dengan adanya sambungan pada tiang, dapat menyebabkan pemantulan terjadi pada sambungan sehingga menghasilkan pantulan gelombang permukaan sebelum gelombang merambat menuju ujung tiang dan kembali ke atas. Hal ini menimbulkan kesulitan dalam mengidentifikasi suatu respon pemantulan gelombang tunggal dari ujung tiang.
4. Sulit untuk menentukan kedalaman atau panjang tiang dengan rasio kelangsingan (rasio panjang tiang terhadap diameter) yang tinggi (>30). Dengan panjang tiang yang bervariasi dari 9 m, 12 m dan 15 m, dengan diameter tiang 0.25 m, menghasilkan rasio kelangsingan yang lebih besar dari 30. Tiang dengan panjang 9 m memiliki rasio kelangsingan berkisar 36; tiang dengan panjang 12 m memiliki rasio berkisar 48; dan tiang dengan panjang 15 m memiliki rasio berkisar 60. Hal ini karena energi *impact force* menyebar dari tiang menuju tanah di sekeliling tiang. Efek dari tanah adalah menyerap energy, dan oleh karena itu, menghambat respon sinyal.

5. Respon sinyal yang tidak jelas juga dapat ditimbulkan dari getaran pekerjaan pemancangan tiang di lapangan selama pengujian berlangsung.
6. Lokasi pemasangan *accelerometer* tidak tetap atau tidak konstan untuk tiap tiang juga dapat mempengaruhi proses rekaman data selama proses pengujian, sehingga dapat mengakibatkan respon sinyal menjadi tidak jelas.
7. *Damping* (dari friksi tiang atau tahanan ujung tiang) dapat menyebabkan respon sinyal tidak cukup energi untuk kembali dipantulkan dari ujung tiang, sehingga menyebabkan respon sinyal yang lemah, atau bahkan hilangnya respon sinyal.

Kedua, berdasarkan hasil analisa dengan metode *time domain*, diketahui bahwa grafik kecepatan terhadap waktu pada tiap-tiap tiang dalam grup A4 dan A5 tidak dapat menunjukkan respon sinyal pada ujung tiang yang nyata atau jelas. Dari analisa dapat diketahui respon sinyal pada ujung tiang yang lemah ini disebabkan sebagian besar karena pemantulan gelombang terjadi sebelum waktu pemantulan ujung tiang yang diharapkan. Dimana pemantulan gelombang tersebut selain terjadi pada bagian tiang yang terdapat cacat atau anomali atau perubahan impedansi, juga terjadi pada sambungan tiang dan pada batas antara sisa tiang diatas permukaan tanah dengan bagian tiang yang sudah tertanam.

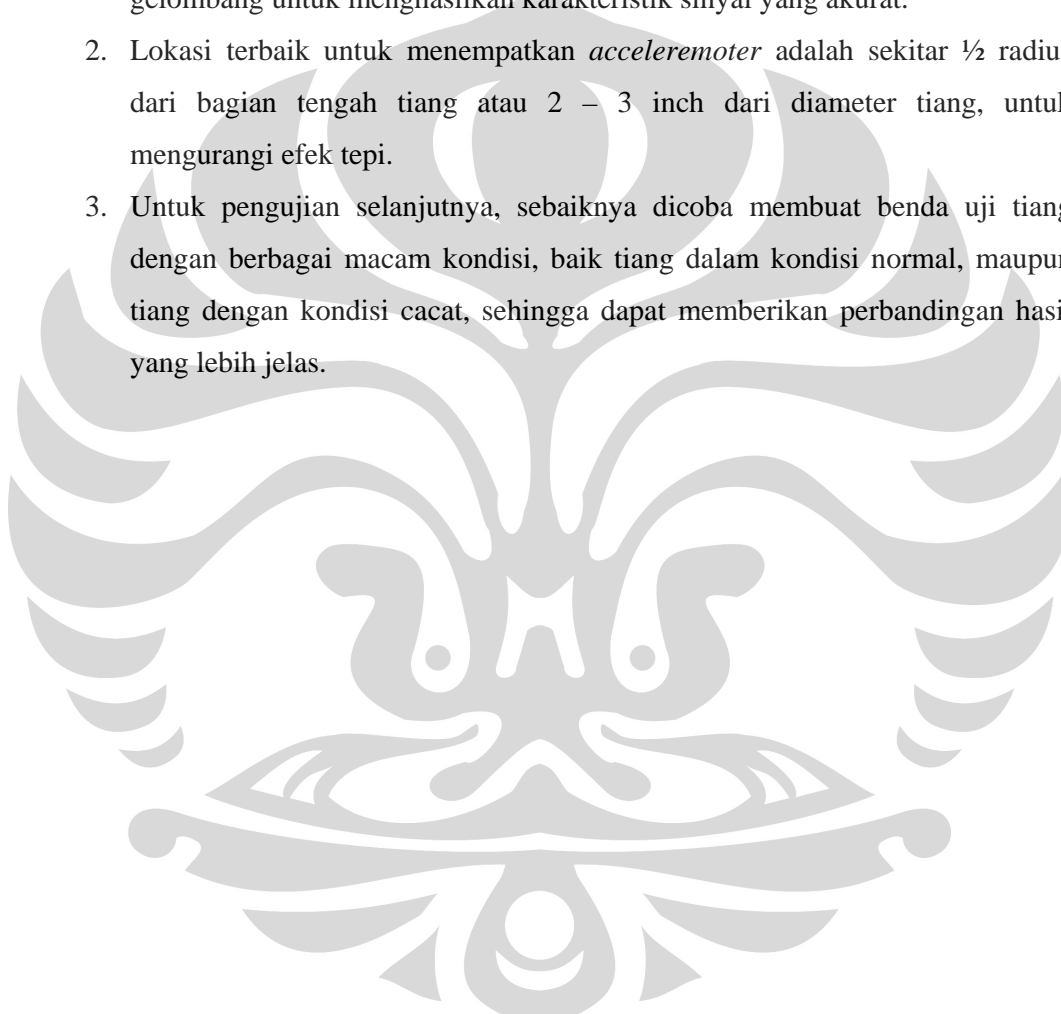
Ketiga, berdasarkan hasil analisa pada grafik metode *frequency domain*, diketahui bahwa grafik frekuensi terhadap *mobility* pada tiap-tiap tiang dalam grup A4 dan A5, sebagian besar tidak dapat mengidentifikasi karakteristik sinyal gelombang dari ujung tiang sehingga panjang tiang sulit untuk ditentukan.

Keempat, dari hasil analisa keseluruhan berdasarkan metode *time domain* maupun metode *frequency domain*, dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian *Pile Integrity Test* (P.I.T) terhadap tiang pancang yang telah Penulis laksanakan, respon sinyal ujung tiang dapat diidentifikasi secara jelas hanya pada 2 tiang dari 18 tiang yang diuji. Respon sinyal ujung tiang pada kedua tiang tersebut dapat diidentifikasi dengan jelas berdasarkan metode *frequency domain*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat Penulis berikan untuk penelitian lebih lanjut, antara lain adalah :

1. Untuk pengujian integritas tiang yang menggunakan sambungan, sebaiknya kualitas sambungan dan pemasangan sambungan tiang harus diperhatikan dengan baik, karena kualitas sambungan sangat mempengaruhi respon sinyal gelombang untuk menghasilkan karakteristik sinyal yang akurat.
2. Lokasi terbaik untuk menempatkan *accelerometer* adalah sekitar $\frac{1}{2}$ radius dari bagian tengah tiang atau 2 – 3 inch dari diameter tiang, untuk mengurangi efek tepi.
3. Untuk pengujian selanjutnya, sebaiknya dicoba membuat benda uji tiang dengan berbagai macam kondisi, baik tiang dalam kondisi normal, maupun tiang dengan kondisi cacat, sehingga dapat memberikan perbandingan hasil yang lebih jelas.



DAFTAR REFERENSI

- Huoo Ni, Sheng; Lehmann, Lutz; Jy Charng, Jeng; Feng Lo, Kuo. 2006. *Low-Strain Integrity Testing of Drilled Piles with High Slenderness Ratio*. Journal of Science Direct, Computers and Geotechnics.
- Finno, J. R.; Gassman L. S. 1998. *Impulse Response Evaluation of Drilled Shaft*. Northwestern University, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Gassman, L. S.; Finno, R. J. 2000. *Cutoff Frequencies for Impulse Response Test of Existing Foundation*. Northwestern University, Journal of Performance of Constructed Facilities.
- Baxter, S. C.; Islam, M. O.; Gassman, L. S. 2004. *Impulse Response Evaluation of Drilled Shaft with Pile Caps: Modelling 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.
- Chow, Y. K.; Phoon, K. K.; Chow, W. F.; Wong, K. Y. 2003. *Low Strain Integrity Testing of Pile: Three-Dimensional Effects*. Northwestern University, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Pile Dynamic, Inc (PDI). 2003. *PIT-WTM Manual Software for PDI's Pile Integrity TesterTM Version 2003*. USA.
- Pile Dynamic, Inc (PDI). 2005. *PIT COLLECTOR User's Manual*. USA.

Hardjasaputra, Harianto; Ibrahim, M.; Tampubolon, R. 2006. *Strategi Pencegahan Kegagalan Pondasi dengan Melakukan Rangkaian Uji Coba Beban Serta Uji Integritas Tiang Pondasi*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 2.

Sarojo, Ganijanti Aby. 1981. *Gelombang dan Optika*. Universitas Indonesia. Seri Fisika Dasar.



Pada lampiran ini Penulis akan membahas mengenai analisa hasil pengujian P.I.T (*Pile Integrity Test*) pada pondasi tiang tunggal yang belum dipancang dalam tanah, sebagai bahan perbandingan terhadap analisa hasil pengujian P.I.T yang Penulis laksanakan sebelumnya pada pondasi tiang pancang yang telah tertanam dalam tanah.

1. Kondisi Geometrik Tiang

Pengujian P.I.T dilakukan pada sisa pondasi tiang pancang yang tidak terpakai dari proyek pembangunan gedung Perpustakaan Universitas Indonesia. Tiang tersebut masih dalam keadaan utuh belum terpancang dalam tanah, dengan kondisi tiang yang dijadikan landasan bagi *scaffolding*, besi tulangan dan barang lainnya. Pengujian hanya dilakukan pada satu tiang dengan panjang 8 m dan luas penampang tiang 0.35 m × 0.35 m. Pada saat pengujian, *accelerometer* ditempatkan sekitar $\frac{1}{2}$ radius atau \pm 8.75 cm dari titik tengah tiang, dengan pukulan *hammer* yang dikondisikan pada bagian tengah tiang.



Gambar 1 Kondisi Tiang yang Diuji

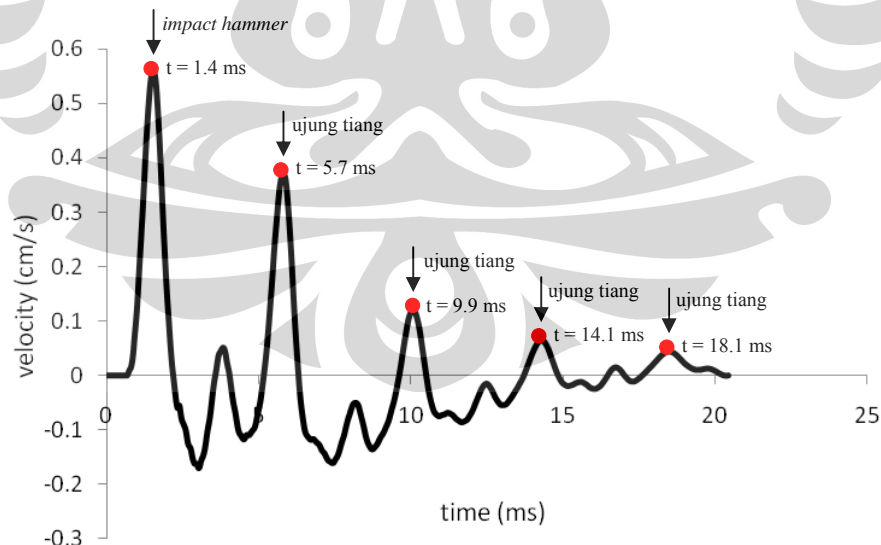
2. Interpretasi Hasil Percobaan

Interpretasi yang dilakukan adalah mencari panjang tiang berdasarkan metode *time domain*, metode *frequency domain* dan metode analisa profil. Data yang akan dianalisa terdiri dari data rekaman *individual* dan *average* (rata-rata). Untuk metode *time domain* dan *frequency domain*, Penulis menggunakan data rekaman *individual* dan *average*, sedangkan untuk metode analisa profil Penulis hanya menggunakan data rekaman *average*. Panjang tiang yang dihasilkan dari perhitungan secara teoritis ini akan dibandingkan dengan panjang tiang yang sebenarnya di lapangan. Dengan mengasumsikan kecepatan rambat gelombang sebesar 4000 m/s berdasarkan syarat kecepatan rambat gelombang pada beton yang berkualitas baik, yaitu berkisar antara 3500 – 4500 m/s, berikut Penulis tampilkan hasil analisa yang telah diproses dengan bantuan *software* PIT-W dan *Excel*.

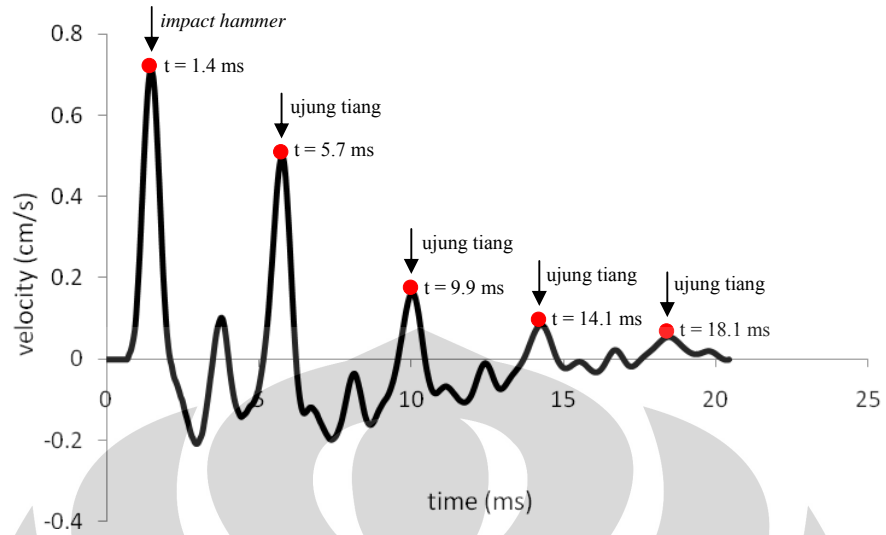
2.1 Metode Time Domain

➤ Data Rekaman *Individual*

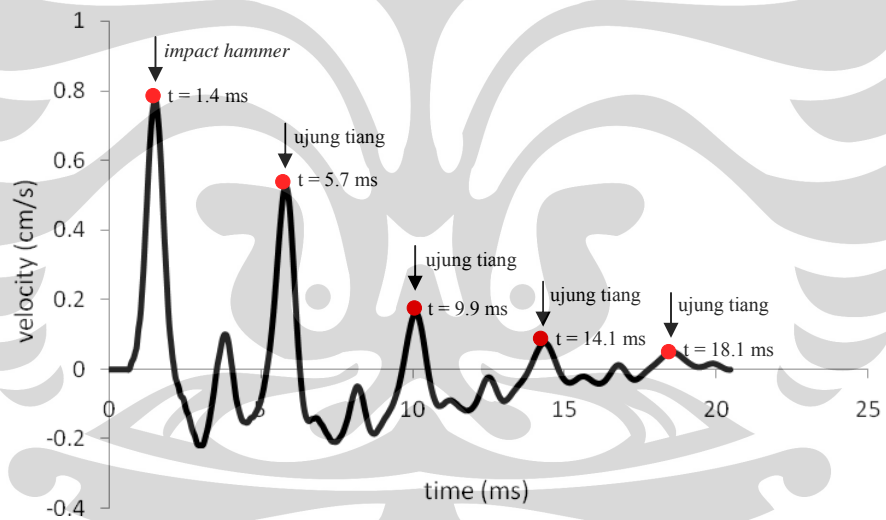
Pada kepala tiang dilakukan pukulan hammer sebanyak 6 kali, sehingga data rekaman *Individual* menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu.



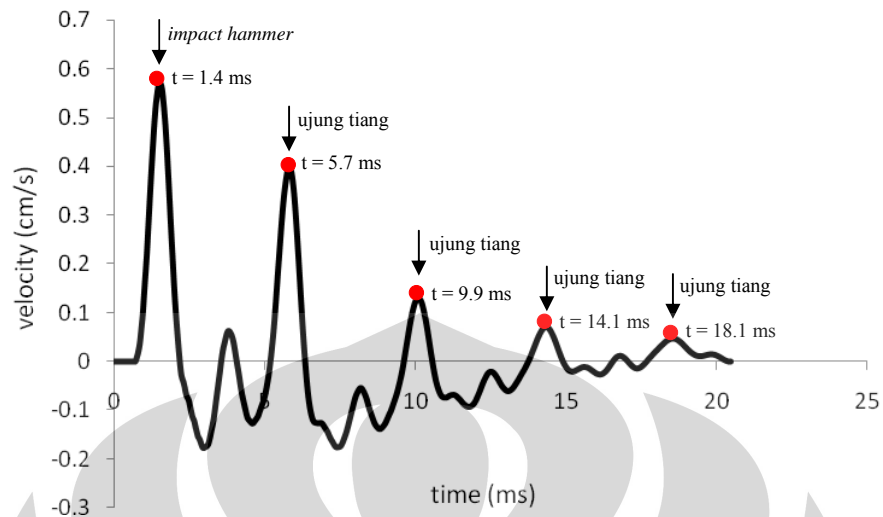
Gambar 2 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Pukulan 1



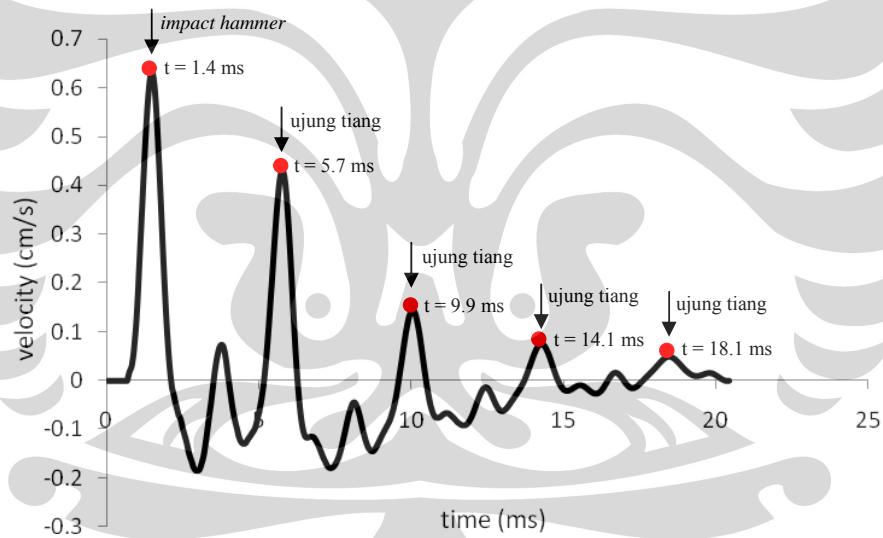
Gambar 3 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Pukulan 2



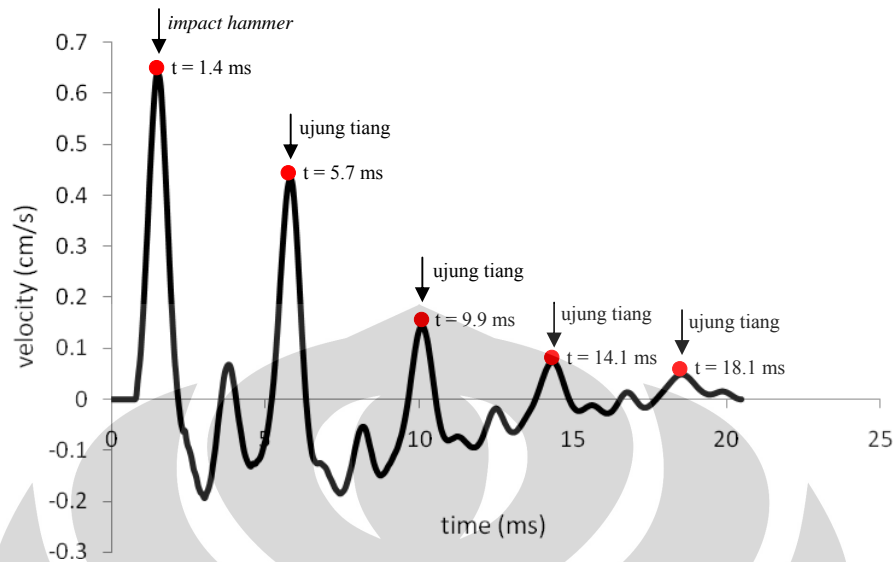
Gambar 4 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Pukulan 3



Gambar 5 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Pukulan 4



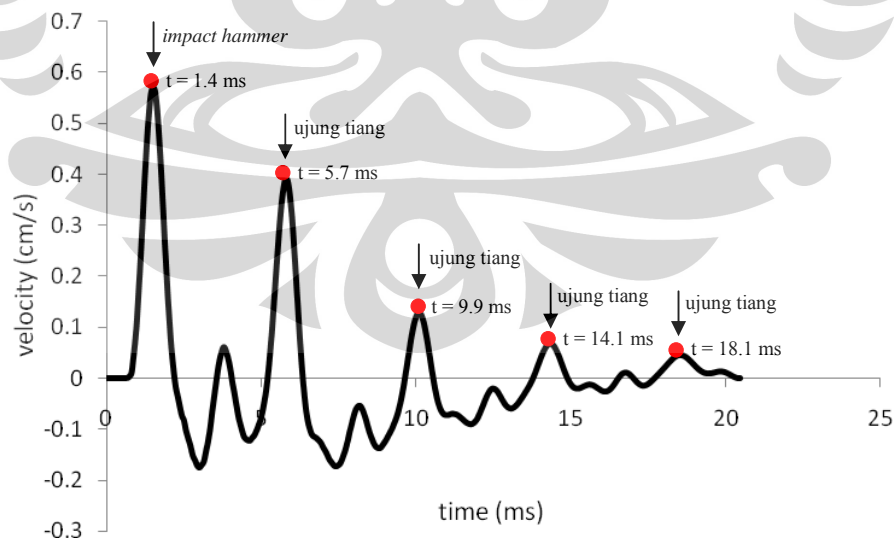
Gambar 6 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Pukulan 5



Gambar 7 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Pukulan 6

➤ Data Rekaman *Average*

Pada data rekaman *Average* ini, pukulan hammer sebanyak 6 kali yang menghasilkan 6 grafik kecepatan terhadap waktu di rata-rata, sehingga menghasilkan 1 grafik kecepatan terhadap waktu yang dapat mewakili 6 grafik tersebut.



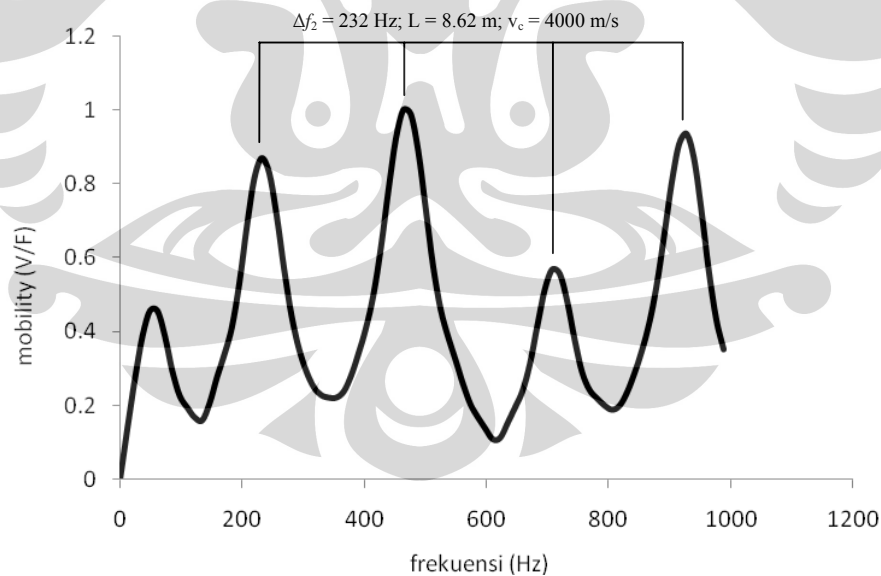
Gambar 8 Grafik Kecepatan terhadap Waktu untuk Data Average

Pada gambar 2 – 8 menunjukkan baik data *individual* maupun data *average* menghasilkan grafik kecepatan terhadap waktu yang relatif sama. Dari grafik dapat dilihat, puncak gelombang awal akibat *impact hammer* terjadi pada $t = 1.4$ ms. Sedangkan respon sinyal ujung tiang diwakilkan oleh puncak-puncak gelombang yang signifikan, yaitu pada $t = 5.7$ ms, $t = 9.9$ ms, $t = 14.1$ ms dan $t = 18.1$ ms. Hal ini berarti terjadi pemantulan gelombang yang berulang-ulang pada ujung tiang. Bersesuaian dengan beda waktu (Δt) antar puncak-puncak gelombang sejak *impact hammer* dan berdasarkan analisa perhitungan kedalaman tiang, maka diketahui hal ini terjadi pada kedalaman ± 8.35 m dari atas tiang, dengan persentase kesalahan berkisar ± 4.4 % terhadap panjang tiang sebenarnya.

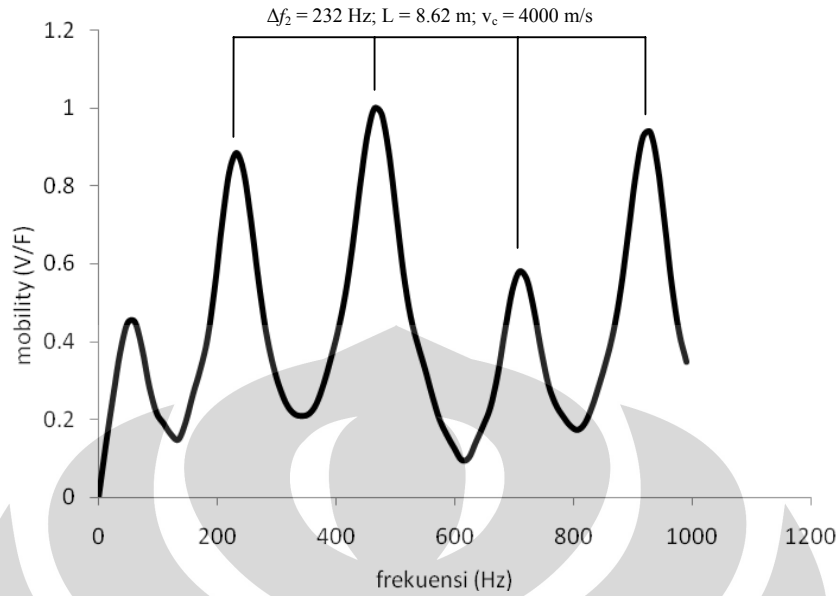
2.2 Metode *Frequency Domain*

➤ Data Rekaman *Individual*

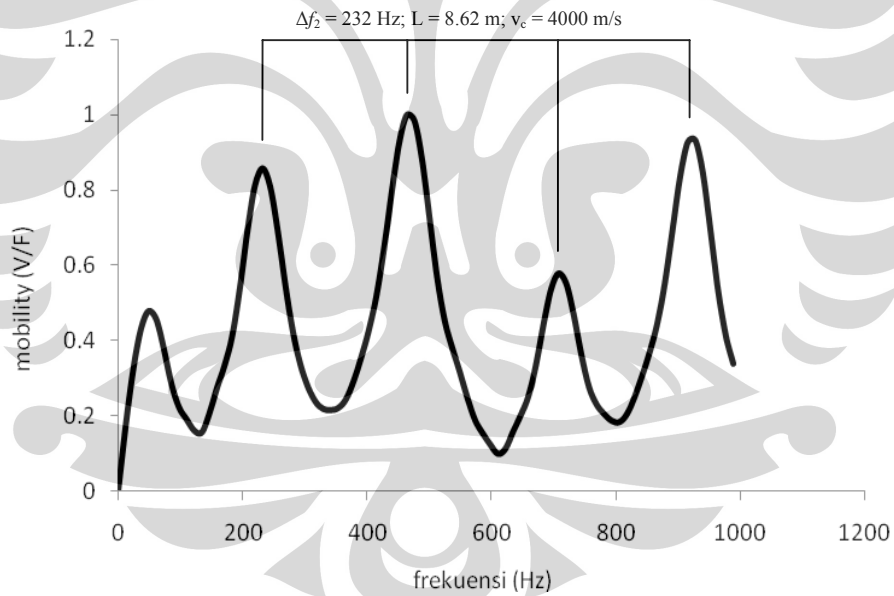
Pada kepala tiang dilakukan pukulan hammer sebanyak 6 kali, sehingga data rekaman *Individual* menghasilkan 6 grafik *mobility*.



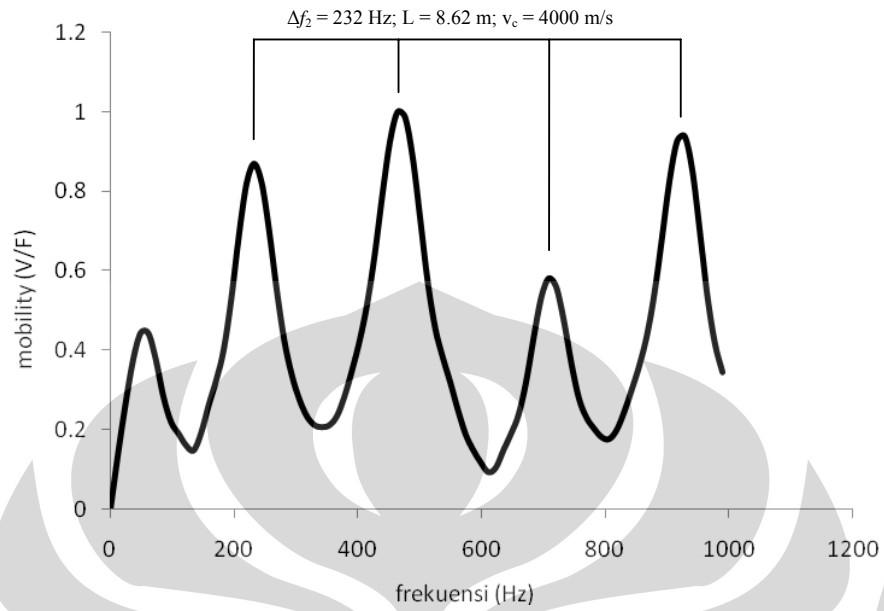
Gambar 9 Grafik *Mobility* untuk Pukulan 1



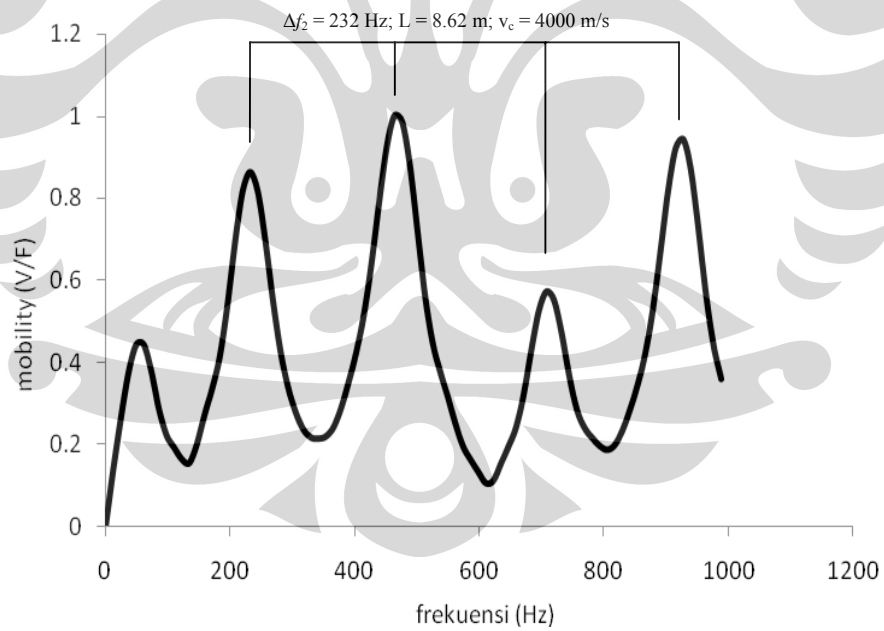
Gambar 10 Grafik *Mobility* untuk Pukulan 2



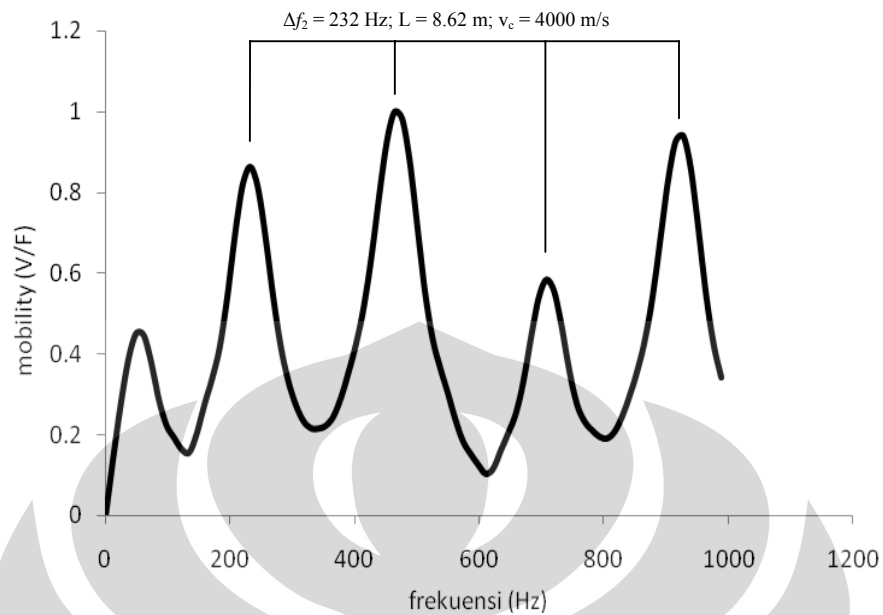
Gambar 11 Grafik *Mobility* untuk Pukulan 3



Gambar 12 Grafik *Mobility* untuk Pukulan 4



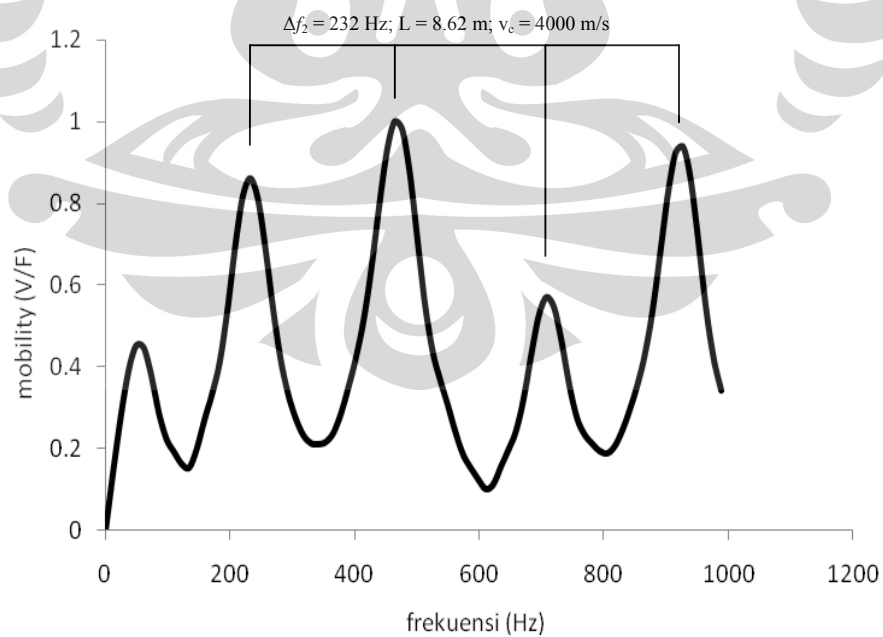
Gambar 13 Grafik *Mobility* untuk Pukulan 5



Gambar 14 Grafik *Mobility* untuk Pukulan 6

➤ *Data Rekaman Average*

Pada data rekaman *Average* ini, pukulan *hammer* sebanyak 6 kali yang menghasilkan 6 grafik *mobility* di rata-rata, sehingga menghasilkan 1 grafik *mobility* yang dapat mewakili 6 grafik tersebut.



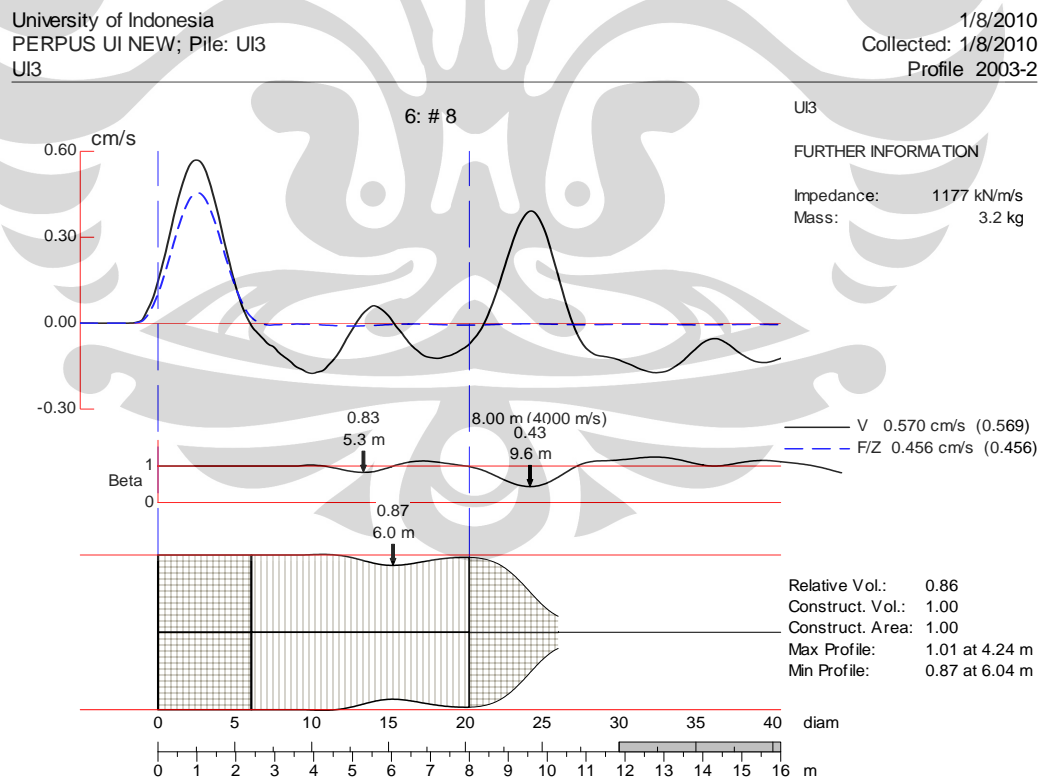
Gambar 15 Grafik *Mobility* untuk Data *Average*

Pada gambar 9 – 15 menunjukkan baik data *individual* maupun data *average* menghasilkan grafik *mobility* yang relatif sama. Dari grafik dapat dilihat, puncak-puncak resonansi yang jelas terjadi dibawah 1200 Hz. Diantara frekuensi 200 Hz dan 1000 Hz terjadi empat puncak resonansi yang dapat diindikasikan sebagai pemantulan dari ujung tiang karena keempat puncak resonansi tersebut memiliki perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) yang konsisten, yaitu berkisar 232 Hz. Bersesuaian dengan perubahan resonansi atau beda frekuensi (Δf) tersebut dan berdasarkan perhitungan kedalaman tiang diketahui pemantulan resonansi terjadi pada kedalaman 8.62 m, dengan persentase kesalahan $\pm 7.75\%$ terhadap panjang tiang sebenarnya.

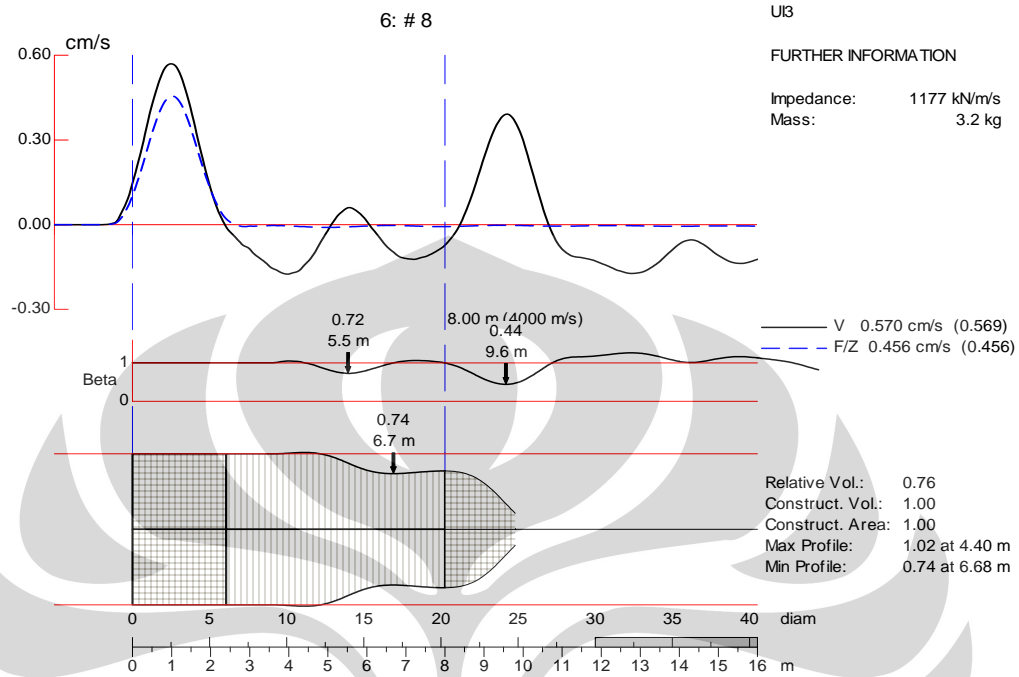
2.3 Metode Analisa Profil

➤ Data Rekaman *Average*

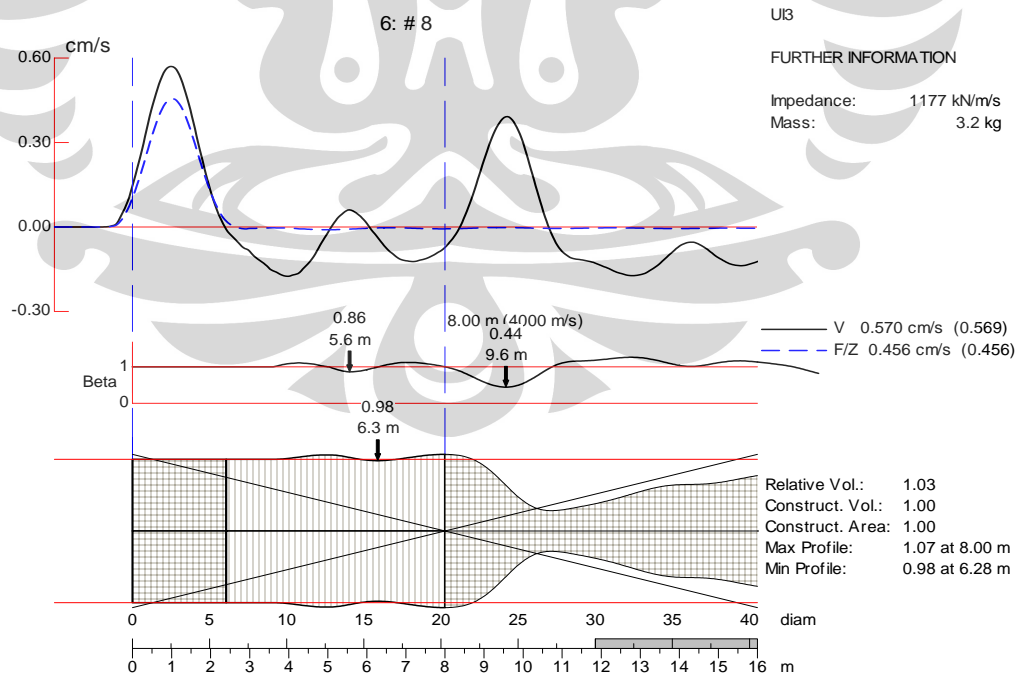
Pada analisa profil ini rekaman data *average* dianalisa dengan memperhatikan impedansi pada tiang.



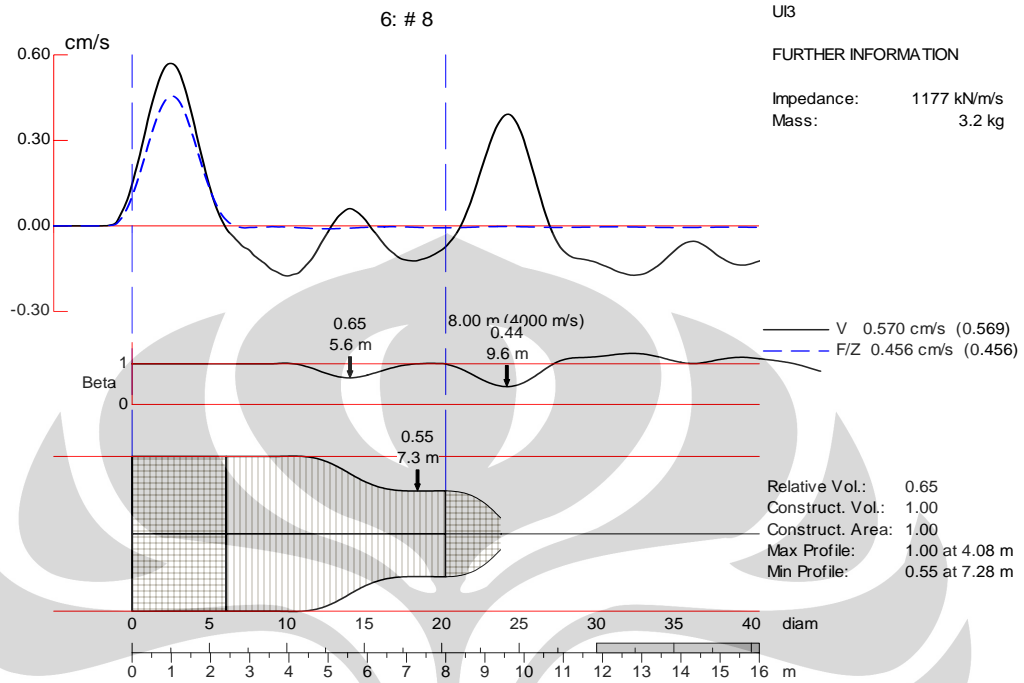
Gambar 16 Grafik *Low Pass*



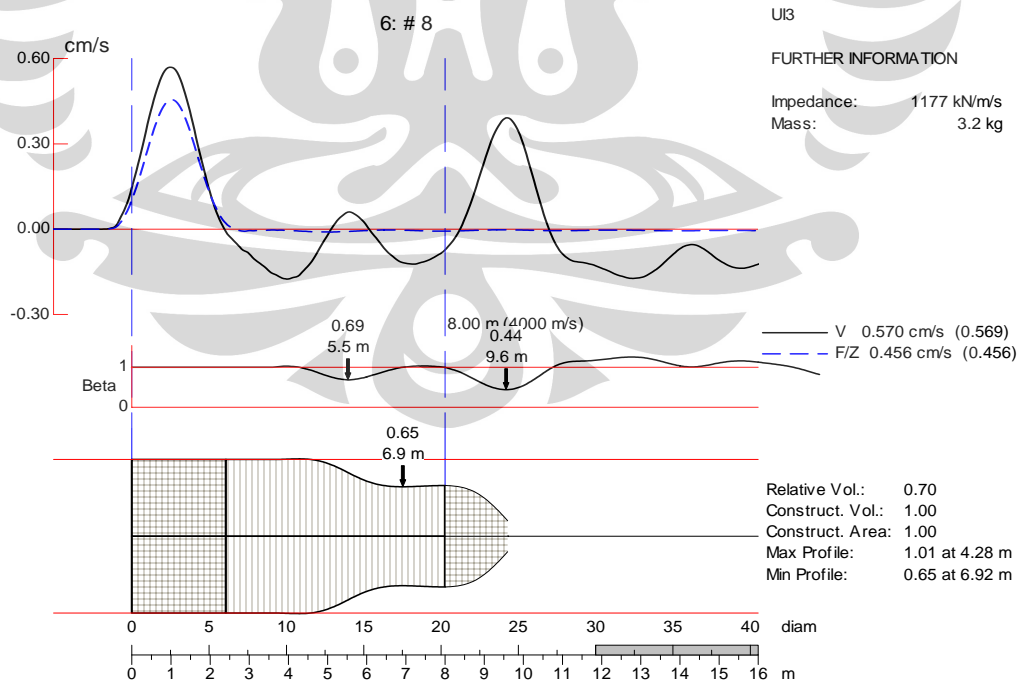
Gambar 17 Grafik Polynominal 1



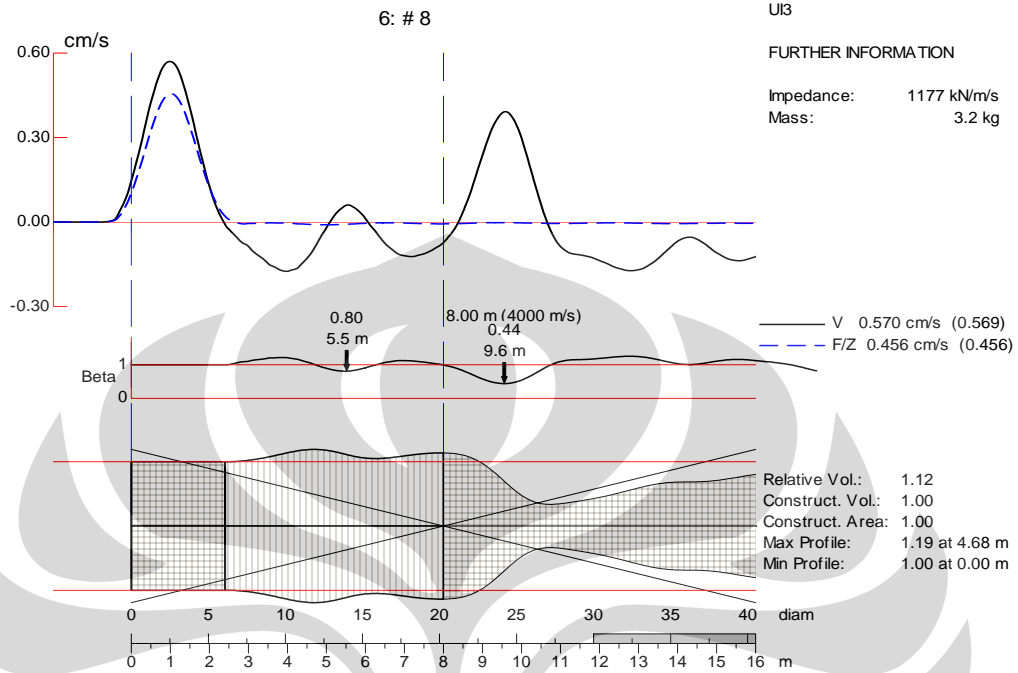
Gambar 18 Grafik Polynominal 2



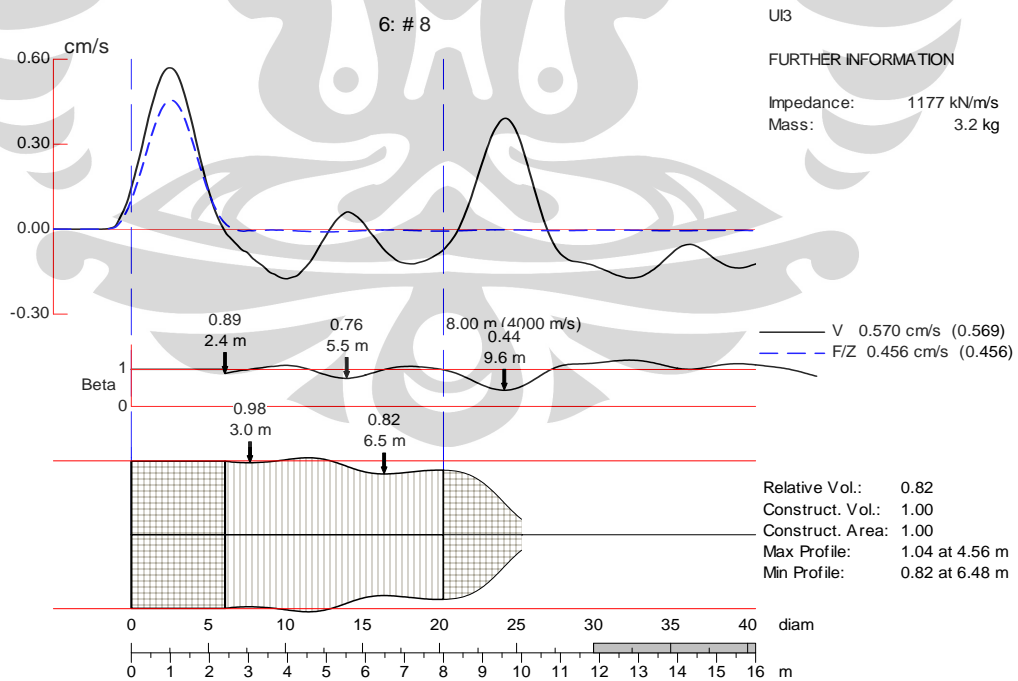
Gambar 19 Grafik Lower Envelope



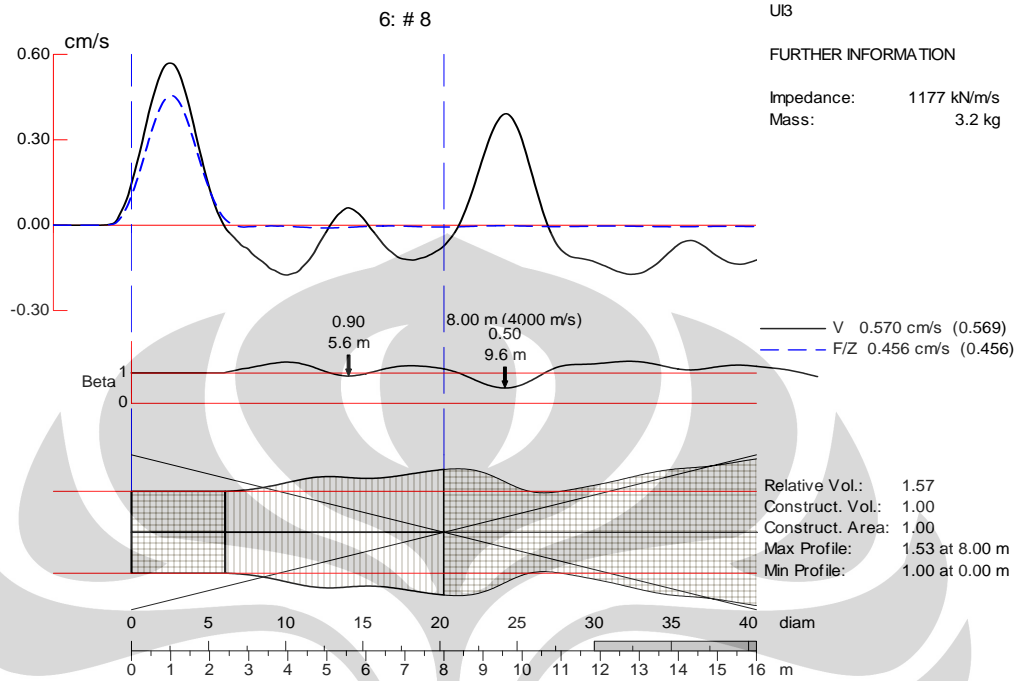
Gambar 20 Grafik Upper Envelope



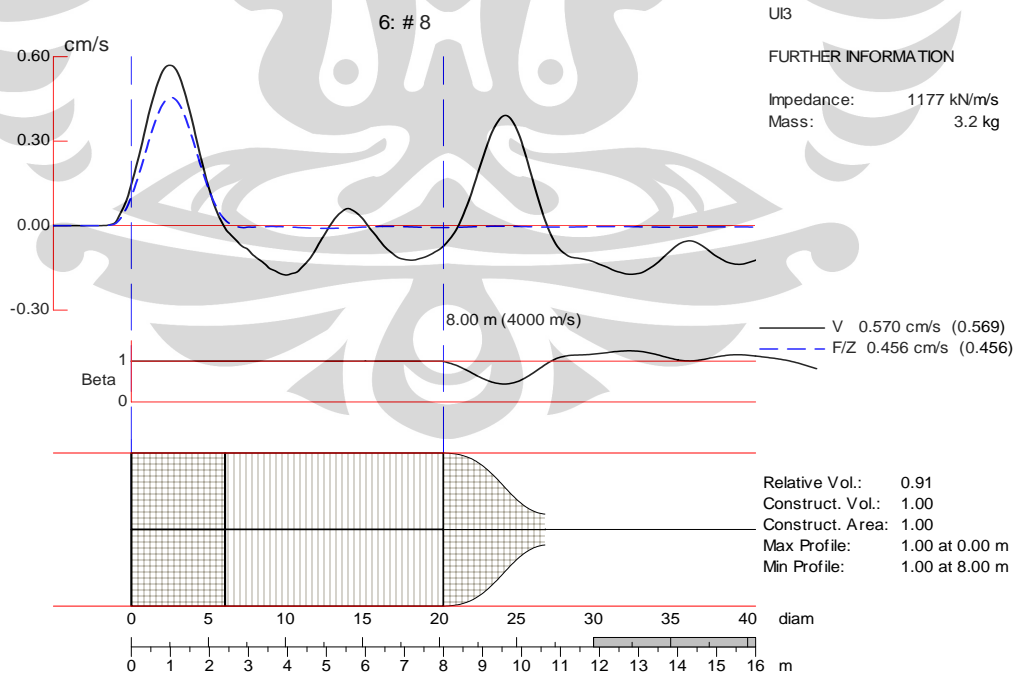
Gambar 21 Grafik High Pass



Gambar 22 Grafik Three Points



Gambar 23 Grafik Zero Line



Gambar 24 Grafik Uniform Pile

Dari hasil analisa keseluruhan pengujian P.I.T terhadap sisa tiang yang belum terpancang dalam tanah pada proyek pembangunan Perpustakaan Universitas Indonesia, baik berdasarkan metode *time domain*, *frequency domain* maupun metode analisa profil, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Respon sinyal ujung tiang kelihatan jelas, baik pada grafik kecepatan terhadap waktu maupun pada grafik *mobility*. Hal ini karena tiang masih dalam keadaan utuh dan tidak mengalami kerusakan atau cacat akibat proses pemancangan yang kurang baik.
2. Panjang tiang teoritis hasil analisa perhitungan hampir mendekati panjang tiang sebenarnya di lapangan, yaitu ± 8 m.
3. Dengan membandingkan hasil analisa pengujian P.I.T sebelumnya pada proyek pembangunan Gedung Perkuliahan di Fakultas Teknik UI dan hasil analisa pengujian P.I.T pada sisa tiang dari proyek pembangunan Perpustakaan UI, dapat diketahui bahwa walaupun P.I.T efektif dan efisien dari segi waktu dan biaya, tetapi memiliki beberapa keterbatasan dalam menganalisa, antara lain :
 - Tiang dengan perubahan impedansi atau cacat yang bervariasi atau memiliki sambungan yang kualitasnya tidak baik, menghasilkan rekaman data yang kompleks sehingga sulit untuk menganalisa respon sinyal setelah pemantulan gelombang pertama atau kedua.
 - Tiang dengan rasio kelangsingan (rasio panjang tiang terhadap diameter) yang tinggi (>30) juga dapat menyulitkan proses analisa P.I.T. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan hasil analisa sisa tiang dari proyek pembangunan Perpustakaan UI dengan hasil analisa tiang sebelumnya pada proyek pembangunan Gedung Perkuliahan di Fakultas Teknik UI. Dimana pada tiang sebelumnya dengan rasio kelangsingan tiang > 30 , menghasilkan respon sinyal ujung tiang yang tidak jelas. Sedangkan dari hasil analisa sisa tiang dari proyek pembangunan Perpustakaan UI, yang memiliki rasio kelangsingan ± 23 (< 30), menghasilkan respon sinyal yang lebih jelas.